Nations Unies ECE/EB.AIR/2012/L.6

Conseil économique et social

Distr. limitée
18 octobre 2012
Français
Original: anglais

Commission économique pour l'Europe

Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance

Trente et unième session
Genève, 11-13 décembre 2012
Point 5 de l'ordre du jour provisoire
Examen et révision des protocoles

Projet de décision sur l'adoption d'un document d'orientation concernant les techniques de lutte contre les émissions de soufre, de NO_x, de COV et de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) provenant de sources fixes*

Note du groupe spécial d'experts juridiques établie en coopération avec le secrétariat**

Résumé

À sa cinquantième session, qui s'est déroulée du 10 au 14 septembre 2012 à Genève, le Groupe de travail des stratégies et de l'examen a décidé de transmettre le projet de document d'orientation concernant les techniques de lutte contre les émissions de soufre, de NO_x, de COV et de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) provenant de sources fixes, établi par le Groupe d'experts des questions technico-économiques (document informel n° 2) à l'Organe exécutif pour adoption, sous réserve de modifications apportées en cours de session et de modifications ultérieures susceptibles d'être incorporées par le Groupe d'experts, sur la base des discussions tenues par le Groupe de travail à sa cinquantième session.

En outre, le Groupe de travail a prié le groupe spécial d'experts juridiques, agissant en coopération avec le secrétariat, d'élaborer les projets de décision formelle permettant d'examiner et d'adopter le document d'orientation. Celui-ci figure dans l'annexe du présent projet de décision.

* Le présent document n'a pas été revu par les services d'édition.
** Le présent document a été soumis tardivement pour des raisons techniques.

GE.12-24908 (F) 271213 160114
1224908

Merci de recycler

Table des matières

Page

Projet de décision sur l'adoption d'un document d'orientation concernant les techniques de lutte contre les émissions de soufre, de NO_x, de COV, de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) provenant de sources fixes .....

Annexe

Document d'orientation concernant les techniques de lutte contre les émissions de soufre, de NO_x, de COV, de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) provenant de sources fixes .....

Projet de décision

Les Parties au Protocole de 1999 relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique («Protocole de Göteborg») réunies dans le cadre de la trente et unième session de l'Organe exécutif en 2012,

Décident:

1. D'adopter le document d'orientation annexé à la présente décision et intitulé «Document d'orientation concernant les techniques de lutte contre les émissions de soufre, de NO_x, de COV, de poussières (y compris PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) provenant de sources fixes»;

2. Que le document d'orientation sera le document d'orientation mentionné au paragraphe 6 de l'article 3 et à l'alinéa *f* du paragraphe 1 de l'article 6 du Protocole de Göteborg, tel qu'il a été modifié.

Annexe

Document d'orientation concernant les techniques de lutte contre les émissions de soufre, de NO_x, de COV, de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) provenant de sources fixes

Liste d'abréviations

°C	Degré Celsius
µg/Nm^3	Microgramme par normo-mètre cube
µm	Micromètre
€/kW	Euro par kilowatt
€/kWh	Euro par kilowatt-heure
€/tonne	Euro par tonne
BREF	Document de référence sur les meilleures techniques disponibles (Best Available Techniques Reference Document)
C3+	Ion carbone
$Ca(OH)_2$	Hydroxyde de calcium
$CaCO_3$	Carbonate de calcium
CaO	Oxyde de calcium
CBO	Convertisseur basique à oxygène
CCF	Craquage catalytique fluide
CCGI	Cycle combiné avec gazéification intégrée
CCS	Piégeage et stockage du carbone
CCT	Craquage catalytique thermique
CEE	Commission économique pour l'Europe
CEE	Commission économique pour l'Europe de l'Organisation des Nations Unies
CLF	Combustion en lit fluidisé
Co	Cobalt
CO	Monoxyde de carbone
CO_2	Dioxyde de carbone
COHPAC™	Compact Hybrid Particulate Collector (collecteur de particules hybride compact)
CONCAWE	Association européenne des compagnies pétrolières pour l'environnement, la santé et la sûreté dans le raffinage et la distribution
COV	Composé organique volatil

COVNM	Composés organiques volatils non méthaniques
CPIV	Comité Permanent des Industries du Verre de la CEE
Cr	Chrome
Cu	Cuivre
DLN (type de brûleur)	Brûleur à prémélange et dégageant peu de NO_x
ECCA	European Coil Coating Association (association européenne du prélaquage)
EMEP	Programme concerté de surveillance continue et d'évaluation du transport à longue distance des polluants atmosphériques en Europe
EPA	Environmental Protection Agency (agence américaine pour la protection de l'environnement)
Fe	Fer
GES	Gaz à effet de serre
GJ	Gigajoule
GPL	Gaz de pétrole liquéfié
H_2	Hydrogène
H_2S	Sulfure d'hydrogène
H_2SO_4	Acide sulfurique
HAP	Hydrocarbure aromatique polycyclique
HCl	Acide chlorhydrique
HF	Acide fluorhydrique
Hg	Mercure
IPTS	Institut des études de prospective technologique
K	Kelvin
kPa	Kilopascal
kV	Kilovolt
kWe	Kilowatt électrique
LDAR	Programme de détection et de réparation de fuites
LRK	Four long rotatif
MFSK	Four vertical à alimentation mixte
Mg	Mégagramme (tonne)
mg/l	Milligramme par litre
mg/m^3	Milligramme par mètre cube
mg/Nm^3	Milligramme par normo-mètre cube
mg/t	Milligramme par tonne
Mn	Manganèse
Mo	Molybdène

MTD	Meilleures techniques disponibles
MW	Mégawatt
MWe	Mégawatt électrique
MWth	Mégawatt thermique
N_2	Azote
$NaHCO_3$	Bicarbonate de sodium
Ni	Nickel
NO_x	Oxyde d'azote
O_2	Dioxygène
OMM	Organisation météorologique mondiale
OSK	Autre four vertical
PCDD/PCDF	Dibenzo-p-dioxines polychlorées et dibenzofuranes polychlorés
PFRK	Four vertical à cycles alternés
PM	Particules
PM_{10}	Particules (10 micromètres)
$PM_{2,5}$	Particules (2,5 micromètres)
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
ppm	Parties par million
ppmv	Parties par million en volume
PRIP	Prévention et réduction intégrées de la pollution
PRK	Four rotatif avec préchauffeur
RAINS	Modèle régional pour l'information et la simulation en matière d'acidification
RCS	Réduction catalytique sélective
RNCS	Réduction non catalytique sélective
SFI	Société financière internationale
SO_2	Dioxyde de soufre
TA-LUFT	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (instructions techniques pour le contrôle de la qualité de l'air)
TGCC	Turbine à gaz à cycle combiné
VLE	Valeur limite d'émission

Table des matières

		Paragraphes	*Page*
I.	Introduction	1−14	15
II.	Problèmes généraux communs à tous les polluants examinés dans le présent rapport	15−20	20
	A. Surveillance et notification	15−17	20
	B. Gestion de l'énergie, efficacité énergétique et part des différentes formes d'énergie	18−20	21
III.	Questions générales relatives au soufre	21−47	22
	A. Questions générales	21−23	22
	B. Teneur en soufre des combustibles	24−26	22
	C. Remplacement des combustibles	27	23
	D. Épuration des combustibles	28	23
	E. Techniques de combustion	29−32	23
	F. Mesures secondaires: procédés de désulfuration des gaz de combustion	33−42	24
	G. Coûts des méthodes de réduction du SO_2	43−44	26
	H. Sous-produits et effets secondaires	45−47	26
IV.	Questions générales relatives aux NO_x	48−76	27
	A. Questions générales	48−51	27
	B. Remplacement des combustibles	52	28
	C. Épuration des combustibles	53	28
	D. Mesures primaires	54−63	28
	E. Mesures secondaires	64−69	31
	F. Coûts des méthodes de réduction du NO_x	70−73	33
	G. Effets secondaires	74−76	34
V.	Questions générales relatives aux COV	77−116	36
	A. Questions générales	77−90	36
	B. Connaissance des émissions et plan de gestion des solvants	91−98	38
	C. Principes généraux de réduction des émissions de COV	99−113	39
	D. Coûts	114−115	44
	E. Effets secondaires	116	44
VI.	Questions générales relatives aux poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)	117−158	46
	A. Questions générales	117−132	46
	B. Remplacement des combustibles	133−138	52
	C. Épuration des combustibles	139−142	53

	D.	Mesures primaires	143−145	54
	E.	Mesures secondaires	146−151	55
	F.	Coûts des méthodes de réduction des poussières	152−155	61
	G.	Effets secondaires	156−158	61
VII.	Techniques disponibles pour différentes activités		159−1119	64
	A.	Installations de combustion de moins de 1 MW, y compris les installations pour le chauffage domestique	159−236	64
	B.	Installations de combustion d'une puissance comprise entre 1 MW et 50 MW	237−245	75
	C.	Installations de combustion de plus de 50 MW	246−293	79
	D.	Raffineries de pétrole et de gaz (SO_2, NO_x et poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone))	294−324	95
	E.	Raffineries de pétrole et de gaz (émissions de COV)	325−343	102
	F.	Fours à coke	344−359	108
	G.	Sidérurgie	360−402	111
	H.	Métaux ferreux, y compris les fonderies de fonte	403−424	120
	I.	Industrie de transformation des métaux non ferreux	425−483	128
	J.	Production de ciment	484−519	138
	K.	Production de chaux	520−547	145
	L.	Production de verre	548−584	150
	M.	Production de fibres synthétiques	585−613	161
	N.	Céramique	614−635	168
	O.	Production de pâte à papier	636−689	176
	P.	Production d'acide nitrique	690−705	183
	Q.	Production d'acide sulfurique	706−726	186
	R.	Incinération des déchets urbains, des déchets médicaux et des déchets dangereux	727−761	190
	S.	Industrie de la transformation du bois	762−783	197
	T.	Distribution d'essence (depuis les centres d'expédition des raffineries de pétrole (essence) aux stations service (y compris transport et stockage dans des dépôts, pour l'essence))	784−806	200
	U.	Stockage et manipulation de composés organiques (à l'exception de l'essence, traitée dans les sections E et T du chapitre VII)	807−836	206
	V.	Industrie chimique organique (hors chimie organique fine, traitée à la section W du chapitre VII)	837−853	211
	W.	Chimie organique fine	854−869	215
	X.	Application de revêtements adhésifs (dont la fabrication de chaussures)	870−878	219
	Y.	Application de revêtements (1): Revêtement de voitures, de cabines de camions, de camions et de bus	879−890	221

Z. Application de revêtements (2): Revêtement des fils de bobinage ..... 891−898 224

AA. Application de revêtements (3): Enduction de bandes en continu ..... 899−906 225

BB. Application de revêtements (4): Métal, bois, plastique et autres surfaces (tissu, cuir, papier, etc.) ..... 907−922 227

CC. Teneur en solvants de certains produits (1): Revêtements décoratifs ..... 923−931 230

DD. Fabrication de revêtements, vernis, encres et adhésifs ..... 932−939 232

EE. Procédés d'impression ..... 940−962 234

FF. Transformation du caoutchouc ..... 936−971 239

GG. Nettoyage à sec ..... 972−982 241

HH. Nettoyage de surfaces ..... 983−999 243

II. Extraction d'huiles végétales et de graisses animales, et raffinage d'huiles végétales ..... 1000−1020 249

JJ. Finition de véhicules ..... 1021−1027 252

KK. Imprégnation du bois ..... 1028−1038 253

LL. Teneur en solvants dans les produits (2): Solvants à usage domestique (autres que les peintures) ..... 1039−1045 256

MM. Production de bière ..... 1046−1059 258

NN. Production de dioxyde de titane ..... 1060−1082 261

OO. Nouveaux moteurs fixes ..... 1083−1119 265

Tableaux

1. Sources fixes d'émissions de soufre, de NO_x, de COV et de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) traitées dans le présent document d'orientation 18

2. Valeurs limites s'appliquant aux combustibles liquides dans l'UE 22

3. Description générale et résultats obtenus avec divers procédés de désulfuration des effluents gazeux 25

4. Effets secondaires positifs et négatifs de certains procédés de désulfuration 27

5. Efficacité moyenne de certaines mesures primaires et secondaires de réduction des émissions de NO_x dans de grandes installations de combustion (chaudières) 33

6. Aperçu des paramètres les plus pertinents pour le choix de mesures secondaires 43

7. Effets secondaires positifs et négatifs des méthodes de réduction des COV 45

8. Part de $PM_{2,5}$ et de PM_{10} dans les particules totales en suspension (modèle RAINS, 2002) 48

9. Efficacité de différentes mesures de réduction des émissions de poussières dans les chaudières industrielles selon la granulométrie des particules 59

10. Émissions de NO_x atteignables sur certaines installations domestiques au gaz 70

11. Valeurs limites d'émission pour les poussières provenant d'installations de combustion à la biomasse d'une puissance inférieure à 1 MW 72

12. Investissement par kW de chaleur produite par des systèmes de chauffage au bois équipés de dispositifs de réduction des poussières 73

13. Sources d'émissions, mesures sélectionnées de contrôle des émissions de SO_2 et niveaux d'émission correspondants (combustibles solides et liquides) ou valeurs supérieures d'émissions (combustibles gazeux) des installations de combustion de 1 MWth à 50 MWth 76

14. Sources d'émissions, mesures choisies de contrôle des émissions de NO_x et niveaux d'émission correspondants (combustibles solides et liquides) ou valeurs supérieures d'émissions (combustibles gazeux) des installations de combustion de 1 MWth à 50 MWth 77

15. Sources d'émissions, mesures sélectionnées de contrôle des émissions de poussières et niveaux d'émission correspondants dans les chaudières de 1 MWth à 50 MWth 78

16. Sources d'émissions, sélection de MTD de contrôle des SO_x et niveaux d'émission correspondants dans les installations de combustion (MP = mesures primaires)..... 82

17. Sources d'émissions, MTD pour la réduction des émissions de NO_x et niveaux d'émission dans des installations de combustion (MP = mesures primaires)..... 87

18. Sources d'émissions, MTD pour la réduction des émissions de poussières et niveaux d'émission dans les installations de combustion (MP = mesures primaires) 91

19. Coûts indicatifs des techniques de réduction des émissions de NO_x dans les installations de chaudières (euros de 1999, Environment Agency)..... 93

20. Coûts indicatifs des techniques de réduction des émissions de SO_2 dans les installations de chaudières (euros de 2001, EPA) 94

21. Coûts indicatifs des techniques de réduction des émissions de poussières dans les installations de chaudières (euros de 1999, Environment Agency)..... 94

22. Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour le contrôle des SO_x et niveaux d'émission associés dans les raffineries de pétrole..... 97

23. Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour le contrôle des NO_x et niveaux d'émission associés dans les raffineries de pétrole..... 99

24. Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour le contrôle des poussières et niveaux d'émission associés dans les raffineries de pétrole 101

25. Niveaux d'émission associés aux MTD de réduction des émissions de COV provenant du stockage..... 106

26. Niveaux d'émission associés aux MTD de réduction des émissions de COV dans les opérations de chargement et de déchargement des raffineries 107

27. MTD sélectionnées sur le H_2S et teneurs en H_2S correspondantes du gaz de coke 109

28. Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour le NO_x et niveaux d'émission correspondants dans les fours à coke 110

29. Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour les poussières et niveaux d'émission correspondants dans les fours à coke 110

30. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD pour la sidérurgie 114

31. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD pour la sidérurgie..... 115

32. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD pour la sidérurgie 117

33. Exemples de coûts d'investissement et de coûts d'exploitation liés aux techniques de réduction des émissions de NO_x..... 119

34. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de métaux ferreux 122

35. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la production de métaux ferreux 123
36. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans la production de métaux ferreux 125
37. Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD dans le traitement de métaux ferreux 126
38. Coûts de différentes techniques de réduction du NO_x pour un four de 50 MW 126
39. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans le secteur de l'aluminium 129
40. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans le secteur de l'aluminium 129
41. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans le secteur de l'aluminium 130
42. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans le secteur du cuivre 132
43. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans le secteur du cuivre 133
44. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans le secteur du cuivre 133
45. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans le secteur du plomb et du zinc 135
46. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans le secteur du plomb et du zinc 136
47. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans le secteur du plomb et du zinc 137
48. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans les cimenteries 139
49. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans les cimenteries 141
50. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans les cimenteries 142
51. Coût des techniques de réduction des NO_x dans les cimenteries 143
52. Coût des techniques de réduction du SO_2 dans les cimenteries 143
53. Coût des techniques d'atténuation des poussières dans les cimenteries 143
54. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de chaux 146
55. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la production de chaux 147
56. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans la production de chaux 148
57. Coût des techniques d'atténuation des poussières dans la production de chaux 149
58. Émissions de SO_2 correspondant aux MTD pour les fours de verrerie 153
59. Émissions de NO_x correspondant aux MTD pour les fours de verrerie 155
60. Émissions de poussières correspondant aux MTD pour les fours de verrerie 157
61. Coût des différentes techniques antipollution 158
62. Efficacité de différentes techniques de réduction des NO_x en verrerie 158
63. Coûts spécifiques de différentes combinaisons de filtres (à poussières) et d'épurateurs (à SO_x) dans les fours à verre 159
64. Coûts spécifiques de différentes méthodes d'atténuation des NO_x dans les fours à verre 159
65. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans les fours de production de fibres minérales 163
66. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans les fours de production de fibres minérales 164

67. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans les fours de production de fibres minérales 165

68. Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD dans la production de fibres minérales 166

69. Coût des techniques antipollution (production de fibres seulement) 167

70. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de céramique 169

71. Niveaux de NO_x correspondant aux MTD émis par les fours de céramique 170

72. Niveaux de poussières correspondant aux MTD émises dans la production de céramique 171

73. Niveaux de COV correspondant aux MTD émis dans la production de céramique 172

74. Coût des différentes méthodes antipollution dans la production de céramique 173

75. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au sulfate 178

76. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au bisulfite 179

77. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la fabrication de pâte à papier au sulfate 179

78. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au bisulfite 180

79. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au sulfate 181

80. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au bisulfite 182

81. Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la production d'acide nitrique 185

82. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD de réduction des émissions dans la production d'acide sulfurique 187

83. Coût et données opérationnelles relatives aux techniques utilisées pour contrôler les émissions de SO_2 dans la production d'acide sulfurique 188

84. Sources d'émissions et MTD de réduction des SO_x dans l'incinération des déchets 192

85. Sources d'émissions, MTD de réduction des NO_x et niveaux d'émission correspondants dans l'incinération des déchets 194

86. Sources d'émissions, MTD de réduction des poussières et niveaux d'émission correspondants dans l'incinération des déchets 195

87. Coût des différentes méthodes antipollution 195

88. Types de bois utilisés selon la transformation à effectuer (sources d'émissions de poussières) 197

89. Niveaux d'émission de poussières obtenus avec les techniques antipollution mises en œuvre dans la production de panneaux 199

90. Coût des techniques de contrôle des émissions de particules dans la production de panneaux de particules 200

91. Niveaux d'émission correspondant aux MTD de réduction des émissions de COV dans les centres de distribution d'essence des raffineries 203

92. Niveaux d'émission correspondant aux MTD de réduction des COV dans les réservoirs de stockage intermédiaire d'essence 204

93. Niveaux d'émission correspondant aux techniques de réduction des COV dans les stations-service 204
94. Coûts des mesures des phases I et II dans les stations-service de différentes tailles 205
95. Niveaux d'émission correspondant aux MTD de réduction des COV dans le stockage de composés organiques 211
96. MTD d'atténuation des COV et niveaux d'émission correspondants dans le secteur de la chimie organique fine 218
97. Niveaux d'émission correspondant aux MTD pour les techniques non oxydantes de récupération/réduction de la pollution 218
98. Niveaux d'émissions totales de carbone sous forme organique correspondant aux MTD pour l'oxydation thermique, l'incinération ou l'oxydation catalytique 219
99. Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à l'application de revêtements adhésifs et à la fabrication de chaussures 220
100. Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à l'application de revêtements 222
101. Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant au revêtement de fil de bobinage 224
102. Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à l'enduction de bandes en continu 226
103. Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à l'application de revêtements 228
104. Concentrations de solvants pouvant être obtenues pour chaque type de peinture 231
105. Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à la fabrication de peintures et d'adhésifs 233
106. Niveaux d'émission correspondant aux MTD dans l'impression offset par thermofixation 236
107. Niveaux d'émission correspondant aux MTD dans la gravure d'édition 236
108. Sources d'émissions, mesures d'atténuation des COV et niveaux d'émission correspondants dans la rotogravure et la flexographie dans le secteur des emballages 237
109. Sources d'émissions, mesures d'atténuation des COV et niveaux d'émission correspondants dans la transformation du caoutchouc naturel ou synthétique 240
110. Sources d'émissions, techniques d'atténuation et niveaux d'émission correspondants 242
111. Principales techniques de nettoyage de surfaces 245
112. Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondants dans le nettoyage de surfaces 248
113. Mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondants dans l'extraction d'huiles végétales 251
114. Concentrations en solvants pouvant être obtenues pour chaque type de peinture 253
115. Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondants à l'imprégnation de bois 255
116. Teneur maximale autorisée en COV pour chaque type de produit à usage domestique 256
117. Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD dans la production de bière 259

118. Coût de la récupération et de la biofiltration du CO_2 260

119. Coût des biofiltres 260

120. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD de réduction des émissions dans la production de dioxyde de titane au sulfate 262

121. Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD de réduction des émissions dans la production de dioxyde de titane au chlore 263

122. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD de réduction des émissions de dioxyde de titane au sulfate 263

123. Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD de réduction des émissions de dioxyde de titane au chlore 264

124. Coûts de traitement des émissions gazeuses dans les techniques de contrôle des émissions de SO_2 dans le procédé de digestion (procédé au sulfate) 264

125. Coûts de traitement des émissions gazeuses dans les techniques de contrôle des émissions de SO_2 dans le procédé de calcination (procédé au sulfate) 264

126. Principaux types de moteurs en fonction du carburant utilisé 266

127. Principaux types de moteurs fixes à piston utilisés actuellement 267

128. Exemples d'émissions de NO_x obtenues grâce à des mesures d'atténuation sur des moteurs diesel 272

129. Émissions de NO_x atteignables avec les moteurs à gaz (en charge constante) selon le BREF sur les grandes installations de combustion 275

I. Introduction

1. Le présent document a pour objet de présenter aux Parties à la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance les meilleures options envisageables en matière de réduction des émissions, en particulier les meilleures techniques disponibles (MTD), de façon à les aider à remplir les obligations découlant du Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation, de l'ozone troposphérique et des poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone).

2. Ce document énumère les options envisageables pour lutter contre les polluants suivants:

a) NO_x: somme du monoxyde d'azote (NO) et du dioxyde d'azote (NO_2) exprimée en dioxyde d'azote (NO_2);

b) Soufre: ensemble des composants soufrés, exprimés en dioxyde de soufre (SO_2);

c) Composés organiques volatils (COV): tous composés organiques d'origine anthropique autres que le méthane, qui peuvent produire des oxydants photochimiques par réaction avec des oxydes d'azote en présence de lumière solaire;

d) particules (PM): mélange de particules en suspension dans l'air et comprenant les poussières ou particules totales en suspension, les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone, dont les définitions sont les suivantes:

i) $PM_{2,5}$: particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à 2,5 µm (µm);

ii) PM_{10}: particules dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à 10 µm (µm);

iii) Poussières ou particules totales en suspension: masse de particules, de quelque forme, structure ou densité que ce soit, dispersées dans la phase gazeuse au point d'échantillonnage qui peuvent être recueillies par filtration dans certaines conditions après échantillonnage représentatif du gaz à analyser et restent en amont du filtre et sur le filtre après séchage dans certaines conditions;

iv) Noir de carbone: particules carbonées qui absorbent la lumière.

3. Dans le contexte du présent document d'orientation, les termes «poussières» et «particules totales en suspension» ont la même signification. Comme on peut le constater à la lecture du chapitre VI, les techniques de réduction des poussières en général sont aussi très efficaces sur les PM_{10} et, dans certains cas, sur les $PM_{2,5}$. Toutefois, certaines mesures sont bien plus efficaces sur les particules grossières que sur les particules fines comme les $PM_{2,5}$; par conséquent, il est nécessaire de prendre des mesures visant précisément les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone. Étant donné que l'on ne dispose pas actuellement de données générales de surveillance pour certaines catégories précises de particules, comme les $PM_{2,5}$ et les PM_{10}, les niveaux d'émission définis sont ceux des poussières.

4. On entend par «meilleures techniques disponibles» (MTD) le stade de développement le plus efficace et avancé des activités et de leurs modes d'exploitation, démontrant l'aptitude pratique de techniques particulières à constituer, en principe, la base des valeurs limites d'émission et autres conditions fixées visant à éviter et, lorsque cela s'avère impossible, à réduire de manière générale les émissions et leur impact sur l'environnement dans son ensemble:

a) Par «techniques», on entend aussi bien la technologie utilisée que la façon dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise hors service;

b) Par «techniques disponibles», on entend les techniques mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, compte tenu des coûts et des avantages, que ces techniques soient ou non utilisées ou produites sur le territoire de l'État membre concerné, pour autant que l'exploitant puisse y avoir accès dans des conditions raisonnables;

c) Par «meilleures techniques», on entend les techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble.

Les critères utilisés pour déterminer les meilleures techniques disponibles (MTD) sont les suivants:

i) L'utilisation d'une technologie peu polluante;

ii) L'utilisation de substances moins dangereuses;

iii) La récupération et le recyclage d'une plus grande partie des substances produites et utilisées au cours des opérations ainsi que des déchets le cas échéant;

iv) Les procédés, moyens ou méthodes d'exploitation comparables qui ont été expérimentés avec succès à l'échelle industrielle;

v) Les progrès technologiques et l'évolution des connaissances scientifiques;

vi) La nature, les effets et le volume des émissions concernées;

vii) Les dates de mise en service des installations nouvelles ou existantes;

viii) Les délais nécessaires pour mettre en place la meilleure technique disponible;

ix) La consommation de matières premières (y compris l'eau) et la nature des matières premières utilisées dans le procédé ainsi que l'efficacité énergétique;

x) La nécessité de prévenir ou de réduire au minimum l'impact global des émissions sur l'environnement et les risques de pollution de l'environnement;

xi) La nécessité de prévenir les accidents et de réduire au minimum leurs conséquences sur l'environnement;

xii) Les informations publiées par des organisations nationales et internationales.

5. Les niveaux d'émission associés à l'application des MTD qui sont présentés dans le document d'orientation peuvent être décrits comme suit:

a) Ils correspondent aux niveaux qu'un exploitant peut compter obtenir en utilisant la MTD; ils constituent des points de référence appropriés pour aider à déterminer les conditions d'autorisation;

b) Ils représentent des niveaux d'émission moyens réalisables pendant une bonne période de temps dans des conditions d'exploitation et/ou de conception normales (technologie bien éprouvée);

c) Ils ne constituent ni des valeurs limites d'émission ni des seuils de consommation.

6. Les niveaux d'émission associés aux MTD sont calculés sur la base de conditions d'exploitation normales et peuvent varier en fonction des facteurs de production ou des produits fabriqués.

7. Les niveaux d'émission associés aux MTD sont également calculés sur la base d'une série de périodes moyennes et représentent une situation de charge ordinaire. En conséquence, si l'on tient compte des niveaux d'émission associés aux MTD lorsqu'il s'agit de fixer des valeurs limites d'émission (VLE), il convient de toujours prendre en considération la période

de référence à laquelle se rapportent les niveaux d'émission associés aux MTD décrits. S'agissant des périodes de pointe, de démarrage et de fermeture, ainsi que des problèmes opérationnels des systèmes de nettoyage des effluents gazeux, les valeurs de pointe à court terme − qui pourraient être plus élevées − doivent être prises en compte.

8. Lorsqu'un niveau est qualifié de «réalisable» au moyen de telle ou telle technique ou combinaison de techniques, cela signifie que ce niveau devrait pouvoir être atteint et conservé sur une longue période dans une installation bien entretenue et bien exploitée utilisant ces techniques.

9. Sauf indication contraire, les mesures de réduction énumérées sont considérées sur la base d'une expérience pratique acquise, dans la plupart des cas, sur plusieurs années, comme les meilleures techniques disponibles, les mieux établies et les plus rentables. Les niveaux d'émission associés aux MTD sont généralement exprimés en mg/m^3 (gaz secs, 273,15K et 101,325 kPa sauf stipulation différente) en moyenne quotidienne. Dans le cas des solvants organiques, ces résultats peuvent être exprimés en pourcentage de solvants utilisés (soit la somme des solvants achetés et des solvants recyclés en interne). L'expérience toujours plus vaste fournie par l'application de techniques peu polluantes dans les nouvelles installations, ainsi que par la modernisation des installations existantes, nécessitera un réexamen périodique du présent document.

10. Bien que ce document énumère un certain nombre de mesures et de techniques au coût et à l'efficacité très variables, il ne saurait être considéré comme un tableau exhaustif des options envisageables pour lutter contre les émissions. De plus, le choix des mesures et techniques à appliquer dans un cas particulier dépend de divers facteurs, notamment la législation et les dispositions réglementaires en vigueur, et, en particulier, les prescriptions relatives aux techniques antipollution, la composition des énergies primaires, l'infrastructure industrielle, la conjoncture économique et l'état de l'installation.

11. Le présent document d'orientation propose des options et des techniques, ainsi qu'une évaluation de leurs résultats dans la prévention et la réduction des émissions de soufre, d'oxydes d'azote, de composés organiques volatils et de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone). Cependant, on ne peut envisager de réduire le volume d'un polluant donné sans tenir compte du fait que d'autres sources de pollution risquent d'apparaître ou que la consommation d'énergie risque de s'accroître. Il est donc utile de les prendre en considération ensemble, parallèlement à d'autres possibilités de lutte contre les émissions de polluants particuliers afin de maximiser l'effet de réduction des émissions et de limiter autant que possible l'impact sur l'environnement. Il faut évaluer soigneusement les avantages concomitants et les compromis nécessaires entre différents polluants. Ce point est particulièrement important dans les méthodes multipolluants/multieffets, dans lesquelles des effets positifs ou négatifs de réduction des gaz à effet de serre (GES) sont possibles (ainsi, des mesures qui améliorent l'efficacité de la combustion contribueront généralement aussi à réduire le noir de carbone et le CO_2).

12. Les résultats et les coûts des options et des techniques dont il est question ici sont décrits dans une série de documents élaborés par le Groupe d'experts des questions technico-économiques, dans le projet de document d'information présenté à l'Équipe spéciale des métaux lourds (TFHM) de la Commission économique pour l'Europe de l'ONU en 2006, différents documents de référence sur les meilleures techniques disponibles (BREF) et d'autres publications récentes de la Commission européenne, des rapports de l'Environmental Protection Agency (EPA) des États-Unis et une série de documents reconnus à l'échelle nationale ou internationale.

13. Le présent document décrit tant des mesures primaires que des mesures secondaires, les unes visant à réduire les émissions à la source, les autres portant sur le traitement des gaz résiduaires qui contiennent des polluants déjà formés (technologies additionnelles ou de fin de chaîne).

14. Ce document est consacré aux sources fixes d'émissions de soufre, d'oxydes d'azote, de composés organiques volatils et de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) répertoriées dans le tableau 1. Les sources mobiles (véhicules routiers et non routiers, et engins tout-terrain) sont traitées dans le document d'orientation sur les sources mobiles. Certaines sources fixes non couvertes par le présent document peuvent néanmoins être à l'origine d'émissions importantes de noir de carbone dans certains pays, comme le brûlis, la combustion à l'air libre de la biomasse, le torchage du gaz et l'extraction de pétrole.

Tableau 1
Sources fixes d'émissions de soufre, de NO_x, de COV et de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) traitées dans le présent document d'orientation

		SO_2	*NO_x*	*Poussières*	*Noir de carbone*	*COV*
VII-A	Installations de combustion <1 MW y compris les installations pour le chauffage domestique	O	O	O	O	O
VII-B	Installations de combustion de 1 à 50 MW (a) Chaudières (b) Turbines à gaz	O	O	O	O	O
VII-C	Installations de combustion >50 MW (a) Chaudières (b) Turbines à gaz	O	O	O	O	O
VII-D	Raffineries de pétrole et de gaz Combustion et fours, émissions de SO_2, NO_x et de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) dont les appareils de chauffage industriel, les unités CCF et CCT, et les torchères	O	O	O	O	
VII-E	Raffineries de pétrole et de gaz Procédés et sources de COVNM					O
VII-F	Fours à coke	O	O	O	O	O
VII-G	Sidérurgie (aciéries intégrées (ateliers d'agglomération, installations de production de pellets, hauts fourneaux, aciéries à l'oxygène (affinage et moulage) et aciéries à l'électricité))	O	O	O	O	O
VII-H	Industrie de transformation des métaux ferreux, dont les fonderies de fonte d'une capacité supérieure à 20 t/j et les installations de formage à chaud et à froid (laminage à chaud, laminage à froid, tréfilage, revêtement par trempage en continu, y compris le placage par immersion à chaud et le revêtement de fil, et la galvanisation discontinue (ou par lots))	O	O	O	O	O
VII-I	Industrie de transformation des métaux non ferreux (production d'aluminium de première et de deuxième fusion, production de plomb de première et de deuxième fusion, production de zinc de première et de deuxième fusion et production de cuivre de première et de deuxième fusion)	O	O	O	O	

		SO_2	*NO_x*	*Poussières*	*Noir de carbone*	*COV*
VII-J	Production de ciment	O	O	O	O	
VII-K	Production de chaux	O	O	O	O	
VII-L	Production de verre	O	O	O	O	
VII-M	Production de fibres synthétiques	O	O	O	O	O
VII-N	Industrie de la céramique	O	O	O	O	
VII-O	Production de pâte à papier	O	O	O	O	
VII-P	Production d'acide nitrique	O	O	O		
VII-Q	Production d'acide sulfurique	O	O	O		
VII-R	Incinération des déchets (déchets ménagers et industriels, traitement des eaux usées et incinération des boues)	O	O	O	O	
VII-S	Industrie du bois			O		
VII-T	Distribution d'essence − depuis le centre d'expédition des raffineries de pétrole (essence) aux stations service (y compris le transport et le stockage dans des dépôts d'essence)					O
VII-U	Stockage et manipulation de composés organiques (à l'exception de l'essence, couverte dans les sections E et U du chapitre VII)					O
VII-V	Fabrication de produits chimiques organiques (hors produits de chimie organique fine)					O
VII-W	Fabrication de produits de chimie organique fine					O
VII-X	Application de revêtements adhésifs (y compris pour la fabrication de chaussures) Revêtements courants, industrie de la chaussure, stratification					O
VII-Y	Application de revêtements (1) Construction d'automobiles Construction de cabines de camions et de camions Construction de bus et de remorques					O
VII-Z	Application de revêtements (2) Revêtement de fil de bobinage					O
VII-AA	Application de revêtements (3) Enduction de bandes en continu					O
VII-BB	Autres applications de revêtements (4) Autres revêtements industriels					O
VII-CC	Teneur en solvants dans les produits (1): Peintures à usage domestique ou en bâtiment					O
VII-DD	Fabrication de revêtements, vernis, encres et adhésifs					O

		SO_2	NO_x	Poussières	Noir de carbone	COV
VII-EE	Procédés d'impression (impression d'emballages, offset avec séchage à froid, offset avec séchage à chaud, secteur de l'édition, sérigraphie)					O
VII-FF	Transformation du caoutchouc					O
VII-GG	Nettoyage à sec					O
VII-HH	Dégraissage des métaux					O
VII-II	Extraction d'huiles végétales et de graisses animales, et raffinage d'huiles végétales					O
VII-JJ	Finition de véhicules					O
VII-KK	Imprégnation du bois					O
VII-LL	Teneur en solvants dans les produits (2) Solvants (autres que des peintures) à usage domestique					O
VII-MM	Fabrication de bière					O
VII-NN	Production de dioxyde de titane	O	O	O		
VII-OO	Nouveaux moteurs fixes au gaz et au gazole		O	O	O	

II. Problèmes généraux communs à tous les polluants examinés dans le présent rapport

A. Surveillance et notification

15. Il existe plusieurs systèmes de surveillance faisant appel à des méthodes de mesure continue ou discontinue, mais les critères de qualité varient. Les mesures doivent être effectuées par des instituts qualifiés au moyen de systèmes de mesure et de surveillance répondant aux normes internationales. À cette fin, un système de certification peut apporter la meilleure assurance.

16. Avec les systèmes de surveillance et des dispositifs de régulation modernes et automatisés, la communication des données ne pose pas de problème. Leur collecte en vue d'une exploitation ultérieure est une technique parfaitement au point. Toutefois, les données à communiquer aux autorités compétentes diffèrent selon les cas. Pour parvenir à une meilleure comparabilité, il faudrait harmoniser les séries de données, les réglementations et les prescriptions. Une harmonisation est également souhaitable pour garantir la qualité des systèmes de mesure et de surveillance. Cet aspect est à prendre en considération lorsqu'on compare des données.

17. Pour éviter les disparités et les discordances, il s'agit de bien définir les éléments et paramètres essentiels, notamment:

a) Les normes, qui doivent être exprimées en ppmv, mg/Nm^3, g/GJ, kg/h ou kg/Mg de produit. Pour la plupart de ces unités, des calculs sont nécessaires et il faut donner des précisions concernant la température des gaz, l'humidité, la pression, la teneur en oxygène ou la valeur de l'apport thermique;

b) La période (exprimée en heures, mois ou années) à laquelle s'appliqueront des normes moyennes, de même que la méthode de mesure;

c) Les temps d'arrêt et les règles de sécurité correspondantes concernant la mise en dérivation des systèmes de surveillance ou l'arrêt de l'installation en cas d'urgence;

d) Les méthodes à utiliser pour combler les lacunes dues au fait que des données n'ont pas été recueillies ou ont été perdues en raison d'une défaillance du matériel;

e) L'ensemble des paramètres à mesurer. Les informations à recueillir peuvent varier selon le type de procédé industriel. Il faut aussi préciser l'emplacement du point de mesure dans le système. Enfin, la qualité des mesures doit être contrôlée.

B. Gestion de l'énergie, efficacité énergétique et part des différentes formes d'énergie

18. La plupart des émissions de soufre, d'oxyde d'azote et de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) provenant d'installations fixes sont produites par la combustion indispensable à la production de chaleur et d'électricité. La réduction de la quantité de combustibles nécessaires par une utilisation efficace et rationnelle de l'énergie (gestion de l'énergie) peut donc être une mesure efficace pour réduire ces émissions atmosphériques, ainsi que celles d'autres polluants et de gaz à effet de serre. La gestion de l'énergie peut également contribuer à renforcer la sécurité de l'approvisionnement énergétique et à réduire la consommation de ressources naturelles. Au niveau des installations fixes et des sites de production, la gestion de l'énergie passe par une amélioration globale de l'efficacité énergétique, cette dernière prenant la forme d'un certain nombre de mesures différentes, qui peuvent être prises individuellement ou combinées, notamment:

a) La mise en place d'un système de gestion de l'efficacité énergétique (SM2E);

b) La mise en œuvre d'une approche systémique de l'efficacité énergétique;

c) L'analyse comparative;

d) La prise en compte de l'efficacité énergétique lors de la conception;

e) L'intégration des procédés;

f) Les gains en matière d'expertise et de savoir-faire dans le domaine de l'efficacité énergétique;

g) Le contrôle, la maintenance et la surveillance efficaces des installations.

19. Les meilleures techniques disponibles sont l'optimisation des systèmes de combustion et à vapeur, mais aussi des systèmes d'air comprimé, de pompage, de chauffage, de refroidissement, de ventilation, d'éclairage et d'autres procédés physiques et chimiques faisant appel à un grand nombre de procédés. La récupération de chaleur et la cogénération sont également d'une grande importance, dans la limite du raisonnable [voir [1]].

20. En dehors de la gestion de l'énergie, qui est davantage axée sur la demande, toute action sur l'offre d'énergie a aussi un impact important sur les émissions dans l'atmosphère. Mis à part la méthode qui consiste à remplacer un combustible (fossile) par un autre, il convient d'envisager un changement dans la part des différentes formes d'énergie en tenant compte des conditions propres à chaque pays, comme l'infrastructure, la politique énergétique et la disponibilité de combustibles fossiles et d'énergies renouvelables comme l'énergie éolienne, solaire, géothermique ou la biomasse. La combustion d'une quantité plus importante de biomasse, en particulier dans les appareils de cuisson, peut néanmoins accroître les émissions dans l'atmosphère.

Références du chapitre II

[1] Commission européenne (2008): Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Efficacité énergétique.

III. Questions générales relatives au soufre

A. Questions générales

21. Afin de réduire les émissions d'oxyde de soufre provenant de la combustion ou d'autres sources, on a recours à différents types de mesures. Les principales techniques appliquées, à savoir l'amélioration de l'efficacité énergétique, le remplacement ou l'épuration des combustibles, et des mesures tant primaires que secondaires, sont décrites dans la présente partie.

22. Le SO_2 contribue largement à l'acidification par la formation, dans l'atmosphère, de sulfates et d'acide sulfurique. Le temps de séjour du SO_2 dans l'atmosphère dépend des conditions météorologiques. Il est d'environ trois à cinq jours en moyenne, ce qui lui permet d'être transporté sur des centaines de kilomètres.

23. Pour réduire les émissions de SO_x de la façon la plus efficace possible, en plus de la gestion de l'énergie, il convient de réfléchir à une combinaison de mesures.

B. Teneur en soufre des combustibles

24. Le soufre présent dans les combustibles réagit avec l'oxygène contenu dans l'air de combustion pour former du SO_2. Par conséquent, les émissions de SO_2 provenant de la combustion sont directement liées à la teneur en soufre du combustible utilisé. Le SO_3 est le produit de l'oxydation du SO_2 durant la combustion.

25. La teneur en soufre des combustibles fossiles solides est comprise entre 0,5 % et plus de 5 %. Ces combustibles représentent la source la plus importante de SO_2 [1]. La teneur en soufre du gaz naturel − et du bois − est très faible. En revanche, celle des combustibles fossiles liquides s'échelonne entre 0,001 % et plus de 5 %. Vu la quantité de combustibles fossiles liquides à faible teneur en soufre disponibles, il s'avère nécessaire de désulfurer le combustible à la raffinerie et d'adopter des procédés spécifiques.

26. Ces dix dernières années, les législations nationales et européenne ont imposé des valeurs limite plus draconiennes pour la teneur en soufre des produits pétroliers. Le tableau 2 montre les valeurs limites qui s'appliquent aux combustibles liquides dans l'UE [2].

Tableau 2
Valeurs limites s'appliquant aux combustibles liquides dans l'UE

Combustible	*Teneur en soufre autorisée (% de la masse)*	*Directive européenne*
Fiouls lourds	<1 % ou 10 000 ppm	1999/32/CE
Gazole	<0,1 % ou 1 000 ppm	1999/32/CE

C. Remplacement des combustibles

27. Le remplacement de combustible (par exemple de charbons très soufrés par des charbons peu soufrés ou par des combustibles liquides, ou bien du charbon par du gaz) entraîne une diminution des émissions de soufre, mais peut se heurter à certaines difficultés, par exemple celle d'obtenir des combustibles à faible teneur en soufre ou d'adapter les systèmes de combustion en place. Dans beaucoup de pays de la CEE, on remplace actuellement des installations fonctionnant au charbon ou aux hydrocarbures par des installations au gaz. La mise en place d'installations mixtes pourrait faciliter le remplacement des combustibles. Le renoncement à certains combustibles peut aussi avoir des effets bénéfiques sur les niveaux de dioxyde d'azote ou les émissions de particules.

D. Épuration des combustibles

28. L'épuration du gaz naturel, parfaitement au point, est largement utilisée pour des raisons pratiques. L'épuration des gaz de l'industrie (gaz acide de raffinerie, gaz de four à coke, biogaz, etc.) est elle aussi parfaitement rodée. Il en est de même pour la désulfuration des combustibles liquides (fractions légères et moyennes). La désulfuration des fractions lourdes est techniquement réalisable, mais il n'en faut pas moins tenir compte des propriétés du brut. La désulfuration des résidus présents dans l'atmosphère (produits de bas de colonne d'unités de distillation atmosphérique de pétrole brut) pour obtenir un combustible pétrolier à faible teneur en soufre n'est toutefois pas couramment pratiquée. Il est généralement préférable de traiter du brut peu soufré. L'hydrocraquage et les techniques de conversion totale sont maintenant bien au point et associent une forte élimination du soufre à une amélioration du rendement des produits légers. Les raffineries pratiquant des conversions totales sont encore peu nombreuses. Généralement, ces raffineries récupèrent 80 % à 90 % du soufre présent et convertissent tous les résidus en produits légers ou autres produits commercialisables. Ce type de raffinerie consomme davantage d'énergie et exige des investissements plus importants. La teneur en soufre des produits de raffinage est indiquée dans le tableau 2. Les techniques modernes d'épuration de l'anthracite permettent d'éliminer environ la moitié du soufre inorganique (selon les propriétés du charbon), mais pas le soufre organique. On a entrepris de mettre au point des techniques plus efficaces qui exigent toutefois des investissements plus élevés. Ainsi, la désulfuration par épuration du charbon est moins rentable que la désulfuration des fumées. Il semble que l'on puisse trouver, dans chaque pays, le moyen de combiner au mieux ces deux procédés.

E. Techniques de combustion

29. Les techniques de combustion modernes permettent d'améliorer le rendement thermique et de réduire les émissions de soufre. Il s'agit notamment des techniques suivantes: combustion en lit fluidisé (CLF), cycle combiné avec gazéification intégrée (CCGI) et turbines à gaz à cycle combiné (TGCC). On peut intégrer des turbines à gaz fixes aux systèmes de combustion des centrales électriques traditionnelles, ce qui permet d'améliorer le rendement général de 5 % à 7 % et entraîne par exemple une réduction sensible des émissions de SO_2. Toutefois, cette intégration nécessite une modification profonde des chaudières. Des moteurs à piston peuvent aussi améliorer l'efficacité électrique en récupérant la chaleur importante des gaz d'échappement produits par exemple par un cycle combiné alimenté en eau.

30. La combustion en lit fluidisé a lieu sur un lit à particules qui peut être fixe, sous pression, circulant ou bouillonnant. Ce type de combustion, mis au point pour l'anthracite et le lignite, s'accommode aussi d'autres combustibles solides, tels que le coke de pétrole

et des combustibles pauvres comme les déchets, la tourbe et le bois. On peut réduire encore les émissions en intégrant aux foyers un dispositif de réglage de la combustion par adjonction de chaux/calcaire aux matériaux constitutifs du lit. L'utilisation ou l'élimination des sous-produits issus de ce procédé peuvent poser des problèmes et de nouvelles adaptations sont donc nécessaires.

31. Le CCGI comprend la gazéification du charbon et la production d'électricité en cycle combiné dans une turbine à gaz et à vapeur. Le charbon gazéifié est brûlé dans la chambre de combustion de la turbine à gaz. Pour réduire les émissions de soufre, on a recours aux méthodes les plus modernes d'épuration du gaz brut en amont de la turbine. Cette technique s'applique également aux résidus d'huile lourde et à l'émulsion bitumineuse.

32. On ne peut modifier le mode de combustion comme on le fait pour réduire les émissions de NO_x, étant donné que la quasi-totalité du soufre organique et inorganique s'oxyde pendant la combustion (le soufre restant, dont la quantité dépend des propriétés du combustible et de la technique de combustion, se retrouve dans la cendre). Ainsi on peut influer sur la quantité de soufre retenue dans la cendre en ajoutant des sorbants (comme la chaux ou le calcaire) et en modifiant les conditions de combustion (par exemple la température). Dans le présent document, les procédés additifs par voie sèche utilisés dans les chaudières classiques sont considérés comme des modifications de procédé du fait de l'injection d'un agent dans la chambre de combustion. L'expérience a toutefois montré que lorsqu'on applique ces procédés, la capacité thermique diminue, le rapport Ca/S est élevé et la désulfuration peu active. Ces dernières années, l'efficacité de ces procédés a néanmoins été optimisée et le rendement d'épuration du SO_2 a atteint 50 % à 80 %. Les problèmes que pose la réutilisation du sous-produit doivent néanmoins être pris en compte.

F. Mesures secondaires: procédés de désulfuration des gaz de combustion

33. Ces procédés visent à éliminer les oxydes de soufre déjà formés; c'est pourquoi on parle aussi à leur propos de mesures secondaires. L'extraction du soufre contenu dans les gaz de combustion se fait au moyen de procédés par voie humide, sèche ou demi-sèche. Le soufre peut également être éliminé grâce à la récupération du dioxyde de soufre des gaz de combustion. Il est alors soit extrait (procédé de régénération) soit transformé en acide sulfurique (unités de production d'acide sulfurique). Le lavage des gaz de combustion à l'eau douce ou salée est une autre technique de réduction des émissions de SO_2.

34. Dans les techniques par voie humide, le gaz de combustion est tout d'abord dépoussiéré, puis nettoyé par une solution alcaline. Le dioxygène forme avec ces composés des sous-produits dont les caractéristiques chimiques sont fonction de la solution alcaline utilisée. Le carbonate de calcium ($CaCO_3$) ou la chaux vive (CaO) peuvent donner du gypse dans certaines conditions. Les sous-produits peuvent aussi être valorisés par d'autres agents. Ces techniques présentent un excellent rendement, compris entre 92 % et 98 % avec un rapport Ca/S quasiment stœchiométrique. Ce procédé est principalement utilisé pour la réduction des émissions de SO_2 dans les centrales à charbon.

35. Dans le procédé par voie sèche, un sorbant sous forme solide, à base de calcium ou de sodium, est injecté dans les gaz de combustion, en amont d'un filtre en tissu ou d'un précipitateur électrostatique. La chaux éteinte ($Ca(OH)_2$) et le bicarbonate de sodium ($NaHCO_3$) sont les sorbants les plus fréquemment utilisés. Ces derniers devant être très réactifs, ils sont activés dans ce but (par exemple, $CA(OH)_2$ sous forme pulvérulente et très réactive). Au contact du SO_2, ces composés forment des sulfites et des sulfates de calcium ou de sodium, qui doivent ensuite être filtrés afin de réduire les émissions de poussières. Le procédé d'injection par voie sèche présente un rendement inférieur à celui par voie humide (environ 50 %) et dépend de plusieurs paramètres tels que la température, la teneur en SO_2 du gaz de combustion, la proportion Ca/S et le temps de séjour.

36. Une autre méthode consiste à injecter directement un sorbant sec dans le flux gazeux à la sortie du foyer de la chaudière. On utilise dans ce cas du calcaire pulvérulent ($CaCO_3$). Les sulfites et les sulfates de calcium qui se forment doivent être capturés par un filtre en tissu ou un précipitateur électrostatique. On peut obtenir un rendement de 70 % à 80 %, en fonction de la configuration utilisée [4].

37. Le procédé d'épuration par voie semi-humide ressemble au procédé par voie sèche et aboutit à la formation d'un résidu solide. Toutefois, la chaux ou le calcaire est imprégné à environ 10 % d'eau, pour faciliter le contact et les réactions. L'efficacité de ce type de désulfuration est de 85 % à 92 %, le ratio Ca/S étant compris entre 1,3 et 2 [4].

38. Dans les procédés régénératifs, un agent régénérant permet de récupérer le SO_2. Le procédé bisulfite/sulfite de sodium en est un. Le sulfite de sodium (Na_2SO_3) réagit avec le dioxyde de soufre pour former du bisulfite de sodium ($NaHSO_3$), dont l'évaporation donne des cristaux de sulfite de sodium et qui permet de récupérer le SO_2. Un taux de récupération supérieur à 95 % peut être obtenu. Ce procédé est courant dans les usines de production de dioxyde de titane. Il doit toutefois être mis en œuvre par un personnel qualifié.

39. Dans la production d'acide sulfurique, le SO_2 est tout d'abord oxydé pour donner du SO_3 qui est ensuite absorbé avec le réactif pour donner de l'acide sulfurique. La production de ce type d'acide peut passer par une étape d'absorption ou deux, selon le taux de conversion recherché. La double absorption est plus efficace.

40. La désulfuration des gaz de combustion présente un coût d'investissement élevé; elle est donc surtout indiquée dans les centrales à fort facteur de charge.

41. Le tableau suivant donne les résultats obtenus grâce à divers procédés de désulfuration des effluents gazeux.

Tableau 3
Description générale et résultats obtenus avec divers procédés de désulfuration des effluents gazeux [3]

	Procédés par voie humide	*Procédés par voie sèche*	*Régénération*	*Production d'acide sulfurique (double absorption)*
Efficacité	Taux de désulfuration allant de 95 % à 98 % pour un rapport Ca/S allant de 1,2 à 1,1	Taux de désulfuration allant de 50 % à 80 % selon le rapport Ca/S et le procédé (injection à la sortie ou dans le foyer)	Taux de récupération de 95 % à 98 %	Taux de conversion >99 %
Sous-produit	Dans certaines conditions, gypse, qui peut servir ensuite à la fabrication de plaques de plâtre	Sulfite et sulfate de calcium non récupérables		
Limites	Problème de décalaminage possible	Peu rentable, production de grandes quantités de déchets qui doivent ensuite être traités		Concentration de poussières à l'entrée du dispositif <30 mg/Nm^3 Les concentrations d'O_2 à l'entrée du dispositif doivent être 5 fois plus élevées que les concentrations de SO_2

42. Pour que le programme de réduction des émissions de soufre soit le plus efficace possible, au-delà des mesures de gestion de l'énergie énumérées ci-dessus, il faudrait envisager de combiner les moyens techniques énumérés aux paragraphes ci-dessus. Dans certains cas, les moyens mis en œuvre pour réduire ces émissions peuvent aussi entraîner une diminution des émissions de NO_x et d'autres polluants.

G. Coûts des méthodes de réduction du SO_2

43. Les coûts sont une question importante lorsque l'on choisit des méthodes de réduction du SO_2. Les éléments suivants doivent être pris en compte:

a) Montant prévu des immobilisations et des intérêts;

b) Frais de main-d'œuvre;

c) Dépenses en matières auxiliaires et moyens d'exploitation;

d) Coûts énergétiques;

e) Coûts de maintenance et de réparation, dépenses de suivi et frais de prestation de services extérieurs;

f) Taxes de pollution (par exemple pour le traitement des eaux usées), impôts, redevances et charges publiques.

44. En règle générale, les coûts augmentent moins vite que la capacité de la méthode antipollution retenue, au point que des unités de plus grande taille sont souvent plus rentables que celles dont les effluents gazeux contiennent plus de soufre. Les procédés faisant appel à des réactifs à sec sont moins rentables que les procédés humides pour les combustibles à teneur élevée en soufre. Les coûts des techniques de réduction du SO_2 sont développés au chapitre VII.

H. Sous-produits et effets secondaires

45. Les options et les techniques de réduction des émissions ont des effets secondaires positifs ou négatifs dont il convient de se préoccuper. Il conviendrait de retenir les techniques qui débouchent sur des sous-produits utilisables et celles qui, dans la mesure du possible, permettent d'accroître le rendement thermique et de réduire les déchets. Bien que la plupart des sous-produits soient utilisables ou recyclables − gypse, sels ammoniaqués, acide sulfurique, soufre, etc. −, certains facteurs tels que la situation du marché et les normes de qualité doivent être pris en compte.

46. Ces effets secondaires peuvent généralement être limités par une conception appropriée et une bonne exploitation des installations. Ils sont notamment les suivants:

a) Impact sur la consommation d'énergie et, partant, sur les émissions de gaz à effet de serre;

b) Impact sur d'autres polluants atmosphériques;

c) Impact sur l'utilisation de ressources naturelles comme le calcaire;

d) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre (production de déchets ou pollution de l'eau).

47. Le tableau ci-dessous présente les effets secondaires positifs et négatifs des procédés choisis en matière de désulfuration des fumées.

Tableau 4
Effets secondaires positifs et négatifs de certains procédés de désulfuration

Technique	*Effet positif*	*Effet négatif*
Procédés demi-secs ou injection d'un réactif	Réduction des poussières et des métaux lourds	Sulfite et sulfate de calcium non récupérables Production importante de déchets
Procédés humides	Réduction des poussières et des métaux lourds Possibilité de valorisation des sous-produits (gypse)	Consommation d'eau Consommation d'énergie Consommation de calcaire Production de déchets

Références du chapitre III

[1] DGEMP, Direction générale de l'énergie et des matières premières, http://www.industrie.gouv.fr/energie/.

[2] Directive européenne 1999/32/CE du 26 avril 1999 (Journal officiel).

[3] Les techniques de désulfuration des procédés industriels, ADEME, 1999.

[4] Commission européenne (2006): Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Grandes installations de combustion, Commission européenne, 618 p.

IV. Questions générales relatives aux NO_x

A. Questions générales

48. Le terme générique NO_x désigne le monoxyde d'azote (NO) et le dioxyde d'azote (NO_2). L'hémioxyde d'azote (N_2O), qui est un gaz à effet de serre, ne fait pas partie de la définition des oxydes d'azote employée ici. La principale source de NO_x est la combustion, qui produit tout d'abord du NO [1], ce dernier se transformant rapidement en NO_2.

49. Les NO_x contribuent à l'acidification par formation d'acide nitreux (HNO_2) et d'acide nitrique (HNO_3), à l'eutrophisation, à la formation d'ozone troposphérique et (en particulier le NO_2) à l'irritation et aux atteintes des voies respiratoires. En outre, ils peuvent réagir avec l'ammoniac et former des particules fines secondaires nuisibles à la santé.

50. La formation de NO_x dans la combustion a trois origines:

a) *Origine thermique*: Les molécules d'azote (N_2) et d'oxygène (O_2) présentes dans l'atmosphère se dissocient à température élevée, puis réagissent pour former des NO_x. La réaction est réversible et devient habituellement importante à des températures supérieures à 1 300 °C environ [1]. La formation de NO_x augmente proportionnellement à la température et au temps de séjour;

b) *Origine combustible*: La source d'azote permettant la formation de NO_x est le combustible lui-même. La réaction se produit à deux stades:

i) Au stade de la combustion initiale, des produits volatils, dont de l'azote oxydé, sont émis; puis

ii) Aux stades suivants, les résidus de carbonisation sont oxydés et l'azote qu'ils contiennent s'oxyde, ce qui résulte dans la formation de NO_x.

La formation de NO_x de combustible est importante à des températures supérieures à 800 °C environ. La quantité de NO_x de combustible dépend de la teneur en azote des combustibles et des conditions de la combustion;

c) *NO précoce*: Les radicaux hydrocarbonés réagissent avec les molécules d'azote (N_2) présentes dans l'air pour former du NO_x. Par rapport aux NO_x thermiques et de combustible, les NO_x précoces sont moins importants dans les sources examinées dans le cadre du présent rapport.

51. Afin de réduire la formation de NO_x et les émissions de NO_x provenant de la combustion, on applique différents types de mesures, comme l'amélioration du rendement énergétique (chap. II), le remplacement de combustible, ainsi que des mesures primaires et secondaires. Pour obtenir la plus forte réduction des NO_x, il faut envisager d'associer diverses techniques aux mesures de gestion de l'énergie. Pour déterminer les meilleures combinaisons de mesures, il faut procéder à une évaluation des caractéristiques de l'installation.

B. Remplacement des combustibles

52. L'adoption de combustibles dégageant peu de NO_x est une solution, mais elle dépend des conditions propres à chaque pays, comme les infrastructures et les orientations énergétiques. Les combustibles à forte teneur en azote, comme le fioul lourd ou le charbon, peuvent aboutir à la formation de grandes quantités de NO_x combustible, tandis que les combustibles riches en hydrogène, comme le gaz naturel, peuvent former une quantité importante de NO_x thermique lorsqu'ils sont soumis à des températures élevées de combustion. Le choix du combustible peut aussi avoir des effets sur l'émission d'autres éléments comme le soufre, les particules et les gaz à effet de serre, ainsi que sur la possibilité d'application et la nécessité de mesures de réduction des émissions.

C. Épuration des combustibles

53. L'épuration des combustibles afin d'en éliminer l'azote n'est pas intéressante du point de vue commercial mais l'application de l'hydrogénation dans les raffineries a aussi pour effet d'abaisser la teneur en azote du produit final.

D. Mesures primaires

54. Les mesures primaires réduisent les émissions de NO_x à la source en vertu d'un certain nombre de principes ou de méthodes différents, que l'on peut combiner ou non [1]:

a) Diminution du pic de température;

b) Diminution du temps de séjour au pic de température;

c) Réduction chimique des NO_x en cours de combustion;

d) Réduction de l'azote en cours de combustion.

55. Les paragraphes suivants donnent un aperçu des mesures primaires possibles. Leurs conditions d'application dépendent du secteur industriel concerné et du procédé de production.

56. *Diminution du pic de température*: Étant donné que la formation de NO_x dépend largement de la température de combustion, on peut réduire les émissions de NO_x en abaissant cette température. Les méthodes suivantes peuvent être utilisées:

- Réduction de la chaleur produite par le procédé de combustion;
- Refroidissement;
- Réduction de l'oxygène disponible pour la combustion [1] mais aussi application d'autres techniques de combustion comme la combustion en lit fluidisé, qui se fait à des températures plus basses et par étagement de l'air.

57. Les principales méthodes d'abaissement du pic de température sont les suivantes:

a) Combustion dans des conditions sous-stœchiométriques, c'est-à-dire utilisation d'un mélange enrichi en combustible de façon à réduire la quantité d'oxygène disponible (le combustible agit également comme un agent de réduction);

b) Combustion dans des conditions superstœchiométriques, c'est-à-dire utilisation d'un mélange pauvre en combustible pour réduire la chaleur produite par la combustion;

c) Injection de combustible gazeux refroidi et appauvri en oxygène pour diminuer la chaleur produite par la combustion;

d) Injection d'un mélange gaz-combustible refroidi et appauvri en oxygène, et de combustible supplémentaire, pour abaisser la température de combustion, la température de la réaction et faire de l'oxygène un agent de réduction;

e) Injection d'eau ou de vapeur pour abaisser la température de combustion et de réaction.

58. *Réduction du temps de séjour au pic de température*: Étant donné que la formation de NO_x thermique dépend largement de la durée de séjour du mélange gaz-combustible dans la zone de température élevée, on peut diminuer le dégagement du NO_x en réduisant le temps de séjour. Les méthodes de réduction du temps de séjour sont les suivantes [1]:

a) Injection de combustible, de vapeur, d'effluents gazeux recyclés ou d'air, immédiatement après la combustion;

b) Réduction de la plage de haute température, ce qui agit sur le temps de séjour du gaz de combustion à haute température.

59. *Réduction chimique des NO_x au cours de la combustion*: Les NO_x peuvent être réduits au diazote (N_2) au moyen d'un agent réducteur lui-même oxydé. Le principe de la réduction fait partie des principales mesures secondaires mais relève parfois des mesures primaires, lorsque cette réduction se produit en cours de combustion. Les principales méthodes sont les suivantes:

a) Combustion dans des conditions sous-stœchiométriques, c'est-à-dire utilisation, comme agent de réduction, d'un mélange enrichi en combustible;

b) Recombustion des effluents gazeux avec du combustible additionnel (ce dernier servant d'agent réducteur);

c) Utilisation de mélanges riches ou pauvres en combustibles dans la chambre de combustion.

60. *Réduction de l'azote en cours de combustion*: Pour réduire la formation de NO_x en agissant sur l'azote disponible, on peut utiliser des combustibles pauvres en azote comme le gaz naturel (voir la partie sur le remplacement de combustible) mais aussi faire brûler le combustible dans de l'oxygène et non dans de l'air.

61. Les mesures primaires suivantes, qui reposent sur les principes et les méthodes décrites ci-dessus, sont les plus utilisées, chacune présentant des avantages et des inconvénients qui leur sont propres (voir [1] et [11]). Certaines des mesures primaires sont adaptées pour le postéquipement, d'autres pour de nouvelles installations et d'autres ne peuvent être employée que dans de nouvelles installations.

a) *Combustion sous faible excès d'air*: Afin de garantir une combustion complète, on ajoute souvent de grandes quantités d'air, ce qui peut aboutir à des émissions plus élevées de NO_x thermique lors de l'oxydation de l'azote atmosphérique ([2], [3], [4]). Une diminution de cet excès d'air diminue aussi la formation de NO_x;

b) *Recyclage des gaz de combustion*: Le recyclage des gaz de combustion refroidis diminue la température au second stade de combustion, ainsi que la concentration en oxygène, ce qui agit sur la formation de NO_x thermique. La chaleur du gaz de combustion peut en outre être récupérée dans un échangeur de chaleur [1], [5];

c) *Étagement de l'air*: Le principe consiste à créer deux zones de combustion, la première, où le mélange est riche, sert à la combustion initiale, tandis que, dans la seconde zone, on ajoute de l'air pour s'assurer que la combustion se fait complètement. La formation de NO_x thermique est réduite dans la première zone, qui contient moins d'azote, mais aussi dans la seconde, où la température est plus basse. L'étagement de l'air peut se faire de différentes façons. Dans la *chauffe à brûleur tangentiel*, on fait varier les flux d'air et de combustible; dans les *brûleurs hors circuit*, l'arrivée de combustible vers le brûleur est coupée sur une courte période, tandis que dans la *combustion avec air additionnel*, de l'air est injecté au-dessus de la zone de combustion [3], [4], [5]. La combustion avec étagement d'air est fréquemment combinée à l'utilisation de brûleurs dégageant peu de NO_x;

d) *Étagement du combustible*: L'étagement du combustible ressemble à l'étagement de l'air, le combustible remplaçant alors l'air. Dans la première zone, le mélange est très pauvre en combustible, ce qui a pour effet d'abaisser la température. Le combustible ajouté dans la seconde zone agit comme agent réducteur pour les NO_x déjà formés. Dans une troisième étape, de l'air est ajouté pour que la combustion soit complète [6];

e) *Recombustion*: La recombustion ressemble au recyclage des effluents gazeux, sauf que l'on enrichit ces gaz en combustible, ce qui abaisse les températures. Si le combustible est ajouté à la deuxième étape, il fait office d'agent réducteur, le procédé se rapprochant alors de l'étagement du combustible;

f) *Préchauffage d'air réduit*: L'air de combustion est en général préchauffé par les gaz de combustion, en vue de refroidir ces derniers et d'améliorer le rendement. En diminuant ce préchauffage, on réduit aussi la température de la flamme et, par conséquent, les NO_x, mais aussi le rendement énergétique global [1], [3];

g) *Brûleurs dégageant peu de NO_x*: Dans ces brûleurs, on mélange le combustible et l'air ou les gaz de combustion de façon à créer différentes zones, comme dans la combustion étagée. Cette méthode permet d'abaisser la température de la flamme et la concentration en oxygène, mais aussi de procéder à la réduction chimique du NO_x par le combustible, dans certaines de ces zones [1], [5]. Les brûleurs dégageant peu de NO_x peuvent en outre être combinés à des systèmes d'étagement de l'air, de recyclage des gaz de combustion et d'étagement du combustible, en fonction du principe mis en œuvre. Ces brûleurs ont aussi abouti à la création de brûleurs dégageant très peu de NO_x;

h) *Injection d'eau et de vapeur*: De l'eau et de la vapeur sont injectées afin de refroidir la flamme et de réduire la formation de NO_x thermique;

i) *Oxycombustion*: Dans ce procédé, l'air de combustion est remplacé par de l'oxygène, ce qui empêche toute formation de NO_x thermique. Pour le moment, cette méthode n'est encore utilisée que pour la production de verre, mais elle pourrait être étendue à d'autres secteurs à l'avenir, étant donné qu'il s'agit d'un moyen d'obtenir des concentrations élevées de CO_2 dans le gaz de combustion, un avantage en matière de captage et de stockage du CO_2 [7];

j) *Optimisation de la combustion*: Cette méthode consiste à contrôler activement le processus de combustion, par exemple grâce à des logiciels spécialisés. Une option consiste à diminuer légèrement l'efficacité de la combustion afin de réduire les émissions de NO_x [1];

k) *Combustion catalytique*: Un catalyseur est utilisé pour abaisser la température de combustion en dessous du niveau de formation de NO_x, ce qui réduit très fortement les émissions. Toutefois, les applications de ce procédé restent rares dans la pratique [1] bien que les turbines à gaz puissent présenter un intérêt dans ce domaine [8].

62. La section D du chapitre IV établit l'inventaire des techniques disponibles de réduction des émissions de NO_x, ce qui ne veut pas dire que ces techniques puissent s'appliquer à tous les secteurs de l'industrie ou procédés de production.

63. Pour les mesures concernant les nouveaux moteurs fixes fonctionnant au gaz et au gazole, il convient de se reporter à la section OO du chapitre VII.

E. Mesures secondaires

64. Les mesures secondaires (technologies additionnelles ou de fin de chaîne) réduisent les NO_x qui se sont déjà formés dans l'environnement. Deux grands principes sont à l'œuvre:

a) Réduction chimique par un agent réducteur, avec ou sans catalyseur;

b) Sorption/neutralisation des NO_x.

65. Les mesures secondaires suivantes sont les plus répandues, chacune présentant des avantages et des inconvénients spécifiques [1]:

a) *Réduction catalytique sélective (RCS)*: Dans ce procédé, le NO_x est converti en N_2 par un agent réducteur (de l'ammoniac en général) qui est injecté directement dans le gaz de combustion en amont d'un catalyseur, en présence d'oxygène. La réduction des NO_x se fait au niveau de la surface du catalyseur, à une température comprise entre 170 °C et 510 °C (la plage de température 300 °C-400 °C étant plus courante, la température minimale du gaz de combustion dépend de la teneur en soufre du combustible). Lorsque la température des gaz de combustion est trop basse, il se forme du bisulfate d'ammonium qui encrasse les éléments nécessaires à la réduction catalytique sélective. La RCS [11] est limitée pour les moteurs diesel qui doivent fonctionner avec des charges qui varient souvent. Ces unités s'utilisent souvent sur des systèmes isolés destinés à ne fonctionner qu'un nombre réduit d'heures. Selon la demande en électricité, ces moteurs doivent être démarrés et arrêtés plusieurs fois par jour. La RCS est une technique appliquée aux moteurs diesel, mais elle ne peut pas être considérée comme la MTD pour des moteurs avec de fréquentes variations de charge, comprenant des périodes de démarrage et d'arrêt fréquentes du fait de contraintes techniques. Une unité de RCS ne fonctionnerait pas de manière efficace si les conditions d'exploitation et donc la température du catalyseur variaient fréquemment en dehors de la plage de température effective nécessaire. La RCS fait donc partie des MTD, mais aucun niveau d'émission spécifique n'est associé à la MTD au sens général.

b) *Réduction non catalytique sélective (RNCS)*: Comme pour la RCS, un agent réducteur (en général de l'ammoniac, de l'urée ou de l'ammoniac caustique) sert à réduire les NO_x mais sans catalyseur, et la réaction se fait à une température plus élevée, comprise entre 850 °C et 1 100 °C.

66. Autres techniques de réduction secondaire des NO_x:

a) Procédé NO_xSO: il repose sur l'adsorption simultanée du SO_2 et des NO_x dégagés par les gaz de combustion par un sorbant régénérable, qui produit du SO_2 liquide, du N_2 et de l'O_2. Les rendements annoncés sont de 98 % pour le SO_2 et de 75 % pour les NO_x [9];

b) Procédé SO_x-NO_x-Rox-Box (SNRB): dans ce procédé, un filtre catalytique à manche élimine en même temps les SO_x (par injection d'un sorbant alcalin), les NO_x (par injection d'ammoniac et réduction catalytique sélective) et les poussières (voir point 10). Cette technique pose toutefois des problèmes dans la mesure où ses sous-produits sont des déchets dangereux et que son rendement est assez faible;

c) Brûleur multiétagé à injection calcaire (LIMB): ce procédé, moins fiable, offre un rendement assez modeste en matière de réduction des NO_x.

67. Dans les centrales à cycle combiné de gazéification intégrée (CCGI), le combustible est gazéifié en atmosphère réductrice pour former du gaz de synthèse. Ce dernier est ensuite épuré et brûlé dans de l'air ou de l'oxygène. On obtient ainsi des émissions très faibles. Ce procédé est considéré comme l'une des techniques essentielles de captage et de stockage du carbone. Jusqu'à présent, ses applications se sont limitées à quelques rares centrales, principalement de démonstration. Avec le piégeage et le stockage du carbone, le procédé CCGI pourrait être commercialisé vers 2020.

68. Le choix des mesures les plus adaptées dépend de nombreux facteurs, liés notamment [11]:

a) Au combustible utilisé;

b) À la technique de combustion employée;

c) Au mode d'installation;

d) Aux caractéristiques du processus dans les procédés industriels;

e) À la question de savoir s'il s'agit d'une installation nouvelle ou de la mise en conformité d'une installation existante;

f) Aux caractéristiques des gaz de combustion (concentration en NO_x, température, humidité, poussières, autres polluants, éléments dangereux contenus dans les catalyseurs, etc.);

g) Au débit des effluents gazeux;

h) Aux niveaux d'émission à respecter;

i) Aux effets secondaires et liés au transfert d'un milieu à un autre;

j) À la sécurité opérationnelle et à la fiabilité;

k) Aux coûts.

69. Le tableau suivant fournit un bref aperçu des résultats obtenus grâce aux mesures primaires et secondaires de réduction des émissions de NO_x dans les grandes installations de combustion; les différentes sections contiennent des informations plus détaillées sur les questions propres à chaque sous-secteur.

Tableau 5
Efficacité moyenne de certaines mesures primaires et secondaires de réduction des émissions de NO_x dans de grandes installations de combustion (chaudières) [11]

Technique	*Taux moyen de réduction des NO_x**	*Limites techniques*
Combustion sous faible excès d'air	10 %-44 %	Combustion incomplète
Brûleur hors circuit	10 %-70 %	Combustion incomplète
Chauffe à brûleur tangentiel		
Combustion avec air additionnel		
Recyclage des gaz de combustion	<20 % (charbon) 30 %-50 % (gaz, combiné à la combustion avec air additionnel)	Instabilité de la flamme
Réchauffage d'air réduit	20 %-30 %	
Étagement du combustible	50 %-60 %	
Étagement de l'air combiné à un brûleur dégageant peu de NO_x	25 %-35 %	Combustion incomplète Instabilité de la flamme
Recyclage des gaz de combustion et brûleur dégageant peu de NO_x	<20 %	Instabilité de la flamme
Étagement du combustible et brûleur dégageant peu de NO_x	50 %-60 %	Combustion incomplète Instabilité de la flamme
RCS	80 %-95 %	Présence résiduelle d'ammoniac; contamination des cendres volantes par l'ammoniac; encrassement du réchauffeur d'air
RNCS	30 %-50 %	Présence résiduelle d'ammoniac généralement plus importantes qu'avec la réduction catalytique sélective

* Si plusieurs mesures sont employées, les taux de réduction sont différents.

F. Coûts des méthodes de réduction du NO_x

70. Les coûts sont un aspect important dans le choix des méthodes. Les éléments suivants doivent être pris en compte [12]:

a) Montant prévu des immobilisations et des intérêts;

b) Coûts de main-d'œuvre;

c) Dépenses en matières auxiliaires et moyens d'exploitation;

d) Coûts énergétiques;

e) Coûts d'entretien et de réparation, dépenses de suivi et frais de prestation de services extérieurs;

f) Taxes de pollution (par exemple pour le traitement des eaux usées), impôts, redevances et charges publiques.

71. En règle générale, les coûts augmentent moins vite que les capacités de traitement de la méthode antipollution, au point que des unités de plus grande taille sont souvent plus rentables. La mise à niveau des installations existantes est souvent possible, mais son coût est généralement plus élevé.

72. Pour les mesures primaires, les coûts d'investissement sont en général relativement modiques, tandis qu'il n'y a souvent pas de frais supplémentaires pour les installations nouvelles. En revanche, les coûts liés à une baisse du rendement peuvent être conséquents et doivent être pris en compte.

73. Le coût de la mise à niveau d'une installation avec une unité de RCS est parfois plus élevé en raison de la difficulté de construire un réacteur catalytique à proximité de la chaudière. En outre, pour la RCS, les coûts suivants sont plus importants: investissement, ammoniac, électricité, remplacement des catalyseurs et main-d'œuvre. Pour la réduction non catalytique sélective, les coûts sont généralement plus bas que dans la RCS, étant donné qu'il ne faut prévoir ni catalyseur, ni carénage de réacteurs catalytiques. Toutefois, les coûts de l'un comme de l'autre procédé dépendent de la nature des effluents, de leur température et de l'efficacité requise. Par conséquent, les coûts supplémentaires de remplacement du catalyseur dans le cas de la RCS peuvent être compensés par la consommation considérablement plus basse d'ammoniac par rapport au procédé non catalytique.

G. Effets secondaires

74. Les options et les techniques de réduction des émissions ont des effets secondaires positifs ou négatifs dont il convient de se préoccuper. Ces effets peuvent généralement être limités par une conception appropriée et une bonne exploitation des installations. Ils sont notamment les suivants:

a) Impact sur la consommation d'énergie et, partant, sur les émissions de gaz à effet de serre;

b) Impact sur d'autres polluants atmosphériques;

c) Impact sur l'utilisation des ressources naturelles;

d) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre (production de déchets ou pollution de l'eau).

75. Plus précisément, les effets secondaires à envisager avec les différentes méthodes de réduction sont les suivantes:

a) *Mesures primaires*: Baisse du rendement énergétique global, formation accrue de CO et émissions d'hydrocarbures, corrosion due à l'atmosphère réductrice, augmentation du carbone non brûlé dans les cendres volantes;

b) *CLF*: Forte réduction des émissions de SO_x; inconvénient éventuel: formation accrue de N_2O dans certaines conditions. La manutention des cendres est à considérer en vue de leur utilisation ou élimination potentielle;

c) *RCS*: Présence résiduelle d'ammoniac dans les gaz d'échappement, présence d'ammoniac dans les cendres volantes, formation de sels d'ammonium dans les installations en aval, désactivation du catalyseur et conversion accrue de SO_2 en SO_3 (corrosion et souillures). Moyennant une exploitation rigoureuse de l'installation, on peut toutefois garantir la qualité des cendres volantes et réduire la formation de sels ammoniacaux. Pour ce qui est des sous-produits, les catalyseurs désactivés sont peut-être les seuls à prendre en considération, encore que ce soit devenu un problème mineur depuis que la durée de vie des catalyseurs a été améliorée et qu'il est possible de les retraiter;

d) *RNCS*: Présence d'ammoniac dans les gaz d'échappement, formation de sels d'ammonium dans les installations en aval, formation de N_2O par exemple en cas d'utilisation d'urée dans le mélange réducteur, et dégagement de CO. La présence résiduelle d'ammoniac issue de la RNCS est souvent plus élevée que dans le procédé catalytique en raison de la nécessité de doser l'agent réducteur à des valeurs superstœchiométriques (à températures élevées requises pour la RNCS, une partie de l'ammoniac injecté forme du NO_x supplémentaire).

76. La *production d'ammoniac et d'urée* pour le traitement des effluents gazeux implique plusieurs opérations distinctes qui nécessitent de l'énergie et des substances entrant en réaction. Les systèmes de stockage de l'ammoniac sont soumis à une réglementation de sécurité et conçus pour fonctionner en circuit fermé, ce qui réduit au minimum les émissions d'ammoniac. L'utilisation de NH_3 reste considérée comme judicieuse, même si l'on tient compte des émissions indirectes liées à sa production et à son transport.

Références du chapitre IV

[1] EPA (1999): Nitrogen Oxides, Why and how they are controlled? EPA (Environmental Protection Agency − Agence américaine de protection de l'environnement), Technical Bulletin EPA-456/F-99-006R.

[2] Lim, K. J., C. Castaldini, et C. D. Wolbach (1982): A promising NO_x-Control Technology. − Environmental Progress 1, p. 167 à 177.

[3] Wallin, S. C. (1986): Abatement systems for SO_x, NO_x, and Particles − Technical Options. − The Environmentalist 6, p. 111 à 124.

[4] A summary of NO_x reduction technologies. − The Texas Institute for Advancement of Chemical Technology Special Report 1, 2000.

[5] Lani, B. W., T. J. Feeley, J. Murphy, et L. Green (2005): A review of DOE/NETL's advanced NO_x control technology R&D program for coal-fired power plants. − DOE/NETL's NO_x R&D Program Review, mars 2005.

[6] Zabetta, E. C., M. Hupa et K. Saviharju (2005): Reducing NO_x emissions using fuel staging, air staging, and selective non catalytic reduction in synergy. − Ind. Eng. Chem. Res. 44, p. 4552 à 4561.

[7] Results of work of the EGTEI expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques. Report by the Chair of the Expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques to the Working Group on Strategies and Review (résultat des travaux du sous-groupe chargé des nouvelles technologies au sein du Groupe d'experts des questions technico-économiques, rapport du Président du sous-groupe chargé des nouvelles technologies au Groupe de travail des stratégies et de l'examen), 1er au 5 septembre 2008.

[8] Cocchia, S., G. Nutinia, M. J. Spencerb et S. G. Nickola (2006): Catalytic combustion system for a 10 MW class power generation gas turbine. − Catalysis Today 117, p. 419 à 426.

[9] Black, J. B., M. C. Woods, J. J. Friedrich et J. P. Browning: The NO_xSO clean coal project. − NO_xSO Corporation (Pennsylvanie, États-Unis).

[10] Kudlac, G. A., G. A. Farthing, T. Szymanski et R. Corbett (1992): The SO_x-NO_x − Rox BoxTM (SNRB). − Environmental Progress, 11, p. 33 à 38.

[11] BREF (2006): Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Grandes installations de combustion. − Commission européenne, 618 pages.

[12] VDI 3800, Determination of costs for industrial environmental protection measures. Verein Deutscher Ingenieure, 2001.

[13] EGTEI: Final background document on the sector «glass industry», DFIU/IFARE 2003.

V. Questions générales relatives aux COV

A. Questions générales

77. Le terme «composé organique volatil (COV)» signifie, sauf indication contraire, tout composé organique d'origine anthropique, *autre que le méthane*, qui est capable de produire des oxydants photochimiques par réaction avec des oxydes d'azote en présence de lumière solaire.

78. Le terme «composé organique» désigne tout composé contenant au moins l'élément carbone et un ou plusieurs des éléments suivants: hydrogène, halogènes, oxygène, soufre, phosphore, silicium ou azote, à l'exception des oxydes de carbone et des carbonates et bicarbonates inorganiques [1].

79. D'autres définitions peuvent être données, selon le cas, dans les sections du chapitre VII.

80. Pour les solvants examinés de la section X à KK du chapitre VII et dans l'annexe technique VI, le terme «composé organique volatil» s'entend de tout composé organique ainsi que de la fraction de créosote ayant une pression de vapeur de 0,01 kPa ou plus à une température de 293,15 K, ou ayant une volatilité correspondante dans les conditions d'utilisation particulières [9].

81. Pour la teneur en solvants des produits, on entend par «composé organique volatil», à la section LL du chapitre VII et à l'annexe technique XI, tout composé organique dont le point d'ébullition initial, mesuré à la pression standard de 101,3 kPa, est inférieur ou égal à 250 °C. Cette définition est compatible avec la précédente, car il y a un rapport entre point d'ébullition et pression de vapeur.

82. Le programme LDAR de détection et de réparation de fuites [3] élaboré par l'Agence américaine de protection de l'environnement (EPA) et normalisé en Europe [4] s'appuie sur une pression de vapeur des COV de 300 Pa à 295,15 K.

83. Les COV sont le produit de nombreuses sources anthropogéniques et naturelles, à savoir:

a) Les procédés thermiques: les hydrocarbures émis par des procédés thermiques (sources fixes et mobiles) contribuent à la quantité totale de COV;

b) Les solvants organiques: tout COV utilisé seul ou en combinaison avec d'autres agents, et sans subir de modification chimique, pour dissoudre ou diluer des matières premières, des produits ou des déchets, ou utilisé comme agent de nettoyage pour dissoudre des salissures ou comme dispersant, correcteur de viscosité, correcteur de tension superficielle, plastifiant ou agent protecteur [1];

c) Le transport et la manipulation de combustibles liquides et de composés organiques légers (l'essence par exemple);

d) Les raffineries et les industries chimiques organiques;

e) Les sources naturelles.

84. Les COV jouent un rôle important dans la chimie atmosphérique. Par des réactions photochimiques complexes, ils contribuent à la formation d'oxydants toxiques, comme l'ozone troposphérique et d'autres oxydants susceptibles de déclencher toute une série de problèmes de santé et ayant des effets dommageables sur les végétaux et les écosystèmes.

85. Il a été démontré que certains COV étaient extrêmement toxiques, mutagènes et cancérogènes. Ces COV doivent être particulièrement suivis du fait de leurs retombées sur la santé humaine. Ils sont concernés par les mises en garde suivantes [7]:

a) H 350: peut provoquer le cancer;

b) H 340: peut provoquer des anomalies génétiques;

c) H 350i: peut provoquer le cancer par inhalation;

d) H 360F: peut nuire à la fécondité;

e) H 360D: peut nuire à l'enfant *in utero*.

86. Ces COV doivent être réduits dans la mesure du possible en priorité. Ils correspondent aux désignations de risque suivantes: H 351 «susceptible de provoquer le cancer» et/ou H341 «susceptible de provoquer des anomalies génétiques». Ils doivent donc être examinés avec la plus grande attention et réduits autant que possible.

87. Afin de réduire les émissions de COV de façon efficace, il est particulièrement important d'envisager à la fois la réduction des émissions de cheminées et des émissions fugaces. Les premières correspondent aux émissions dont on peut définir clairement la source et la direction de l'effluent gazeux. Ces émissions pénètrent dans l'atmosphère après avoir traversé un conduit de cheminée ou autre, destiné à orienter et à maîtriser leur dégagement dans l'atmosphère. En revanche, les sources d'émissions fugaces ne sont pas clairement définies. Elles pénètrent dans l'atmosphère en passant par une cheminée ou un conduit destiné à diriger ou à maîtriser les émissions. Ces émissions comprennent les émissions de COV non captées qui s'échappent dans l'environnement extérieur par les fenêtres, les portes, les évents et d'autres ouvertures [2]. Dans les usines, les émissions fugaces ont un caractère diffus, puisqu'elles peuvent émaner de nombreuses sources dispersées dans l'espace.

88. Au lieu d'appliquer des valeurs limites, par exemple pour les mesures de fin de chaîne, on peut mettre en œuvre des programmes de réduction des émissions qui s'inspirent des plans de gestion des solvants. L'objectif d'un programme de réduction est de permettre à l'exploitant d'une installation d'obtenir, par d'autres moyens, des réductions des émissions semblables à celles qui seraient assurées en appliquant des valeurs limites données. Les définitions d'un plan de gestion des solvants et d'un programme de réduction des émissions sont données plus loin. Ces plans et ces programmes sont une composante essentielle de l'annexe VI au Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique. Ils permettent de vérifier si la réglementation en vigueur est respectée, de définir de futures possibilités de réduction des émissions et de diffuser auprès du public des informations concernant la consommation de solvants, leurs émissions et l'application des réglementations.

89. Dans le présent document, les possibilités et les techniques de réduction des émissions sont caractérisées par:

a) Les facteurs d'émission mesurés par la masse de la substance émise (COV) ou la masse de carbone organique total par activité au sein d'un secteur (par exemple g/m^2 pour le revêtement de véhicules); ou

b) Les facteurs d'émission mesurés par la masse de la substance émise (COV) ou la masse de carbone organique total par solvant utilisé (solvant acheté + solvant récupéré et réutilisé) dans un secteur (par exemple, pourcentage de solvant utilisé dans la chimie organique de spécialité); ou

c) Les concentrations mesurées par la masse de la substance émise (COV) ou de carbone organique total par unité de volume d'effluents gazeux;

d) Le rendement de la réduction (%).

90. En général, les COV ne sont pas subdivisés plus avant suivant les substances particulières qu'ils contiennent. L'efficacité est mentionnée, le cas échéant.

B. Connaissance des émissions et plan de gestion des solvants

91. En vue de minimiser les émissions de COV et d'élaborer un plan de réduction, il est essentiel d'avoir une connaissance parfaite de ces émissions. Ces connaissances reposent sur la surveillance des émissions de COV de cheminées et sur la détermination des émissions fugaces au moyen de différentes techniques.

92. Un plan de gestion des solvants est une technique essentielle qui permet de comprendre la consommation, l'utilisation et les émissions de solvants, en particulier les émissions fugaces [5].

93. Ce plan consiste à évaluer la quantité de solvants mis en œuvre et la quantité des produits de leur utilisation. Il est souvent facile de connaître les quantités mises en œuvre. En revanche, certains produits sont difficiles à évaluer. Le bilan massique des solvants est un outil qui permet d'estimer les émissions de COV à partir des principes suivants [1].

94. *Les définitions des solvants mis en œuvre et des produits de l'utilisation des solvants sont les suivantes*:

a) Solvants organiques utilisés (I):

i) I_1: quantité de solvants organiques purs ou contenus dans les préparations du commerce qui est utilisée pour effectuer une opération au cours de la période prise en considération pour le calcul du bilan massique;

ii) I_2: quantité de solvants organiques purs ou contenus dans les préparations qui est récupérée et réutilisée pour effectuer une opération (le solvant recyclé est comptabilisé à chaque utilisation);

b) Produits de l'utilisation de solvants organiques (O):

i) O_1: émissions dans les gaz résiduaires;

ii) O_2: solvants organiques rejetés dans l'eau compte tenu, le cas échéant, du traitement des eaux usées dans le calcul de O_5;

iii) O_3: quantité de solvants organiques subsistant sous forme d'impuretés ou de résidus dans les produits issus de l'opération;

iv) O_4: émissions non captées de solvants organiques dans l'atmosphère. Cet élément comprend la ventilation générale des locaux qui donne lieu au rejet d'air dans l'environnement extérieur par les fenêtres, les portes, les évents et des ouvertures similaires;

v) O_5: solvants organiques et/ou composés organiques libérés lors de réactions chimiques ou physiques (y compris par exemple ceux qui sont détruits, entre autres, par incinération ou par des gaz résiduaires ou des eaux usées, ou captés, notamment par adsorption, dans la mesure où ils ne sont pas comptabilisés sous O_6, O_7 ou O_8);

vi) O_6: solvants organiques contenus dans les déchets collectés;

vii) O_7: solvants organiques purs ou contenus dans des préparations, qui sont vendus ou destinés à la vente en tant que produits ayant une valeur commerciale;

viii) O_8: solvants organiques contenus dans les préparations, qui sont récupérés en vue d'une réutilisation mais pas pour effectuer une opération, dans la mesure où ils ne sont pas comptabilisés sous O_7;

ix) O_9: solvants organiques libérés d'une autre manière.

95. On peut déterminer la consommation de solvants et les émissions de COV au moyen des équations suivantes.

On calcule la consommation au moyen de l'équation suivante:

$C = I_1 - O_8$

Les émissions totales de COV sont définies comme suit:

$E = F + O_1$

F étant l'émission fugace, définie comme suit:

$F = I_1 - O_1 - O_5 - O_6 - O_7 - O_8$

ou

$F = O_2 + O_3 + O_4 + O_9.$

96. On peut procéder par mesure directe de chacun des éléments, ou bien effectuer un calcul équivalent, par exemple à partir du rendement de captage du processus.

97. La valeur des émissions fugaces est exprimée par rapport à la quantité de solvant utilisée, qui peut être calculée au moyen de l'équation suivante:

$I = I_1 + I_2$

98. Le plan de gestion des solvants peut être établi de façon régulière, par exemple chaque année, en vue de surveiller les progrès réalisés, de prendre les mesures nécessaires si des écarts sont observés et d'être en mesure d'évaluer la conformité de l'installation avec le règlement relatif aux valeurs limites d'émission.

C. Principes généraux de réduction des émissions de COV

99. Des mesures de lutte contre les émissions de COV ou des mesures de prévention sont disponibles pour presque toutes les sources fixes, et elles sont appliquées. En général, on distingue les mesures primaires, les mesures secondaires (additionnelles ou de fin de chaîne) et les mesures structurelles. Sauf mention contraire, les mesures sont applicables à toutes les installations nouvelles ou en service. La réduction des émissions de COV hors sources fixes est axée sur les restrictions concernant la teneur en COV des produits.

100. La liste ci-après décrit dans les grandes lignes les mesures disponibles, qui peuvent aussi être combinées à des mesures secondaires:

a) Accroissement de l'efficacité des techniques de limitation des émissions de COV par un entretien plus efficace de l'équipement, une meilleure récupération des effluents gazeux et l'optimisation des conditions d'exploitation en général;

b) Remplacement des COV en utilisant par exemple des matières ou des procédés à faible teneur en solvant organique ou sans solvant organique tels que les peintures à l'eau, les dégraissants à base d'eau, etc., ou en modifiant les procédés;

c) Réduction des émissions par de meilleures méthodes de gestion, telles qu'une bonne organisation interne, des programmes améliorés de contrôle et d'entretien, la modification des procédés, avec emploi de machines en circuit fermé, de réservoirs mieux scellés, ou par des changements structurels tels que le transfert des activités en des lieux où la réduction des émissions de COV est plus efficace, par exemple au moyen du prérevêtement de certains produits;

d) Recyclage ou récupération par des techniques de lutte contre les émissions de COV telles que la condensation, l'adsorption, l'absorption, et les procédés membranaires (au stade du prétraitement). La récupération de chaleur (récupération énergétique) des COV est une autre possibilité. Les composés organiques devraient être réutilisés de préférence *in situ*, ce qui peut être facilité par l'emploi de quelques solvants organiques seulement, au lieu de mélanges complexes. Il serait mieux de traiter les mélanges complexes hors site, mais la distribution, la manutention, le transport et le stockage peuvent aussi engendrer des émissions;

e) Destruction des COV par des techniques antiémissions telles que l'incinération thermique ou catalytique, ou le traitement biologique. Dans le cas de l'incinération, il est recommandé de récupérer la chaleur afin de réduire les frais d'exploitation et la consommation des ressources. Un autre procédé courant de destruction des COV non halogénés consiste à utiliser les flux de gaz chargés de COV comme air ou combustible secondaires dans les unités existantes de conversion énergétique.

1. Mesures primaires

101. Les mesures possibles de lutte contre les émissions provenant de l'usage industriel de solvants organiques sont: la prévention (emploi de matières et de procédés à teneur faible ou nulle en solvant organique), une bonne organisation interne, des mesures intégrées aux procédés et des mesures structurelles. Par conséquent, deux méthodes peuvent en principe être suivies: réexamen du produit, qui conduira par exemple à une reformulation de celui-ci (peinture, produits dégraissants, etc.) et modifications du procédé (augmentation de l'efficacité du transfert, utilisation de chambres d'étanchéité pour le dégraissage, etc.). En outre, il faudrait examiner de plus près la méthode axée sur le produit, entre autres à cause de ses effets positifs sur les émissions provenant des fabriques de solvants organiques. En outre, une modification de la formule du produit de façon à remplacer les solvants par des matières moins nocives peut diminuer la nuisance des émissions. Les systèmes clos peuvent aussi conduire à de très faibles émissions de solvants organiques. Les peintures à teneur faible ou nulle en solvant organique, une des solutions les plus rentables, connaissent une rapide évolution.

102. En ce qui concerne l'usage domestique des peintures et d'autres produits contenant des solvants, seule une méthode axée sur le produit est possible. C'est aussi le cas pour la peinture en bâtiment, les produits de nettoyage à usage industriel, etc. L'utilisation de formules à base d'eau (par exemple pour les peintures et les adhésifs) est une mesure efficace, déjà (largement) utilisée, en particulier pour les produits à usages industriel et domestique.

2. Mesures secondaires

103. Lorsque les mesures primaires ne suffisent pas à réduire sensiblement le niveau des COV ou qu'elles ne sont pas applicables d'un point de vue technique, des techniques supplémentaires peuvent être utilisées, seules ou combinées. Ces techniques servent à réduire les émissions de COV liées aux procédés et aux utilisations de solvants.

104. Les techniques suivantes peuvent être envisagées:

a) Techniques fondées sur la destruction des COV présents dans les gaz résiduaires:

i) Oxydation thermique récupérative ou régénérative;

ii) Oxydation catalytique récupérative ou régénérative;

iii) Destruction biologique;

b) Techniques permettant la récupération des COV en vue de leur réutilisation après un traitement particulier réalisé sur site ou par des entreprises extérieures, à savoir:

i) Adsorption sur du charbon actif ou des substrats de zéolithe;

ii) Absorption dans des liquides de lavage adaptés (eau, huiles lourdes);

iii) Condensation cryogénique et non cryogénique;

iv) Séparation par membrane combinée à d'autres procédés comme la condensation et l'adsorption cryogéniques.

105. Les procédés d'oxydation thermique pourraient faciliter la valorisation de l'énergie contenue dans les COV. Toutefois, dans la plupart des cas, l'opération est rendue difficile du fait des faibles concentrations de COV rencontrées en général. La récupération d'énergie thermique brute (qui servirait à réchauffer les gaz à l'entrée, par exemple) est indispensable, mais la récupération d'énergie thermique secondaire est souvent très difficile à mettre en œuvre dans les installations en service. Les concentrations en COV doivent en effet être suffisamment importantes pour permettre à l'unité d'oxydation de fonctionner sans consommation supplémentaire de combustible, c'est-à-dire en autothermie. Lorsque les concentrations sont plus basses, il faut consommer davantage de combustible, ce qui peut rapidement se révéler prohibitif.

106. O*xydation thermique récupérative ou régénérative*. Dans l'oxydation récupérative ou régénérative, les COV sont détruits à une température élevée. La température d'oxydation dépend du procédé de récupération énergétique employé. Dans une unité d'oxydation récupérative, un échangeur thermique permet de préchauffer les gaz avant leur entrée dans le foyer. La récupération de chaleur varie entre 60 % et 70 %, pour une température comprise entre 650 °C et 750 °C. Le système n'est en autothermie que pour des concentrations élevées de COV, allant de 8 g/Nm^3 à 10 g/Nm^3. Le dispositif est composé de deux ou trois échangeurs de chaleur en céramique. Les gaz résiduaires contenant du COV traversent un premier échangeur en céramique, où ils sont réchauffés. Ils pénètrent ensuite dans la chambre de combustion, dans laquelle la température est maintenue aux alentours de 800 °C à 900 °C par des brûleurs. Avant d'être relâchés dans l'atmosphère, ils sortent du dispositif d'oxydation par un autre échangeur en céramique en lui transmettant de l'énergie thermique qui servira à préchauffer le cycle suivant. Le rôle de l'échangeur − réchauffage ou refroidissement − est régulièrement inversé. L'efficacité, en termes de récupération de chaleur, peut atteindre 95 %. Les unités thermiques régénératives sont adaptées à des débits importants d'effluents et peuvent fonctionner en autothermie à des concentrations de COV allant de 2 g/Nm^3 à 3 g/Nm^3. On peut atteindre des concentrations de sortie de COV inférieures à 20 mg/Nm^3 dans des unités d'oxydation bien dimensionnées et en parfait état de fonctionnement. Le méthane est largement représenté dans les concentrations obtenues.

107. *Oxydation catalytique récupérative ou régénérative*. Dans ces dispositifs, le catalyseur permet de détruire les COV à des températures plus basses que dans l'oxydation thermique. Le catalyseur est soit un métal précieux (platine, palladium ou rhodium), soit un oxyde métallique (Cr, Fe, Mo, Mn, Co, Cu, Ni). Les échanges thermiques se font selon les principes de l'oxydation thermique. La plage des températures d'oxydation est de 200 °C-500 °C, en fonction du catalyseur et du type d'échangeur de chaleur utilisés. L'unité d'oxydation catalytique récupérative peut être autothermique à des concentrations allant de 3 g/Nm^3 à 4 g/Nm^3. Pour la régénération, l'autothermie peut être atteinte à des concentrations allant de 1 g/Nm^3 à 2 g/Nm^3. En revanche, la durée de vie des catalyseurs est limitée. Celle des catalyseurs à base d'oxydes métalliques est d'environ 12 000 h. La durée de vie des catalyseurs à base de métaux précieux est comprise entre 15 000 h et 25 000 h. Les catalyseurs sont sensibles aux poisons et peuvent être désactivés de façon irréversible par certains d'entre eux. On peut atteindre des concentrations de sortie de COV inférieures à 20 mg/Nm^3 dans des unités d'oxydation bien dimensionnées et en parfait état de fonctionnement. Lorsque l'on utilise des combustibles liquides dont la teneur en soufre est supérieure à 0,1 % comme source d'énergie primaire dans la centrale électrique, la durée de vie du catalyseur peut être raccourcie. Le méthane est largement représenté dans les concentrations obtenues.

108. *Destruction biologique*. Elle peut se faire dans des filtres et des épurateurs biologiques. Certains micro-organismes sont capables de détruire les COV biodégradables en condition humide et à faible température. Les gaz résiduaires tièdes (>35 °C) doivent être refroidis. Pour les filtres, des micro-organismes sont maintenus à la surface d'un substrat organique humide qui peut être de la tourbe, de la bruyère ou du compost. L'épuration biologique consiste à combiner un nettoyage par gaz humide et une dégradation biologique. Des micro-organismes sont en suspension dans l'eau de lavage. Dans les filtres, le temps de séjour doit être suffisamment long pour permettre aux réactions biologiques de se produire. Les concentrations admises en COV à l'entrée sont faibles. L'oxydation biologique sert principalement aux faibles concentrations. On peut atteindre des concentrations de sortie de COV comprises entre 100 mg/Nm^3 et 150 mg/Nm^3. En revanche, il est difficile d'obtenir des concentrations plus basses.

109. *Adsorption sur du charbon actif ou des zéolithes.* Le procédé consiste à fixer les molécules de COV sur la surface d'un support, à savoir du charbon actif ou des zéolithes. La capacité d'adsorption de ces deux matières étant limitée, ces dernières doivent être régénérées afin de retrouver leur capacité initiale d'adsorption et de récupération du COV. Plusieurs configurations existent, mais dans la plupart des cas, on utilise des dispositifs à deux à trois lits fixes. Le premier lit effectue l'adsorption, le second la désorption. La désorption se fait à température élevée, en présence de vapeur ou d'un gaz inerte. La température d'adsorption doit être inférieure à 40 °C parce que la réaction est plus efficace à faible température. Les gaz doivent donc être traités à l'entrée. Les COV sont récupérés après un traitement spécial de condensation, de séparation et de distillation si plusieurs COV sont présents. L'efficacité de la réduction dépend de nombreux paramètres tels que la température d'adsorption, le type et le nombre de COV à éliminer et le point de consigne de la fréquence de désorption. On peut atteindre des concentrations de sortie de COV comprises entre 50 mg/Nm^3 et 100 mg/Nm^3. Le rendement obtenu dépend de nombreux facteurs comme le dimensionnement de l'installation, la fréquence et le seuil de désorption.

110. *Condensation cryogénique et non cryogénique*. Dans ce procédé, les COV sont refroidis en dessous du point de rosée du flux. La condensation des COV se fait par refroidissement et/ou pressurisation. L'agent de refroidissement peut être de l'eau refroidie, réfrigérée, des réfrigérants ou de l'azote liquide. Divers échangeurs de chaleur peuvent être utilisés. La condensation à l'eau refroidie ou réfrigérée, ou la condensation par réfrigérants est souvent utilisée comme prétraitement mais ne suffit pas à obtenir une réduction importante des émissions. On peut atteindre des concentrations de sortie de COV comprises entre 100 mg/Nm^3 et 150 mg/Nm^3. Le rendement obtenu dépend de nombreux facteurs comme le dimensionnement de l'installation, la fréquence et le seuil de désorption.

111. L'azote liquide sert à la condensation cryogénique (c'est-à-dire à une température inférieure à -160 °C). Ce type de condensation est un procédé polyvalent, qui n'est pas propre à l'élimination des COV. Habituellement, la condensation se fait directement, par échange thermique, en présence d'azote liquide (agent réfrigérant). Les COV se condensent sur les parois de l'échangeur avant de s'écouler dans un récipient, où ils peuvent être recyclés, régénérés et récupérés pour être réutilisés ou éliminés. Durant la condensation, la présence de vapeur d'eau ou de COV à point de fusion élevé peut entraîner la formation de gel sur la surface extérieure des tubes du condensateur cryogénique. Des configurations spéciales permettent d'éviter ce problème; en particulier, il est possible d'utiliser une série de condensateurs à différents points de consigne de la température [8]. La condensation est surtout adaptée à de faibles débits d'effluents et/ou à des concentrations élevées de COV. On peut atteindre des concentrations de sortie de COV comprises entre 50 mg/Nm^3 et 100 mg/Nm^3. Le rendement obtenu dépend de plusieurs facteurs comme le dimensionnement de l'installation et la volatilité des solvants.

112. *Séparation par membrane*. Il est possible de concentrer les émissions de COV au moyen de membranes organiques sélectives (perméables aux COV). L'air et les COV traversent la membrane à un débit déterminé par leur perméabilité respective et par la différence de pression de chaque côté de la membrane. En règle générale, les membranes sont 10 à 100 fois plus perméables aux COV qu'à l'air, en fonction des caractéristiques des COV. En fonction du système, la concentration en COV du flux à la sortie de la membrane peut être 5 à 50 fois plus importante que la concentration à l'entrée. Les flux gazeux ainsi concentrés peuvent ensuite être compressés, puis condensés par des techniques classiques. La séparation par membrane est une technique qui ne peut être utilisée seule: un dispositif d'épuration des gaz est nécessaire en aval.

113. Le choix d'une technique antiémissions dépend de nombreux paramètres, tels que la concentration des COV dans le gaz brut, le débit volumique du gaz, le genre et la composition des COV, etc. Il peut donc exister un certain chevauchement des champs d'application. Dans ce cas, la technique la plus appropriée doit être choisie en fonction des conditions propres au cas considéré. Le tableau 6 offre un aperçu des paramètres les plus importants pour le choix de quelques mesures secondaires. L'efficacité globale des mesures secondaires appliquées aux secteurs utilisant des solvants dépend dans une large mesure de l'efficacité de capture des COV dans le flux de gaz résiduaires. C'est particulièrement pour les émissions fugaces que la récupération est essentielle à l'efficacité globale du système.

Tableau 6
Aperçu des paramètres les plus pertinents pour le choix de mesures secondaires

	Oxydation thermique récupérative	*Oxydation thermique régénérative*	*Oxydation catalytique récupérative*	*Oxydation catalytique régénérative*
Concentrations	Adapté aux concentrations élevées 5 à 20 g/Nm^3	Adapté aux faibles concentrations 2 à 10 g/Nm^3	Adapté aux faibles concentrations 2 à 10 g/Nm^3	Adapté aux très faibles concentrations C < 5 g/Nm^3
Débits des gaz résiduaires	1 000 à 30 000 Nm^3/h	10 000 à 200 000 Nm^3/h	1 000 à 30 000 Nm^3/h	10 000 à 100 000 Nm^3/h
Seuil d'autothermie	8 à 10 g/Nm^3	2 à 3 g/Nm^3	3 à 4 g/Nm^3	1 à 2 g/Nm^3
Résultats				
COV (éq. C)	<20 mg/Nm^3	<20 mg/Nm^3	<20 mg/Nm^3	<20 mg/Nm^3
NO_x[a]	<100 mg/Nm^3	<50 mg/Nm^3	<50 mg/Nm^3	<50 mg/Nm^3
CO	<100 mg/Nm^3	<50 mg/Nm^3	<50 mg/Nm^3	<50 mg/Nm^3
Limites	Faibles concentrations Présence de composés organiques halogénés Consommation d'énergie si fonctionnement non autotherme	Présence de composés organiques halogénés Présence de particules	Présence de composés organiques halogénés Présence de poisons catalytiques Présence de particules Risque de fortes concentrations	Présence de composés organiques halogénés Présence de poisons catalytiques Présence de particules Risque de fortes concentrations

	Destruction biologique	*Adsorption sur charbon actif*	*Absorption dans huile lourde*	*Condensation cryogénique*
Concentrations	Adapté aux très faibles concentrations C < 1 à 2 g/Nm^3	C < 15 g/Nm^3	C < 10-15 g/Nm^3	C > 10 g/Nm^3
Débits des gaz résiduaires	1 000 à 100 000 Nm^3/h	1 000 à 100 000 Nm^3/h	1 000 à 100 000 Nm^3/h	1 000 à 5 000 Nm^3/h
Résultats (éq. C)	100 à 150 mg/Nm^3	50 à 100 mg/Nm^3	50 à 100 mg/Nm^3	50 à 100 mg/Nm^3
Limites	COV non biodégradables Température des gaz résiduaires à traiter Dégagement non permanent de COV	Nombre de COV Présence de particules Présence de composés polymérisables Traitement des produits obtenus	Nombre de COV Capacité d'absorption des COV Traitement des produits obtenus	Nombre de COV Composés très volatils Humidité Traitement des produits obtenus

[a] Concentrations obtenues par les dispositifs d'oxydation utilisés pour réduire les émissions de COV liées à l'utilisation de solvants dans les procédés industriels.

D. Coûts

114. Il est important d'évaluer les investissements et les coûts d'exploitation liés aux possibilités et aux techniques de réduction des émissions de COV pour choisir parmi les nombreuses options et, au niveau macroéconomique, élaborer une stratégie de limitation des émissions au niveau national ou régional. Il faut se rappeler que les valeurs présentées dépendent largement de facteurs tels que la capacité des installations, l'efficacité d'élimination, la concentration des COV dans le gaz brut, le genre de technique et le choix fait entre acquisition d'une nouvelle installation et mise en conformité de l'ancienne. Ces paramètres, et donc les frais encourus, ainsi que le classement des mesures en fonction des coûts, peuvent dépendre grandement du cas considéré, par exemple celui de la mise en conformité, et les exemples ne devraient pas être généralisés.

115. Les documents de l'EGTEI qui définissent les méthodes employées pour estimer les coûts des techniques de traitement des gaz résiduaires sont disponibles. Des documents sur l'oxydation, l'adsorption du carbone et le filtrage biologique sont disponibles à l'adresse http://citepa.org/forums/egtei/egtei_doc-VOC_abattement_tech.htm. Les investissements et les coûts d'exploitation dépendent plus particulièrement des débits et des concentrations de COV à traiter. Les coûts sont détaillés au chapitre VII.

E. Effets secondaires

116. Les options et les techniques de réduction des émissions ont des effets secondaires positifs ou négatifs dont il convient de se préoccuper. Ces effets peuvent généralement être limités par une conception appropriée et une bonne exploitation des installations. Ils sont notamment les suivants:

a) Impact sur la consommation d'énergie et, partant, sur les émissions de gaz à effet de serre;

b) Impact sur d'autres polluants atmosphériques;

c) Impact sur l'utilisation des ressources naturelles;

d) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre (production de déchets ou pollution de l'eau).

Tableau 7
Effets secondaires positifs et négatifs des méthodes de réduction des COV

Technique de réduction	*Effets secondaires positifs*	*Effets secondaires négatifs*
Oxydation	Traitement parallèle des odeurs possible	Consommation d'énergie et émissions de GES en l'absence d'autothermie
Adsorption	Traitement parallèle des odeurs possible	Accroissement possible de la consommation d'énergie pour la production de vapeur
Condensation cryogénique	Traitement parallèle des odeurs possible	Consommation d'énergie pour produire l'azote liquide

Références du chapitre V

[1] Directive 1999/13/CE du Conseil, du 11 mars 1999, relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations. Journal officiel L 085, 29 mars 1999, p. 1 à 22.

[2] Directive 2004/42/CE relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules, modifiant la directive 1999/13/CE.

[3] EPA (États-Unis) − Protocol for equipment leak − Emission estimates EPA 453-95-017 − 1995.

[4] EN 15446:2008 «Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors − Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks», Comité européen de normalisation.

[5] Commission européenne − Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: traitements de surface utilisant des solvants, 2007.

[6] Commission européenne − Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: systèmes communs de traitement des eaux et gaz résiduaires dans l'industrie chimique, février 2003.

[7] Règlement (CE) n° 1272/2008 du Parlement européen et du Conseil du 16 décembre 2008 relatif à la classification, à l'étiquetage et à l'emballage des substances et des mélanges, modifiant et abrogeant les directives 67/548/CEE et 1999/45/CE et modifiant le règlement (CE) n° 1907/2006.

[8] Joint Service Pollution Prevention and Sustainability Technical Library. http://205.153.241.230/topics/airpollution.html.

VI. Questions générales relatives aux poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

A. Questions générales

117. Les poussières sont un mélange complexe de particules et de gouttelettes en suspension dans l'air, dont la taille va de quelques nanomètres à 100 µm (µm). Les poussières peuvent être classées en fonction leur diamètre aérodynamique:

a) En grosses particules, dont le diamètre aérodynamique est supérieur à 10 µm;

b) En particules grossières, dont le diamètre aérodynamique est compris entre 2,5 µm et 10 µm;

c) En particules fines, dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2,5 µm;

d) En particules ultrafines, dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 0,1 µm.

118. Plus particulièrement, les poussières peuvent être distinguées:

a) En particules totales en suspension (PTS), qui correspondent à la masse de particules fines, grossières et grosses;

b) En PM_{10}: masse de particules mesurées après être passées au travers d'un échantillonneur à entrée munie d'un système de sélection par taille avec un seuil de coupure à 50 % pour un diamètre aérodynamique de 10 µm;

c) En $PM_{2,5}$: masse de particules mesurées après être passées au travers d'un échantillonneur à entrée munie d'un système de sélection par taille avec un seuil de coupure à 50 % pour un diamètre aérodynamique de 2,5 µm;

d) En PM_1: masse de particules mesurées après être passées au travers d'un échantillonneur à entrée munie d'un système de sélection par taille avec un seuil de coupure à 50 % pour un diamètre aérodynamique de 1 µm.

119. En dehors de ce classement en fonction de la taille, les poussières se distinguent selon leur origine (primaire ou secondaire). Les poussières peuvent être naturelles (sels de mer, cendres de volcans, érosion de la terre) ou liées aux activités humaines (combustion, etc.). Selon son origine, la poussière a une composition chimique différente. La poussière d'origine primaire se compose de sels (nitrates, sulfates, carbonates, etc.), de noir de carbone, de carbone à l'état organique (particules carbonées non carbonatées autres que l'élément carbone [20]) et de certains éléments à l'état de trace, comme des métaux lourds. Les poussières d'origine secondaire se forment dans l'atmosphère des précurseurs de l'ammoniac, de l'acide sulfurique, de l'acide nitrique et des produits organiques issus de l'oxydation de COV [1].

120. Les poussières agissent sur le bilan du rayonnement terrestre. Certaines de leurs composantes ont un effet de refroidissement (sulfates, carbone à l'état organique), tandis que d'autres ont un effet de réchauffement (noir de carbone).

121. On entend par «noir de carbone» des particules carbonées qui absorbent la lumière. L'absorption se produit à toutes les longueurs d'onde du rayonnement solaire [16], [19]. Le noir de carbone subsiste dans l'atmosphère pendant plusieurs jours à quelques semaines et il contribue de façon importante au réchauffement de la planète en raison de ses propriétés d'absorption de la lumière. Il assombrit aussi la neige et la glace lorsqu'il s'y dépose et réduit donc l'albédo de la surface (capacité à réfléchir la lumière). Cet effet sur l'albédo est particulièrement courant dans l'Arctique. En assombrissant la glace et la neige, il contribue au réchauffement de cette région [16], [17], [18].

122. La teneur en noir de carbone des poussières s'accroît avec la combustion incomplète de divers combustibles fossiles, biocarburants et de la biomasse [16]. Le noir de carbone fait partie d'un mélange complexe de particules, la suie, qui est principalement composée de noir de carbone (un agent de réchauffement) et de carbone organique (un agent de refroidissement). Un lien étroit existe entre ces deux composés. Ils sont toujours émis en même temps, mais dans des proportions différentes, en fonction de la source. Les mélanges de suie peuvent présenter une composition variable, en fonction de leur teneur respective en carbone organique et en noir de carbone, et ils contiennent aussi en général des matières inorganiques comme des métaux et des sulfates. Ainsi, le rapport habituel carbone organique-noir de carbone des échappements fonctionnant au gazole serait compris entre 1 et 4 environ (moteurs de grosse cylindrée fonctionnant au fuel lourd) selon le document de référence [19] et 15 et 1 (grand moteur diesel à vitesse moyenne), selon le document de référence [21]. En ce qui concerne la combustion de biocarburants, le rapport est d'environ 4 à 1 tandis que pour les feux de végétation (ou combustion de biomasse) à l'air libre, il est d'environ 9 à 1 [19]. Quelle que soit la source considérée, il est nécessaire d'obtenir des résultats de suivi afin d'améliorer la connaissance que l'on a des émissions de noir de carbone.

123. Le noir de carbone se forme durant la combustion, lorsque l'oxygène et la chaleur sont en quantité insuffisante pour permettre une combustion complète du combustible. Il prend d'abord la forme de minuscules sphérules, dont la taille est comprise entre 0,001 et 0,005 µm (µm) et qui se regroupent pour former des particules de plus grande taille (entre 0,1 et 1 µm). La fourchette caractéristique de dimensions des particules dans laquelle se produit l'émission de noir de carbone frais en fait aussi un composant important des particules ultrafines (<100 nanomètres (nm)). Le noir de carbone se retrouve dans les particules de moins de 1 µm [19]. Lorsque la combustion se déroule dans des concentrations optimales d'O_2 (excès d'air optimal) et à température optimale, les poussières contiennent surtout des sels. Les techniques d'atténuation du noir de carbone sont les mêmes que celles qui s'appliquent aux $PM_{2,5}$ étant donné que le noir de carbone est un composant de ces poussières. Seuls les filtres en tissu et les précipitateurs électrostatiques sont efficaces sur les particules fines.

124. L'inhalation de poussières a des effets nocifs sur la santé [2] et peut provoquer de l'asthme, le cancer du poumon, des problèmes cardiovasculaires et une mort prématurée. Les effets sur la santé sont liés à la taille des particules, les grosses particules pouvant être filtrées par le nez et la gorge. Les particules dont la taille est inférieure à environ 10 µm pénètrent dans les bronches et les poumons, et celles dont le diamètre est inférieur à 2,5 µm dans les alvéoles du poumon, où ont lieu les échanges gazeux; enfin, les particules de moins de 0,1 µm pénètrent dans d'autres organes par les poumons. Par conséquent, les risques pour la santé augmentent avec la diminution du diamètre des particules. Outre la taille des particules, leur composition chimique, c'est-à-dire leurs composants cancérigènes, ainsi que la solubilité de la particule dans le poumon, ont une incidence sur la santé. Les effets sur la santé sont sans doute liés au nombre de petites particules, alors que la plupart des mesures portent sur l'ensemble des particules, où les plus grandes particules prédominent le plus souvent. Enfin, les poussières créent du brouillard, qui nuit à la visibilité.

125. Il existe plusieurs sources naturelles et anthropiques de poussières, qui varient par leur taille et leur composition chimique. En effet, les opérations suivantes peuvent dégager de la poussière:

a) Traitement mécanique de matières physiques (broyage, meulage, traitement de surface, abrasion etc.);

b) Réactions chimiques et physiques (combustion incomplète, sublimation, condensation, dépôt, etc.);

c) Exposition de la matière solide (érosion par le vent, etc.);

d) Remise en suspension de poussières (routes, dépôts de matériaux, etc.).

126. Les publications relatives à la mesure de données sur la part de $PM_{2,5}$ et de PM_{10} dans les effluents gazeux sont rares ou de qualité approximative. Par conséquent, les tableaux suivants, qui donnent les parts respectives, font appel aux modèles RAINS/GAINS.

Tableau 8
Part de $PM_{2,5}$ et de PM_{10} dans les particules totales en suspension (modèle RAINS, 2002) [15]

Secteur d'activité	*Code(s) RAIN*	*Unité de mesure*	*$PM_{2,5}$*	*$PM_{2,5}$ (%)*	*PM_{10}*	*PM_{10} (%)*	*Particules totales en suspension*
Charbon, combustion en couche (dans l'industrie, gaz brut)				7		20	
Charbon, combustion sur lit fluidisé (dans l'industrie, gaz brut)				5		26	
Lignite pulvérisé (dans l'industrie, gaz brut)				10		35	
Anthracite pulvérisé (dans l'industrie, gaz brut)				6		23	
Produits dérivés du charbon (dans l'industrie, gaz brut)				45		79	
Biomasse (dans l'industrie, gaz brut)				77		89	
Déchets (dans l'industrie, gaz brut)				23		38	
Charbon, combustion en couche (centrales électriques, gaz brut)				14		37	
Charbon, combustion sur lit fluidisé (centrales électriques, gaz brut)				5		26	
Lignite pulvérisé (centrales électriques, gaz brut)				10		35	
Anthracite pulvérisé (centrales électriques, gaz brut)				6		23	
Anthracite, fonds humide (centrales électriques, gaz brut)				21		23	
Produits dérivés du charbon (centrales électriques, gaz brut)				45		79	
Biomasse (centrales électriques, gaz brut)				77		89	
Déchets (centrales électriques, gaz brut)				23		38	
Fourneaux et chaudières domestiques à charbon				13		90	
Grandes chaudières à charbon (secteur résidentiel)				7		20	
Produits dérivés du charbon (secteur résidentiel)				45		79	

Secteur d'activité	*Code(s) RAIN*	*Unité de mesure*	$PM_{2,5}$	*$PM_{2,5}$ (%)*	PM_{10}	*PM_{10} (%)*	*Particules totales en suspension*
Fourneaux et chaudières domestiques à biomasse				93		96	
Grandes chaudières à biomasse (secteur résidentiel)				77		89	
Déchets (secteur résidentiel)				60		90	
Cheminées et chaudières (combustion de bois en Europe de l'Est)	DOM_FPLACE, DOM_STOVE	kt/PJ	0,279	93	0,288	96	0,3
Petites chaudières domestiques (combustion de bois en Europe de l'Est)	DOM_SHB_M, DOM_SHB_A	kt/PJ	0,093-0,23	37-92	0,096-0,24	37-96	0,1-0,25
Grandes chaudières résidentielles (combustion de bois en Europe de l'Est)	DOM_MB_M, DOM_MB_A	kt/PJ	0,077-0,15	39-75	0,089-0,18	45-90	0,1-0,2
Industrie (combustion de bois en Europe de l'Est)	PP_, IN_, CONV_COMB	kt/PJ	0,185	77	0,214	89	0,24
Cheminées et chaudières (combustion de bois en Europe de l'Ouest)	DOM_FPLACE, DOM_STOVE	kt/PJ	0,067-0,186	34-93	0,07-0,192	35-96	0,072-0,2
Petites chaudières domestiques (combustion de bois en Europe de l'Ouest)	DOM_SHB_M, DOM_SHB_A	kt/PJ	0,06-0,167	33-93	0,062-0,17	34-94	0,065-0,18
Grandes chaudières résidentielles (combustion de bois en Europe de l'Ouest)	DOM_MB_M, DOM_MB_A	kt/PJ	0,05-0,12	33-80	0,06-0,134	40-89	0,065-0,15
Industrie (combustion de bois en Europe de l'Ouest)	PP_, IN_, CONV_COMB	kt/PJ	0,185	77	0,214	89	0,24
Centrales électriques (combustion de fioul lourd en installation fixe)	PP_NEW, PP_EX	kt/PJ	0,0093	60	0,0132	85	0,0155
Conversion (combustion de fioul lourd en installation fixe)	CON_COMB	kt/PJ	0,0117	60	0,0166	85	0,0195
Industrie (combustion de fioul lourd en installation fixe)	IN_BO, IN_OC	kt/PJ	0,0104	60	0,0147	85	0,0173
Secteur résidentiel (combustion de fioul lourd en installation fixe)	DOM	kt/PJ	0,0095	25	0,0247	65	0,038
Centrales électriques (combustion de fuel léger en installation fixe), new	PP_NEW	kt/PJ	0,0004	18	0,0011	50	0,0022
Centrales électriques existantes (combustion de fuel léger en installation fixe)	PP_EX	kt/PJ	0,0007	19	0,0018	50	0,0036
Conversion (combustion de fuel léger en installation fixe)	CON_COMB	kt/PJ	0,0004	11	0,0018	50	0,0036
Industrie (combustion de fuel léger en installation fixe)	IN_BO, IN_OC	kt/PJ	0,0003	14	0,0011	50	0,0022

Secteur d'activité	*Code(s) RAIN*	*Unité de mesure*	*$PM_{2,5}$*	*$PM_{2,5}$ (%)*	*PM_{10}*	*PM_{10} (%)*	*Particules totales en suspension*
Secteur résidentiel (combustion de fuel léger en installation fixe)	DOM	kt/PJ	0,0007	41	0,0009	53	0,0017
Centrales électriques (combustion de gaz naturel en installation fixe)	PP_NEW, PP_EX	kt/PJ	0,0001	100	0,0001	100	0,0001
Conversion (combustion de gaz naturel en installation fixe)	CON_COMB	kt/PJ	0,0001	100	0,0001	100	0,0001
Industrie (combustion de gaz naturel en installation fixe)	IN_BO, IN_OC	kt/PJ	0,0001	100	0,0001	100	0,0001
Secteur résidentiel (combustion de gaz naturel en installation fixe)	DOM	kt/PJ	0,00003-0,0002	100	0,00003-0,0002	100	0,00003-0,0002
Production de coke	PR_COKE	kt/t	1,9971	40	3,3618	68	4,976
Procédés de frittage	PR_SINT	kg/t de produit fritté	0,557	7	1,285	15	8,563
Frittage, émissions fugaces	PR_SINT_F	kg/t de produit fritté	0,104	7	0,24	15	1,6
Production de pellets	PR_PELL	kg/t d'aggloméré	0,03	100	0,03	100	0,03
Production de fonte	PR_PIGI	kg/t de fonte	0,15	10	0,24	16	1,48
Production de fonte (émissions fugaces)	PR_PIGI_F	kg/t de fonte	0,15	6	0,25	10	2,5
Four Martin	PR_HEARTH	kg/t d'acier	6,33	60	8,76	83	10,55
Convertisseur basique à oxygène	PR_BAOX	kg/t d'acier	10,45	50	14,63	70	20,9
Fours électriques à arc	PR_EARC	kg/t d'acier	7,55	43	10,18	58	17,55
Fonderies de fonte	PR_CAST	kg/t de fer	10,68	71	13,55	90	15,05
Fonderies de fonte (émissions fugaces)	PR_CAST_F	kg/t de fer	1,38	24	2,82	49	5,75
Production d'aluminium (primaire)	PR_ALPRIM	kg/t d'aluminium	18,5	39	27,26	58	47
Production d'aluminium (secondaire)	PR_ALSEC	kg/t d'aluminium	5,195	44	6,93	58	11,9
Autres métaux non ferreux	PR_OT_NFME	kg/t de métal	12,3	82	13,8	92	15
Production de ciment	PR_CEM	kg/t de ciment	23,4	18	54,6	42	130
Production de chaux	PR_LIME	kg/t de chaux	1,4	1	12	12	100
Raffinage du pétrole (raffineries)	PR_REF	kg/t de pétrole brut	0,096	79	0,12	98	0,122
Production d'engrais	PR_FERT	kg/t	18	36	30	60	50
Production de noir de carbone	PR_CBLACK	kg/t	1,44	81	1,6	90	1,78
Production de verre	PR_GLASS	kg/t de verre	2,96	91	3,09	95	3,25
Autres productions (PVC, gypse, fibre de verre)	PR_OTHER	kg/t de produit	0,5-8	3-46	2-15	11-86	5-17,5

127. Les principales sources fixes d'émission de poussières sont donc les procédés de combustion, en particulier du charbon, du fioul et de la biomasse, mais aussi de la lessive noire dans la fabrication du papier, les procédés industriels comme le frittage, la production de ciment etc., et enfin le stockage, la manipulation et le traitement mécanique de matériaux.

128. Des inventaires des émissions de noir de carbone sont disponibles aux niveaux mondial et local. Le document de référence [21] offre un aperçu des inventaires mondiaux disponibles [22], [23], [24], [25]. Le modèle GAINS a été étendu au noir de carbone et au carbone organique [27]. L'Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués (IIASA) a publié un rapport sur la détermination des facteurs d'émission [26]. Les incertitudes restent toutefois considérables concernant certaines sources comme la combustion, le brûlis, et le brûlage de biomasse à ciel ouvert (incendies et brûlage de forêt contrôlés); toutefois, les avis convergent sur les principales sources de noir de carbone [17], [19].

129. Dans les régions de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, il s'agit:

a) Des moteurs diesel utilisés dans les transports routiers et non routiers, y compris les moteurs de bateau;

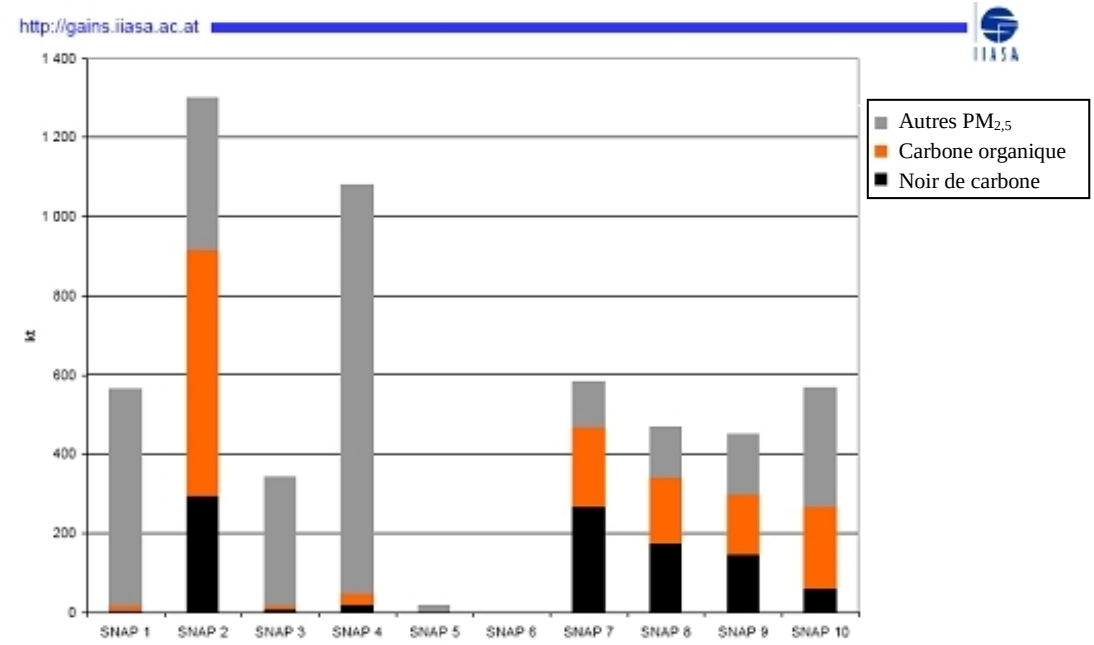
b) Du secteur résidentiel, par les chauffages domestiques, principalement au bois, mais aussi au charbon;

c) De la combustion de biomasse à ciel ouvert, à savoir principalement le brûlis, les feux de forêt contrôlés et les incendies.

130. Globalement, les appareils de cuisson des particuliers sont des sources importantes d'émissions dans toutes les régions, ainsi que les briqueteries et les fours à coke en Asie, et, dans toutes les régions, les véhicules à moteur diesel, les moteurs de bateau et la combustion de biomasse à ciel ouvert. Le brûlage de gaz en torchère, dans le cadre de l'extraction de combustibles fossiles, est également considéré comme une source importante d'émissions de noir de carbone selon la plupart des publications.

131. Le graphique suivant montre les sources d'émissions de la région de la CEE-ONU selon le modèle GAINS [28]. Dans cette région, la combustion domestique (biomasse et charbon), la circulation routière et le fonctionnement d'engins non routiers sont les principales sources de noir de carbone. Les sources non routières sont très importantes, ainsi que la combustion à l'air libre de biomasse dans les activités agricoles.

Figure 1
Sources d'émissions de noir de carbone et de carbone organique dans la région de la CEE-ONU, selon le modèle GAINS [28]



Références:
SNAP 1: Combustion dans les industries de l'énergie et de la transformation de l'énergie
SNAP 2: Combustion hors industrie
SNAP 3: Combustion dans l'industrie manufacturière
SNAP 4: Procédés de production
SNAP 5: Extraction et distribution de combustibles fossiles/énergie géothermique
SNAP 6: Utilisation de solvants et d'autres produits
SNAP 7: Transport routier
SNAP 8: Autres sources et engins mobiles
SNAP 9: Traitement et élimination des déchets
SNAP 10: Agriculture

132. Afin de réduire la formation et l'émission de poussières, différents types de mesures sont appliqués, comme l'amélioration du rendement énergétique (chap. II, sect. B), le changement de combustible, l'épuration de combustibles, une meilleure manipulation des matériaux, mais aussi des mesures de réduction des émissions. Pour maximiser la réduction des émissions de poussières, il faut envisager d'associer aux mesures de gestion de l'énergie diverses solutions techniques. Pour déterminer les meilleures combinaisons de mesures, il faut procéder à une évaluation des caractéristiques de l'installation.

B. Remplacement des combustibles

133. Le remplacement de combustible est un moyen important de réduire les émissions de poussières issues de la combustion, mais il dépend des conditions propres à chaque pays, comme les infrastructures et les orientations énergétiques. Les émissions sont généralement plus faibles lorsque le carburant permet une combustion plus homogène et qu'il contient moins de soufre et de cendres, mais plus d'hydrogène. Ainsi, la combustion de gaz naturel émet peu de poussières, tandis que la combustion de fioul, de biomasse et de charbon en produit beaucoup, en l'absence de mesures de réduction.

134. Le noir de carbone est en général produit par une combustion incomplète, elle-même déterminée par le type de carburant. Pour réduire le noir de carbone, on peut utiliser des carburants moins susceptibles de brûler de façon incomplète [19].

135. Les carburants en phase gazeuse (comme le gaz naturel), qui se mélangent facilement à l'oxygène, réduisent l'émission de particules carbonées.

136. Les carburants liquides (comme l'essence) doivent généralement être vaporisés pour alimenter une combustion vive. Un carburant liquide contenant des huiles lourdes est difficile à vaporiser et à mélanger de façon homogène avec l'oxygène.

137. Les combustibles solides (comme le bois) doivent être préchauffés et allumés avant que la combustion vive puisse se produire. Une humidité importante peut empêcher une pleine combustion vive et contribuer à la formation de particules de carbone brun et de noir de carbone.

138. Le choix du carburant peut aussi avoir des effets sur d'autres émissions comme celles de soufre, de NO_x et de gaz à effet de serre, mais aussi sur l'opportunité et la nécessité de mettre en œuvre des mesures de réduction des émissions.

C. Épuration des combustibles

139. L'épuration du combustible est importante dans le cas du charbon et du fuel.

140. Les méthodes traditionnelles d'épuration reposent sur la séparation gravitaire des cendres et des composants soufrés au moyen de bacs à piston, d'épurateurs par milieu dense, de séparateurs cyclones en milieu dense ou de systèmes de flottaison du charbon broyé. Tandis que ces méthodes conservent de 60 % à 90 % et de 85 % à 98 %, respectivement, du pouvoir calorifique du charbon, elles permettent aussi d'extraire 60 % des cendres et de 10 % à 40 % du soufre. L'extraction du soufre, mais aussi des cendres, contribue à réduire les émissions de poussières. L'extraction du soufre s'accroît proportionnellement à la quantité de soufre pyriteux contenu dans le charbon [4]. Les techniques les plus perfectionnées reposent principalement sur les principes suivants:

a) Une purification physique perfectionnée (flottaison perfectionnée par mousse, cyclonage électrostatique et par liqueur dense);

b) Un prétraitement en phase aqueuse (traitement par voie biologique, procédés hydrothermiques, échange d'ions);

c) Une agglomération sélective (Otisca, LICADO, agglomération sphérique Aglofloat);

d) Un prétraitement en phase organique (dépolymérisation, alkylation, gonflement par solvant, ajout d'un catalyseur (par exemple du carbonyle), extraction du soufre organique).

141. Ces techniques perfectionnées sont encore en cours de développement ou en phase d'essai [4]. En dehors de la réduction des émissions de soufre et de poussières, elles présenteraient les avantages suivants: réduction des coûts de transport par l'épuration du charbon à la mine, plus grande disponibilité des chaudières, diminution de la scorification et de l'encrassement des chaudières, usure plus lente de l'équipement et empoussiérage moins important. Parmi les inconvénients, il convient de citer la perte d'énergie liée au nettoyage (2 % à 15 %), le coût énergétique de ce procédé et une humidité plus importante du charbon en cas d'utilisation de procédés par voie humide [4].

142. La désulfuration du fioul est une pratique courante qui permet d'abaisser la teneur en soufre conformément, par exemple, à la Directive européenne 1999/32/CE (sur la teneur en soufre des fiouls lourds et autres combustibles liquides, qui ne doit pas dépasser, respectivement, 1 % ou 0,1 %, en masse). L'élimination du soufre diminue les émissions de poussières soufrées (la désulfuration du fioul est décrite à la section D du chapitre III).

D. Mesures primaires

143. *Déchargement, manipulation et stockage de solides.* De la poussière est émise durant le déchargement (et le chargement), le stockage et la manutention de solides. En règle générale, les particules émises par ces opérations sont de plus grande taille que celles émises par exemple par la combustion. L'utilisation de système clos ou abrités, comme des systèmes de transport continu sous abri, ou la réduction des hauteurs de chute peuvent contribuer à réduire les émissions provenant du déchargement et de la manutention [3]. Les dispositifs mis en œuvre au niveau du stockage relèvent de mesures primaires lorsqu'ils réduisent les émissions, et de mesures secondaires lorsqu'ils visent à limiter la diffusion de la poussière [2]. En outre, les mesures primaires se divisent en mesures d'organisation, de construction et techniques. Les mesures primaires d'ordre technique consistent à protéger les produits solides du vent, à les couvrir ou à éviter de les stocker dans des espaces ouverts, ou encore à humidifier ces espaces par exemple par aspersion d'eau. Les mesures secondaires sont l'aspersion, les rideaux d'eau et l'arrosage au jet, ainsi que l'installation de filtres, par exemple dans les silos [2]. L'aspersion d'eau permet aussi de réduire les émissions de poussières sur les sites de construction.

144. *Captage des émissions* La réduction ultérieure des poussières passe par le captage des émissions, dans la sidérurgie, par exemple, et l'évacuation vers des dispositifs de dépoussiérage.

145. *Technique de combustion et optimisation.* Une combustion régulière, continue et complète dégage moins de poussières (y compris de PM_{10}, de $PM_{2,5}$ et de noir de carbone). L'optimisation de l'apport d'air, du mélange air-carburant et de la conception du brûleur ou de la chaudière réduit la formation de suie et d'autres substances provenant d'une combustion incomplète, comme le noir de carbone. Par conséquent, un bon entretien des chaudières et l'installation de chaudières et d'appareils de cuisson neufs et au rendement supérieur, en particulier dans le secteur résidentiel et les entreprises commerciales, peuvent contribuer à réduire les émissions de poussières et de noir de carbone. Il est notamment possible de réduire considérablement les émissions de ce type provenant des fours à bois et à charbon. Le fonctionnement continu des chaudières permet de mieux maîtriser la combustion et réduit également les émissions de poussières et de noir de carbone. Les mesures primaires s'appliquant à la réduction des NO_x peuvent néanmoins accroître la formation de suie (chap. IV). L'abaissement de la température de combustion rend les cendres moins volatiles. Des additifs et des sorbants sont proposés pour réduire la formation de particules fines et la présence de métaux dans ces particules. Dans le cycle combiné avec gazéification intégrée (CCGI), le combustible est gazéifié dans un environnement réducteur pour former du gaz de synthèse. Ce gaz est ensuite purifié et brûlé dans de l'air ou de l'oxygène. On réduit ainsi considérablement les émissions de poussières. Le CCGI est considéré comme l'une des techniques les plus importantes dans le domaine du piégeage et du stockage du carbone (CCS). Pour le moment, son application se limite à quelques centrales, principalement de démonstration. Le CCGI-CCS pourrait être exploité commercialement à partir de 2020 environ [5].

E. Mesures secondaires

146. Les *mesures secondaires* (technologies additionnelles ou de fin de chaîne) réduisent les émissions de particules dans les effluents gazeux. Plusieurs grands principes sont à l'œuvre:

a) Inertie des particules;

b) Tamisage et adsorption;

c) Application d'une charge électrostatique aux particules, puis précipitation au moyen d'un champ électrique;

d) Épuration.

147. Les mesures secondaires suivantes[1] sont les plus utilisées, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients, en fonction de la taille des particules. Parce que le noir de carbone émis par une combustion incomplète est principalement formé de particules d'un diamètre de moins de 1 µm, seules les techniques de réduction capables d'éliminer les particules fines auront une certaine efficacité sur ce type d'émissions:

a) *Chambre de sédimentation*: En chambre de sédimentation, le débit de l'air est réduit, ce qui entraîne le dépôt des plus grandes particules dans le fond. Cette technique est utile uniquement pour l'extraction des grosses particules, au stade du «prénettoyage». Les particules plus petites pouvant être extraites en chambre de sédimentation doivent mesurer plus de 20 µm [1]. Le tableau 9 montre l'efficacité de ce type de dispositif. À savoir qu'il n'est pas adapté à l'élimination des particules fines ou du noir de carbone;

b) *Cyclone*: Les cyclones font appel au principe d'inertie des particules. Dans un cyclone, l'effluent gazeux subit une rotation rapide (en traversant une chambre conique); la force centrifuge entraîne les particules vers la paroi de l'appareil, où elles sont recueillies. L'efficacité de l'opération dépend largement de la taille des particules et augmente avec la charge en polluants. Dans les cyclones simples traditionnels, on estime que le rendement est de 70 % à 90 % pour les particules totales en suspension, de 30 % à 90 % pour les PM_{10} et de 0 % à 40 % pour les $PM_{2,5}$ [6]. La taille minimum des particules extraites par un cyclone est de 5 µm à 25 µm, mais elle est de 5 µm dans les multiclones [1]. C'est pourquoi les cyclones traditionnels sont surtout des prédépoussiéreurs. Utilisés seuls, les cyclones traditionnels ne sont pas considérés comme la meilleure technique disponible pour les installations industrielles, mais ils peuvent se révéler utiles dans la réduction des émissions provenant de petites installations de combustion dans le secteur résidentiel ou commercial. Des cyclones de haute efficacité, capables d'extraire de 60 % à 95 % des PM_{10} et de 20 % à 70 % des $PM_{2,5}$ ont été développés, mais, du fait d'une forte perte de charge, ils consomment beaucoup d'énergie et ont donc un coût d'exploitation élevé [6]. Pour obtenir un rendement plus important, il convient de résoudre le problème de la perte de charge. Des cyclones à débit élevé ont été conçus expressément pour l'extraction de fractions plus importantes de poussières, et avec une moindre perte de charge. Les multiclones se composent de nombreux petits cyclones fonctionnant en parallèle; l'efficacité est identique, voire supérieure aux cyclones de haute efficacité [6]. Les cyclones servant au prédépoussiérage et à la suppression de particules abrasives augmentent la durée de vie d'autres équipements antipollution. Les cyclones servent également à la récupération de produits de recyclage, de matériaux et autres, des effluents gazeux, par exemple dans l'industrie des métaux ferreux et non ferreux. Les avantages des cyclones sont les suivants: investissement faible, coûts d'exploitation et d'entretien modiques au regard de la quantité de particules éliminées, plages de températures et de pressions uniquement limitées par le matériel, collecte de matériaux secs et de taille relativement réduite. Parmi les inconvénients, citons la faible efficacité sur les particules fines (ou, sinon, les pertes de charge importantes) et l'impossibilité d'utiliser cette technique sur des matières collantes. On peut supposer que l'efficacité des cyclones sur le noir de carbone est identique à celle obtenue sur les particules $PM_{2,5}$;

[1] Les chiffres sur les performances donnés dans les paragraphes suivants portent principalement sur l'installation de chaudières.

c) *Précipitateur électrostatique*: Le principe du précipitateur électrostatique consiste à charger électriquement les particules contenues dans les fumées lorsqu'elles traversent une zone contenant des ions gazeux (effet corona) produits par des électrodes à haute tension (de 20 000 V à 100 000 V environ). Les particules chargées sont dirigées vers un champ électrique et se déposent sur les parois de l'appareil. Étant donné que les grosses particules absorbent davantage d'ions que celles de plus petite taille, l'efficacité des précipitateurs électrostatiques est plus élevée pour les premières. Le rendement des appareils les plus récents est en général de 99 % à environ 99,99 % pour les particules de 0,01 µm à plus de 100 µm sous réserve d'être parfaitement dimensionnés et en condition optimale de fonctionnement; ce rendement est de 90 % à 99,9 % sur les modèles plus anciens [1], [7], [8]. Les particules les plus petites à pouvoir être éliminées par un précipitateur électrostatique doivent mesurer moins de 1 µm [1]. L'efficacité est la plus basse sur les particules de 0,1 µm à 1 µm de diamètre. Elle dépend de la taille de l'appareil (zone de collecte), mais aussi de la résistivité de la poussière, de la température, de la composition chimique de la poussière et du gaz, et de la granulométrie. La conductivité électrique de la poussière est l'un des principes les plus importants mis en œuvre dans un précipitateur électrostatique. Lorsque la combustion est continue et de bonne qualité, les particules sont principalement formées de composés non organiques, comme des sels, qui possèdent une conductivité idéale et sont éliminés efficacement. La suie et le noir de carbone sont très conducteurs, ce qui favorise le rendement, mais suscite un réentraînement important de particules agglomérées. Des composés organiques condensables issus de la combustion du bois (qui se forment à basse température, par pyrolyse du bois, leurs caractéristiques dépendant du temps de séjour, de la vitesse d'échauffement, de la température et d'autres paramètres de fonctionnement, et la formation se faisant à des températures modérées et en manque local d'oxygène) sont peu conducteurs, ce qui aboutit à la formation d'un effet «*back corona*», qui limite le fonctionnement de l'appareil [29], [30].

La poussière est ensuite extraite par voie sèche ou humide, généralement par aspersion d'eau (précipitateur électrostatique sec ou humide). Les précipitateurs par voie sèche sont plus répandus, car la poussière recueillie est plus facile à manipuler que la boue obtenue par voie humide, qui doit être traitée. Les précipitateurs par voie humide doivent aussi être construits dans des matériaux non corrosifs. Toutefois, l'extraction de particules à très faible ou très forte résistivité est difficile dans les précipitateurs par voie sèche, tandis que les appareils par voie humide peuvent extraire des particules à forte résistivité et des particules collantes, des brouillards ou des poussières explosives. Les précipitateurs humides sont également plus efficaces sur les petites particules. L'injection de gaz, de liquides ou de solides de conditionnement, en particulier sous forme d'eau ou de SO_3, peut augmenter le rendement [1]. Les avantages des précipitateurs à particules sont, en général, une perte de charge très réduite, une très bonne efficacité de l'extraction (moins vrai pour les particules fines), un faible coût d'exploitation et une large gamme d'applications (particules collantes, rayonnantes et à forte résistivité (voie humide), brouillards, acides, ammoniac, gaz explosifs (voie humide)) [1], [7], [8]. Les inconvénients sont le coût élevé d'investissement, l'encombrement important, la formation d'ozone liée à la haute tension, la nécessité de disposer de personnel spécialisé en électricité haute tension et l'application limitée en cas de débit variable des effluents gazeux (débit, température, charge en poussières, composition de la poussière), ainsi que le traitement nécessaire des boues en aval (précipitateurs humides), bien que des circuits d'eau presque fermés soient possibles [1], [7], [8].

Pour les installations de combustion, les précipitateurs réduisent les émissions de poussières et de noir de carbone lorsque les conditions de combustion sont stables et de bonne qualité. En revanche, dans des conditions changeantes, les émissions de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) peuvent augmenter non seulement en raison d'une concentration accrue de gaz brut, mais aussi d'une efficacité réduite de la précipitation. Toutes les mesures qui visent à obtenir un fonctionnement équilibré des installations de combustion sont donc inévitables, même en présence d'un précipitateur électrostatique (la section D du chapitre VI est consacrée à l'optimisation de la combustion).

Pour obtenir un rendement élevé de l'extraction de poussières et de noir de carbone au moyen d'un précipitateur électrostatique, les recommandations suivantes, figurant dans les documents de référence [29] et [30] s'appliquent à la combustion de biomasse:

i) Conception optimale et intégration de la combustion et du précipitateur électrostatique, afin de permettre un fonctionnement stable;

ii) Contrôle du précipitateur électrostatique intégré au processus, avec des informations précises, comme des indicateurs des propriétés des particules, à savoir la température de l'effluent gazeux (comme cela est souvent le cas actuellement), la valeur d'excès d'air, la température de combustion et la teneur en eau du combustible. On élargit ainsi les conditions permettant un fonctionnement efficace du précipitateur électrostatique;

iii) Mesures visant à éviter le réentraînement: limitation du débit du gaz à moins de 1,5 m/s, optimisation de la forme des plateaux de collecte, intervalles de dépoussiérage plus courts sur les régimes de réentraînement;

Le problème de la moindre efficacité des dépoussiéreurs sur les particules de moins de 1 µm peut être résolu en combinant précipitateur électrostatique et filtre en tissu ou en utilisant un agglomérateur (voir plus loin). Ces deux techniques ont été considérées comme des nouvelles techniques par le Groupe d'experts des questions technico-économiques [31];

d) *Filtre en tissu*: Dans un filtre en tissu, l'effluent gazeux traverse un tissu perméable qui retient les grosses particules. Le gâteau de filtrat ainsi constitué favorise la collecte d'autres particules. Compte tenu de la baisse de charge constatée avec l'accroissement de l'épaisseur du filtrat, il convient de nettoyer le filtre de temps en temps. Trois mécanismes peuvent être utilisés: nettoyage par un jet d'air comprimé provenant de l'autre côté, mécanismes de secouage et inversion du flux gazeux. Les filtres à nettoyage par air comprimé sont aujourd'hui les systèmes les plus répandus, car ce sont les moins encombrants et les moins chers, qu'ils s'appliquent à des quantités importantes de poussières et que leur perte de charge est constante [1], [9], [10]. Leur efficacité est de 99 % à 99,99 % pour les installations nouvelles et de 95 % à 99,9 % pour les installations existantes [1], [9], [10]; l'efficacité dépend aussi de la vitesse du filtrage, des caractéristiques des particules et du tissu, et du mécanisme de nettoyage utilisé. Les filtres en tissu sont en mesure d'éliminer les poussières fines et ultrafines, et sont donc efficaces sur le noir de carbone. L'effluent gazeux est enrichi, principalement en soufre élémentaire, en ammoniac et en SO_3 pour obtenir un meilleur rendement, réduire la perte de charge et le réentraînement des particules [1]. Parmi les nouveautés, on peut citer l'ajout de carbone actif ou de chaux afin de susciter des réactions dans le filtrat, mais ces substances servent aussi de catalyseur au niveau du filtre [1]. La température de l'effluent gazeux dépend du filtre employé et du point de rosée de l'effluent, qui se situe généralement entre 120 °C et 180 °C [1]. Les avantages des filtres en tissu sont les très faibles niveaux d'émission, y compris sur les particules ultrafines (selon le tissu) obtenus indépendamment de la charge en poussières, du débit (notamment au démarrage) et du type de poussières (sauf les composés organiques condensables, en raison de leur adhésivité [30]), un fonctionnement simple et aucun problème de corrosion en général. Les inconvénients sont des coûts d'entretien et d'exploitation relativement élevés, en raison de la nécessité de remplacer les filtres (dont la durée de vie dépend de la température et de la poussière) et la baisse de charge et, surtout une mise en œuvre restreinte en milieu humide et pour des particules hygroscopiques, rayonnantes et collantes, mais aussi pour les acides, l'ammoniac et les gaz explosifs [1], [9], [10]. Les grosses particules doivent être éliminées à l'avance [1]. En cas de panne, il convient de prévoir un système de dérivation;

e) *Épurateur humide*: L'injection d'eau dans l'effluent gazeux entraîne la formation de gouttelettes qui se transforment en boue au contact des poussières. Les épurateurs de ce type sont principalement utilisés pour la désulfuration, mais peuvent aussi agir sur les poussières. L'efficacité d'extraction peut atteindre 80 % dans des tours de

pulvérisation, mais aussi dans les épurateurs dynamiques et par frottement, et jusqu'à 99 % pour les épurateurs de type Venturi [1]. Les tours de pulvérisation peuvent extraire les particules d'un diamètre supérieur à 10 µm, tandis que les dispositifs par frottement agissent sur les particules de plus de 2,5 µm de diamètre et ceux de type Venturi sont efficaces sur les diamètres supérieurs à 0,5 µm. Les épurateurs humides présentent les avantages suivants: extraction simultanée des oxydes de soufre et des poussières (voire d'autres polluants comme l'acide chlorhydrique et l'acide fluorhydrique), entretien réduit, bonne efficacité d'extraction (en particulier les systèmes Venturi), vastes applications (les variations du débit, le traitement de gaz chauds ou froid, humides ou corrosifs, les brouillards ne prêtent pas à conséquences) et risque réduit d'explosion des poussières. Ses inconvénients sont les suivants: production de déchets (boue), coûts d'entretien élevés en raison d'une perte de charge élevée, problèmes de corrosion et efficacité relativement faible d'extraction des particules ultrafines comme celles où l'on retrouve du noir de carbone [1];

f) Les *techniques d'oxydation* (décrites à la section C-2 du chapitre V), qui servent à réduire les composés organiques volatils, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les odeurs, peuvent aussi se révéler utiles pour fractionner les matières organiques, dont le noir de carbone, dans certaines applications précises. Les matières organiques telles que le noir de carbone peuvent effectivement être incinérées. L'oxydation prend la forme d'une oxydation thermique dans un brûleur d'effluents gazeux ou dans une installation d'oxydation catalytique. Les techniques d'oxydation s'appliquent aux émissions des ateliers de fabrication d'anodes, ces dernières étant composées en partie de brais et de fumée de goudron, riches en HAP. Les techniques d'oxydation réduisent la présence de ces deux produits, mais aussi des HAP condensés et volatils [32], [33];

g) *Nouvelles techniques prometteuses de réduction des poussières* [31]:

i) *Technologies COHPAC™ (Compact Hybrid Particulate Collector) et TOXECON™*: ces techniques permettent de contrôler de multiples polluants, dont le mercure et les dioxines, mais aussi d'autres polluants, notamment les particules fines. Elles ont été élaborées et mises en œuvre aux États-Unis. Dans la technologie COHPAC™, un filtre en tissu est installé en aval d'un précipitateur électrostatique. Ce dernier filtrant la plupart des poussières, il est possible d'en accroître considérablement le rendement pour une baisse de charge modeste [11]. Un précipitateur électrostatique permet l'agglomération de particules ultrafines, qui peuvent ensuite être extraites dans le filtre en tissu. Le système TOXECON™ consiste à injecter un sorbant sec, comme du charbon actif, entre le précipitateur électrostatique et le filtre en tissu;

ii) *Agglomérateur Indigo*: Ce système agglomère les particules fines avec les particules grossières. Ces dernières peuvent ensuite être aisément extraites à l'aide de techniques classiques, comme un précipitateur électrostatique. L'agglomérateur Indigo s'applique aussi aux émissions de mercure [12] et aux concentrations importantes de noir de carbone, associées à des particules de moins de 1 µm [19].

148. En résumé, il existe toute une série de mesures de réduction des émissions de poussières. Certaines, comme les cyclones, sont efficaces sur les grandes particules et, dans une certaine mesure, sur les particules grossières, mais moins sur les particules fines. Pour les particules fines et ultrafines, les filtres en tissu sont très efficaces (99,99 % voire davantage). Les précipitateurs à haute efficacité, en particulier les précipitateurs humides, mais aussi les épurateurs Venturi, peuvent aussi être très efficaces pour cette catégorie de poussières, avec un rendement allant de 95 % à 99 %. Les nouvelles techniques comme l'agglomérateur Indigo pourraient contribuer à accroître l'efficacité des précipitateurs électrostatiques sur les particules fines par l'agglomération.

149. Toutefois, toute comparaison des performances doit tenir compte des caractéristiques de la poussière et de l'effluent gazeux, mais aussi d'autres paramètres, comme la charge en poussières, le débit et les fluctuations des paramètres, car ces facteurs ont parfois un impact

important sur l'élimination des poussières, globalement et en fonction de la granulométrie des particules. En outre, les performances dépendent beaucoup de la conception du collecteur de poussières, c'est-à-dire du matériau choisi pour le filtre et la conception du précipitateur électrostatique, et, *in fine*, de l'investissement final et des coûts d'exploitation.

Tableau 9

Efficacité de différentes mesures de réduction des émissions de poussières dans les chaudières industrielles selon la granulométrie des particules

			Rendement (%)						
			Particules ultrafines	*Particules fines*		*Particules grossières*			*Grosses particules*
			<1µm	*0 à 2,5 µm*		*2,5 à 6 µm*	*6 à 10 µm*	*2,5 à 10 µm*	*>10 µm*
Catégorie	*Type*	*Sous-type*	*RAINS**	*EPA** (États-Unis)*	*RAINS***	*EPA***		*RAINS***	*RAINS***
Collecteur gravitaire et collecteur centrifuge	Collecteur gravitaire	Efficacité élevée		3,6		5	6		
		Efficacité moyenne		2,9		4	4,8		
		Faible efficacité		1,5		3,2	3,7		
	Collecteur centrifuge	Efficacité élevée		80		95	95		
		Efficacité moyenne		50		75	85		
		Faible efficacité		10		35	50		
Cyclone	Cyclone unique			10		35	50		
	Multiclone sans réinjection de cendres			80		95	95		
	Multiclone avec réinjection de cendres			50		75	85		
	Cyclone/Multiclone non précisé		11		30			70	90
	Séparateur cyclonique par voie humide			50		75	85		
Précipitateur électrostatique	Précipitateur électrostatique	Efficacité élevée	98,6	95	99	99	99,5	99,9	99,95
	Précipitateur électrostatique	Efficacité moyenne (non précisée)	95,4		96			99	99,9
	Précipitateur électrostatique	Faible efficacité (non précisée)	91,96		93			95	97
	Précipitateur électrostatique humide		98,86		99			99,9	99,95
	Précipitateur électrostatique pour chaudière	Efficacité moyenne		50		80	94		
		Faible efficacité		40		70	90		
	Précipitateur électrostatique pour autres installations	Efficacité moyenne		80		90	97		
		Faible efficacité		70		80	90		
Filtre en tissu	Filtre en tissu	Température élevée		99		99,5	99,5		
		Température moyenne		99		99,5	99,5		
		Température basse	99,99	99	99	99,5	99,5	99,9	99,98

Dépoussiéreur	Tour à pulvérisation			20		80	90		
	Dépoussiéreur par voie humide	Efficacité élevée	95	90	96	95	99	99	99,5
		Efficacité moyenne		25		85	95		
		Faible efficacité		20		80	90		
	Dépoussiéreur Venturi			90		95	99		
Autres systèmes	Intégré au processus			1,5		3,2	3,7		
	Aspersion d'eau			40		65	90		
	Agents de stabilisation chimique ou agents de mouillage			40		65	90		
	Rideau d'eau			10		45	90		
	Procédés industriels, bonnes pratiques (émissions fugaces)	Stade 1	20		10			15	20
	Procédés industriels, bonnes pratiques (émissions fugaces)	Stade 2	65,33		30			50	75

* Kupiainen, K. and Klimont, Z., 2004. Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control. International Institute for Applied Systems Analysis (IASA), rapport intermédiaire IR-04-79, 122 p.

** Klimont, Z., J. Cofala, I. Bertok, M. Amann, C. Heyes & F. Gyarfas (2002): Modelling Particulate Emissions in Europe. − IIASA, rapport intermédiaire IR-02-076, 179 p.

*** EPA (1996): AP 42, Volume I, Fifth Edition, Appendix B.2, Generalized Particle Size Distributions.

150. Parce que l'essentiel du noir de carbone se retrouve dans les particules fines ou ultrafines, les efficacités pour ces catégories de particules qui figurent au tableau 9 s'appliquent, grosso modo, au noir de carbone.

151. Le choix de la mesure la plus adaptée dépend de nombreux facteurs, notamment:

a) Des caractéristiques de l'effluent gazeux (concentration et caractéristiques des poussières − granulométrie, résistivité, température, humidité, autres polluants présents, par exemple acides, oxydes de soufre, etc.);

b) Du débit et des fluctuations de l'effluent gazeux;

c) Du mode d'exploitation de l'installation;

d) Des spécificités des procédés industriels;

e) De la question de savoir s'il s'agit d'une installation nouvelle ou d'un postéquipement, à savoir de l'espace dont on dispose;

f) Des niveaux d'émission à atteindre;

g) Des effets secondaires et du transfert de la pollution d'un milieu à un autre;

h) De la sécurité et de la fiabilité opérationnelles;

i) Des spécificités des sites;

j) Des coûts.

F. Coûts des méthodes de réduction des poussières

152. Les coûts constituent un élément important du choix des méthodes de réduction des particules. Les éléments suivants doivent notamment être pris en compte [13]:

a) Montant prévu des immobilisations et des intérêts;

b) Coûts de la main-d'œuvre;

c) Dépenses en matières auxiliaires et moyens d'exploitation;

d) Coûts énergétiques;

e) Coûts d'entretien et de réparation, dépenses de suivi et frais de prestation de services extérieurs;

f) Taxes de pollution (par exemple pour le traitement des eaux usées), impôts, redevances et charges publiques.

153. En règle générale, les coûts augmentent moins vite que la capacité de la méthode antipollution, au point que des unités de plus grande taille sont souvent plus rentables. Le postéquipement d'installations existantes est souvent possible, mais son coût est généralement plus élevé.

154. Les investissements en précipitateurs électrostatiques sont relativement élevés, alors que leurs coûts d'entretien et d'exploitation sont relativement modestes, en particulier en raison de la faible perte de charge. Les autres coûts sont liés à la nécessité d'engager du personnel spécialisé dans les hautes tensions et au traitement des boues, pour les précipitateurs humides.

155. Pour les filtres en tissu, l'investissement est plus modeste, mais les coûts d'entretien et d'exploitation plus élevés, car il faut changer le tissu régulièrement (en fonction de l'effluent gazeux et des caractéristiques des poussières), sachant que la baisse de charge est modeste à élevée.

G. Effets secondaires

156. Les options et les techniques de réduction des émissions ont des effets secondaires positifs ou négatifs dont il convient de se préoccuper. Ces effets peuvent généralement être limités par une conception appropriée et une bonne exploitation des installations. Ils sont notamment les suivants:

a) Impact sur la consommation d'énergie et, partant, sur les émissions de gaz à effet de serre;

b) Impact sur d'autres polluants atmosphériques;

c) Impact sur l'utilisation des ressources naturelles;

d) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre (production de déchets ou pollution de l'eau).

157. Un effet secondaire important de la réduction des émissions de poussières est la réduction simultanée de métaux lourds (sauf le mercure) [14]. En fonction de ses caractéristiques et de sa composition chimique, la poussière recueillie peut être recyclée, notamment dans la métallurgie ou la sidérurgie, ou bien elle doit être éliminée.

158. Plus précisément, les effets secondaires à envisager avec les différentes méthodes de réduction des particules sont les suivants:

a) *Précipitateur électrostatique*: Un effet secondaire important concerne la consommation d'électricité nécessaire à la production de la couronne et du champ électriques. Toutefois, étant donné que les baisses de charge sont faibles dans ces systèmes, la consommation globale d'électricité est considérablement plus modeste que dans les filtres en tissu, où les baisses de charge sont importantes, par ailleurs. Dans les précipitateurs humides, il convient de prévoir un traitement des boues, mais l'eau est presque entièrement recyclée, d'où une faible consommation. Étant donné que l'efficacité des précipitateurs électrostatiques est considérablement plus faible sur les particules de 0,1 µm à 1 µm, elle l'est donc aussi sur les métaux lourds, par rapport aux filtres en tissu;

b) *Filtre en tissu*: Le tissu doit être renouvelé tous les deux à quatre ans environ (sa durée de vie dépendant de différents facteurs), de telle sorte que des déchets sont produits si le tissu ne peut être retraité. La baisse de charge dans ces dispositifs est compensée par pompage, ce qui accroît la consommation d'électricité. Étant donné que les filtres en tissu sont très efficaces sur les particules fines, ils le sont aussi sur les métaux lourds, qui prédominent dans les particules ultrafines dont sont chargés les effluents gazeux.

Références du chapitre VI

[1] Ohlström, M., J. Jokiniemi, J. Hokkinen, P. Makkonen, et J. Tissari (2006): Combating particulate emissions in energy generation and industry. Views and conclusions of the FINE Particles − Technology, Environment and Health Technology Programme, VTT Technical Research Centre of Finland.

[2] BREF (2006): Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Émissions dues aux stockages des matières dangereuses ou en vrac (2006) − Commission européenne, 460 p.

[3] BREF (2006): Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Grandes installations de combustion. − Commission européenne, 618 p.

[4] Banque mondiale: Nettoyage du charbon, http://www.worldbank.org/html/fpd/em/power/EA/mitigatn/aqsocc.stm, consulté le 27 septembre 2008.

[5] Results of work of the EGTEI expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques. Report by the Chair of the Expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques to the Working Group on Strategies and Review (résultat des travaux du sous-groupe chargé des nouvelles technologies au sein du Groupe d'experts des questions technico-économiques, rapport du Président du sous-groupe chargé des nouvelles technologies au Groupe de travail des stratégies et de l'examen), 1er au 5 septembre 2008.

[6] EPA (États-Unis): EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet «Cyclones».

[7] EPA (États-Unis): EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet «Wet Electrostatic Precipitator (ESP) − Wire-Pipe Type».

[8] EPA (États-Unis): EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet «Dry Electrostatic Precipitator (ESP) − Wire-Plate Type».

[9] EPA (États-Unis): EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet «Fabric Filter, Pulse-Jet Cleaned Type».

[10] EPA (États-Unis): EPA-CICA Air Pollution Technology Fact Sheet «Fabric Filter, Mechanical Shaker Cleaned Type».

[11] Miller, R., R. Chang et C. J. Bustard (2003): Effective use of both COHPACT™ and TOXECON™ technologies as the «Technology of the future» for particulate and mercury control on coal-fired boilers − document élaboré pour la conférence International Power-Gen de 2003, Las Vegas, États-Unis.

[12] Truce, R. (2008): Enhanced fine particle and mercury emission control using the Indigo Agglomerator − VGB powertech 88, p. 95 à 101.

[13] VDI 3800, Determination of costs for industrial environmental protection measures. Verein Deutscher Ingenieure, 2001.

[14] Kraus, K., S. Wenzel, G. Howland, U. Kutschera, S. Hlawiczka, A. P. Weem et C. French (2006): Assessment of technological developments: Best available techniques (BAT) and limit values. Submitted to the Task Force on Heavy Metals, Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.

[15] GAINS Europe − http://gains.iiasa.ac.at/index.php/gains-europe.

[16] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone. Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13 au 17 décembre 2010.

[17] Arctic Council − Task Force on Short-Lived Climate Forcers − «An Assessment of Emissions and Mitigation Options for Black Carbon» − 2011.

[18] PNUE/OMM − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[19] EPA (États-Unis), Rapport au Congrès sur le noir de carbone, États-Unis, mars 2012.

[20] Kupiainen, K. et Klimont, Z., 2007. Primary Emissions of fine carbonaceous particles in Europe. Atmospheric environment − 41 − (2007) − p. 2156 à 2170.

[21] H. C. Hansson *et al.*, Université de Stockholm, et Karin Kindbom *et al.*, IVL Swedish Environmental Research Institute − Black carbon − Possibilities to reduce emissions and potential effects. Juillet 2011.

[22] Visschedijk, A. J. H., Dernier van der Gon, H. A. C., Dröge, R., Van der Brugh, H., 2009. A European high-resolution and size-differentiated emission inventory for elemental and organic carbon for the year 2005. Rapport TNO TNO-034-UT-2009-00688_RPT-ML. PO Box 80015, 3508 TA Utrecht, Pays-Bas.

[23] Van der Gon H., Visschedijk A., Kuenen J., Harrison R., Beddows D., Prior S., Sørensen L. L., Janhäll S., Pandis S., Johansson C., Hedberg Larsson E., De Leeuw G. et O'Dowd C. Progress in Eucaari Wp 1.3: Anthropogenic and Biogenic Emissions of Aerosols and Precursors. In Proceedings of 2007 EUCAARI Annual Meeting Helsinki 20 au 22 novembre 2007, Kulmala *et al*. (Eds.), Report Series in Aerosol Science, 91. http://www.atm.helsinki.fi/~asmi/EUCAARI/EUCAARI_rs91.pdf.

[24] Bond, T. C., Streets, D. G., Yarber, K. F., Nelson, S. M., Woo, J.-H., Klimont, Z., 2004. A technology-based global inventory of black and organic carbon emissions from combustion. Journal of Geophysical Research 109, D14203.

[25] Junker, C., et Liousse, C., 2008. A global emission inventory of carbonaceous aerosol from historic records of fossil fuel and biofuel consumption for the period 1860-1997. Atmos. Chem. Phys., 8, p. 1195 à 1207.

[26] Kupiainen, K., et Klimont, Z., 2004. Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control. International Institute for Applied Systems Analysis (IASA), Rapport intermédiaire IR-04-79, Schlossplatz 1 A-2361 Laxenburg (Autriche).

[27] Amann, M. − 2008, The Greenhouse Gas − Air Pollution Interactions and Synergies Model (GAINS). Interim Report on Modelling Technology, European Consortium for Modelling of Air Pollution and Climate Strategies − EC4MACS. Task 2: Integrated Assessment of Air Pollution and Greenhouse Gases.

[28] Klimont, Z. − Center for Integrated Assessment Modelling (CIAM) − International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Current Emissions and Baseline Projections of Black Carbon in United Nations Economic Commission for Europe area GAINS model − working progress. Commission économique pour l'Europe des Nations Unies TFEIP Stockholm, 2 et 3 mai 2011.

[29] Nussbaumer, T., et Lauber, A. − Formation mechanisms and physical properties of particles from wood combustion for design and operation of electrostatic precipitators − 18th European Biomass Conference and Exhibition, Lyon, 3 au 7 mai 2010, OA11.3, ETA-Florence 2010.

[30] Nussbaumer, T. − Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission levels of Particulate Matter, prepared for the Swiss Federal Office for the Environment and EGTEI, 2010.

[31] EGTEI − Expert sub-group on Emerging Technologies/Techniques on Large Combustion Plants >500 MWth up to 2030 − 2008.

[32] Information de A. Peeters Weem, InfoMil Pays-Bas, dans le cadre de l'examen du document d'orientation portant sur l'ajout d'informations sur les méthodes de réduction du noir de carbone, juin 2012.

[33] Mannweiler U. *et al.* − An anode plant in urban area: fiction or reality? − 12th Arabal, 2 au 5 avril 2006.

[34] CIMAC, document disponible à l'adresse http://www.cimac.com/cimac_cms/uploads/explorer/Working%20groups/black_carbon.pdf.

VII. Techniques disponibles pour différentes activités

A. Installations de combustion de moins de 1 MW, y compris les installations pour le chauffage domestique

1. Objet

159. Les installations domestiques de combustion sont parfois une source importante d'émissions de NO_x, SO_2, de COV et de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone), en fonction du combustible utilisé. Le présent chapitre porte sur les installations domestiques servant au chauffage et à la production d'eau chaude sanitaire d'une puissance inférieure à un mégawatt.

2. Techniques de combustion

160. Les installations de combustion domestiques peuvent être alimentées avec différents combustibles: gaz naturel, fioul, bois et charbon. Ces installations peuvent faire appel à une combinaison de brûleurs et de chaudières. En ce qui concerne le bois et le charbon, les fourneaux, les foyers-inserts et les cheminées à foyer ouverts sont aussi des installations domestiques, tout comme des chaudières à réglage manuel ou automatique.

a) Brûleurs

i) Combustibles gazeux

161. Les brûleurs à combustible gazeux reposent sur le principe de la pulvérisation. Ce procédé accroît la surface de contact entre l'air comburant et le combustible, améliorant ainsi le processus de combustion. La pulvérisation s'applique aux brûleurs atmosphériques, mais aussi à air pulsé.

162. Ces brûleurs possèdent plusieurs modes de fonctionnement: tout ou rien, à deux allures et à allure modulable.

163. Les brûleurs tout ou rien fonctionnent à leur allure nominale.

164. Les brûleurs à deux allures fonctionnent à allure nominale, ou à 40 % à 60 % de la charge, selon la demande.

165. Les brûleurs à allure modulable fonctionnent de façon adaptée à la demande, l'allure minimum étant de 30 % de la charge. Ce dernier mode de fonctionnement permet une meilleure maîtrise de la consommation de combustible. Par conséquent, les émissions sont réduites, surtout celles qui se produisent à la mise en marche et à l'arrêt [1].

166. Différentes technologies de brûleurs gaz peuvent être utilisées dans les installations domestiques.

167. Les *brûleurs dégageant peu de NO_x* limitent la formation d'oxydes d'azote. L'une des techniques employées consiste à recycler les effluents du gaz de combustion dans le dispositif d'admission d'air du brûleur. On réduit la température de la flamme, la concentration en oxygène et les émissions de NO_x.

168. Le principe des *brûleurs à prémélange* consiste à mélanger au préalable le combustible et l'air. Le mélange est ensuite distribué sur la surface spécifique sur laquelle la flamme se développe. Cette surface peut être conçue de différentes façons. Cette technique permet de maîtriser et d'optimiser le mélange. Elle repose sur un rapport modulaire comburant-combustible. Elle évite l'excès d'air durant la combustion et, par conséquent, les émissions de NO_x. Cette technique peut être utilisée dans la combustion catalytique.

169. Les *brûleurs à rayonnement* sont uniquement employés avec un combustible gazeux. Cette technique permet de réduire la température de la flamme et, par conséquent, de limiter les émissions d'oxydes d'azote durant la combustion.

ii) Combustibles liquides

170. La plupart des *brûleurs pour combustibles liquides* utilisent le principe de la pulvérisation et possèdent les mêmes modes de fonctionnement que ceux destinés aux combustibles gazeux, à savoir tout ou rien, à deux allures ou à allure modulable.

171. Différentes technologies de brûleurs à combustible liquide peuvent être employées dans les installations domestiques.

172. Dans les *brûleurs à vaporisation*, le combustible liquide est vaporisé sous forme gazeuse. Cela permet une combustion plus complète et limite, par conséquent, les émissions de polluants, mais ce système est rarement utilisé dans les chaudières.

173. Les *brûleurs dégageant peu de NO_x* sont également utilisés avec du combustible liquide, les techniques s'appliquant au combustible gazeux étant valables ici.

iii) Combustibles issus de la biomasse

174. Les brûleurs pour la *combustion du bois* fonctionnent essentiellement avec des granulés brûlés dans des chaudières ou des fourneaux à bois. Les granulés sont acheminés automatiquement jusqu'au brûleur par un transporteur à vis.

b) Chaudières fonctionnant avec des combustibles gazeux ou liquides

175. Une *chaudière à combustible liquide ou gazeux* se compose généralement d'un brûleur, d'une chambre de combustion et d'un échangeur de chaleur. Elle est équipée d'une cheminée.

176. Le combustible est brûlé dans une chambre de combustion où l'eau est chauffée dans un échangeur de chaleur, les gaz de combustion étant ensuite évacués par la cheminée. L'eau alimente ensuite des radiateurs ou le circuit d'eau chaude sanitaire.

177. Différents types de chaudières peuvent être utilisés.

178. Dans les *chaudières à basse température*, les brûleurs ne fonctionnent pas en charge nominale et l'eau est chauffée à des températures plus basses (25 °C à 75 °C au lieu de 70 °C à 80 °C). Cette technique permet de réduire la consommation de combustible de 12 % à 15 % par rapport à des techniques traditionnelles [1].

179. La *technique de la condensation* s'applique aux combustibles gazeux, mais, de plus en plus aussi, aux combustibles liquides. Il s'agit de récupérer la chaleur latente de l'eau contenue dans l'effluent gazeux.

180. L'utilisation d'un échangeur de chaleur avec de l'eau à basse température permet de récupérer la chaleur latente des effluents gazeux. Ces gaz sont condensés lors de l'échange thermique. Par conséquent, la condensation permet de récupérer davantage de chaleur pour une consommation d'énergie inférieure à celle des chaudières traditionnelles.

181. Le rendement des chaudières peut être augmenté de 15 % à 20 % par rapport aux chaudières standard récentes grâce à cette technologie [1].

182. Les gaz issus de la combustion de combustibles liquides contiennent moins d'eau à condenser. Par conséquent, la chaudière à condensation est moins indiquée pour ce type de combustibles.

183. Les chaudières à condensation utilisent généralement un brûleur dégageant peu de NO_x.

184. Les *chaudières pulsatoires* (ou à microcombustion) se composent d'une chambre de combustion qui débouche sur un échangeur de chaleur formé d'une multitude de tubes. La combustion prend la forme de microcombustions (115 par seconde). Cette technique permet de récupérer la chaleur latente de l'eau contenue dans le gaz de combustion, comme dans la condensation.

185. Si la condensation s'applique à différents types de combustibles, la microcombustion ne peut s'utiliser qu'avec des combustibles gazeux [5].

c) Technologies appliquées aux combustibles à biomasse

i) Chaudières

186. Il existe différents types de chaudières à bois, principalement des *chaudières à bûches* et des *chaudières à granulés***.**

187. On trouve également des chaudières à bois déchiqueté, mais elles sont surtout réservées aux grandes installations (puissance >30 kW).

188. La même technologie est utilisée pour les chaudières à granulés ou à bûches: le combustible est brûlé automatiquement, les effluents gazeux servant à chauffer un fluide calorifique (de l'eau en général) dans un échangeur de chaleur.

189. Les chaudières à bûches sont posées sur une grille et brûlent selon différentes méthodes: combustion verticale, horizontale ou inversée, à tirage naturel ou forcé.

190. Dans les systèmes à tirage naturel, trois techniques de combustion sont employées:

a) Combustion verticale: toutes les bûches sur la grille s'allument simultanément. Ce type de combustion est très difficile à contrôler; par conséquent, il s'accompagne d'émissions importantes pour un faible rendement énergétique (10 % à 20 %);

b) Combustion horizontale: les bûches ne prennent pas feu en même temps. Elles sont séchées avant d'être brûlées. Les flammes sont horizontales. Ce type de combustion est plus facile à contrôler, d'où un meilleur rendement;

c) Combustion inversée: comme dans la combustion horizontale, les bûches ne prennent pas feu en même temps et elles sont séchées avant d'être brûlées. On parle de «combustion inversée» parce qu'au lieu de monter comme dans la combustion verticale, les flammes descendent à travers la grille. Il s'agit de la combustion à tirage naturel la mieux contrôlée et celle qui offre donc les meilleures performances.

191. Les chaudières à bois à air forcé (également appelées chaudières «turbo»), plus récentes, affichent aussi des performances supérieures à celles à tirage naturel. La technique employée est la même que celle de la combustion inversée, mais un ventilateur assure l'entrée de l'air comburant tandis que les gaz de combustion sont extraits à l'extérieur. Dans ce type de chaudière, la combustion est étagée. Dans la première phase, de l'air introduit au-dessus du bois sèche le combustible et participe à un processus de gazéification. Dans la seconde phase, la combustion est activée par injection d'air secondaire. La combustion étagée permet un bon mélange de l'air et des gaz de combustion formés durant la libération de substances volatiles, et la gazéification, dans la couche de combustible [15]. La combustion est mieux contrôlée, offrant ainsi un rendement important et un fonctionnement à haute température, deux facteurs essentiels à une combustion complète. Ces chaudières sont celles qui affichent les meilleures performances.

192. Dans les chaudières à bûches de bois, un réservoir de stockage de la chaleur évite les problèmes liés à une exploitation en charge partielle. La chaudière peut fonctionner à pleine charge ou à charge partielle en régime permanent, ce qui réduit les émissions de résidus de combustion. Dans une chaudière manuelle ou automatique, il est conseillé de prévoir un réservoir de stockage de la chaleur, qui contribue à réduire les émissions dues à un fonctionnement en charge partielle.

193. Les techniques visant à réduire les émissions de NO_x, comme le recyclage des effluents gazeux, s'appliquent aussi aux chaudières à bois. L'option de nettoyage automatique, disponible sur certains modèles, contribue au maintien du rendement énergétique de l'installation.

ii) Autres installations domestiques

194. Les poêles, cheminées-inserts et cheminées à foyer ouverts peuvent aussi fonctionner au bois:

a) Les cheminées à foyer ouvert sont les moins efficaces, la combustion se faisant dans l'air ambiant. La combustion n'est absolument pas contrôlée, le rendement énergétique est médiocre et les émissions sont importantes;

b) Différentes technologies peuvent être utilisées dans les inserts: réglage de l'air (l'air de combustion peut être chauffé avant d'être injecté dans la chambre de combustion), catalyse (un catalyseur est ajouté pour abaisser la température de combustion);

c) Poêles: différentes technologies peuvent être employées:

i) Réglage de l'air: l'air de combustion est chauffé avant d'être injecté dans la chambre de combustion, grâce à un système de pilotage automatique, par un dispositif électronique. Cette solution réduit les émissions;

ii) Le combustible utilisé (granules ou bûches) varie d'une technique à l'autre. Un four en briques peut accumuler de l'énergie durant la phase de combustion, puis diffuser encore de la chaleur plusieurs heures après;

iii) Poêle hermétique: l'air extérieur sert de comburant. Il n'y a donc aucun échange entre ce dernier et l'air intérieur. Cette technique offre des performances plus élevées que celles d'un poêle classique et cette solution évite les problèmes liés à la qualité de l'air intérieur.

195. Le rendement énergétique des appareils dépend beaucoup de l'échange thermique. Par conséquent, des améliorations sont constamment apportées dans ce domaine. Le rallongement des conduits de fumée et l'utilisation d'un ventilateur pour l'air de convection en sont des exemples. Ils permettent un transfert plus important de l'énergie dégagée par les gaz de combustion vers l'air intérieur. Par conséquent, ils améliorent le rendement et réduisent les émissions.

196. Les performances des appareils dépendent aussi de la charge de combustible. Lorsque cette dernière est inférieure à la charge nominale (combustion réduite), la combustion se fait mal: les émissions sont alors plus importantes et le rendement énergétique est moins bon. Cela est dû à une température basse dans la chambre de combustion.

197. Les appareils automatiques à granules ou à bois déchiqueté peuvent fonctionner à leur charge nominale; par conséquent, on obtient de meilleures performances, tandis que les émissions de poussières et d'autres polluants provenant d'une combustion incomplète, comme le monoxyde de carbone ou les composés organiques volatils, sont plus faibles qu'avec des appareils traditionnels.

d) Technologies employées avec les combustibles fossiles solides

198. Aucune information n'est disponible à ce jour concernant les technologies au charbon.

3. Techniques disponibles et niveaux d'émission

199. La réduction des émissions dans les appareils domestiques passe principalement par une amélioration du rendement énergétique grâce à des techniques perfectionnées. Quoi qu'il en soit, pour atteindre le meilleur rendement possible, les mesures s'appliquant aux appareils doivent s'accompagner de mesures sur l'isolation thermique des bâtiments et de l'ensemble du réseau de chauffage.

200. Les émissions de polluants sont fonction du type de combustible employé:

a) Les combustibles gazeux émettent surtout des oxydes d'azote;

b) Les combustibles liquides émettent principalement du SO_2 et des NO_x;

c) Combustibles solides: les émissions provenant de la combustion du bois sont principalement des poussières et des COV tandis que la combustion du charbon produit surtout du SO_2 et des poussières.

201. Les techniques de combustion, et, par conséquent, les techniques de réduction des polluants émis par des appareils domestiques, dépendent aussi du type de combustible utilisé.

a) Type de combustible employé

i) Combustibles gazeux

202. La condensation, associée à un certain type de brûleur, peut être considérée comme très efficace sur les combustibles gazeux. Certains brûleurs réduisent aussi les émissions, notamment ceux dégageant peu de NO_x. La microcombustion peut aussi être considérée comme très efficace sur les combustibles gazeux [1], [2].

ii) Combustibles liquides

203. Les chaudières à faible température ou à condensation en combinaison avec des brûleurs spéciaux, sont très efficaces sur les combustibles liquides. En outre, certains brûleurs permettent de réduire les émissions de NO_x.

iii) Biomasse

204. Pour les chaudières à bûches, la combustion inversée à tirage forcé et recyclage des gaz de combustion peut être considérée comme une technique très efficace. Le rendement énergétique peut encore être augmenté et les émissions réduites par un réservoir d'eau faisant office d'accumulateur hydraulique.

205. Les granulés sont aussi considérés comme une technique à haut rendement énergétique, tout comme le procédé de condensation sur les combustibles solides.

206. Le niveau d'émission de poussières et de COV dépend principalement de l'efficacité de la combustion; plus cette dernière est complète, plus les émissions sont faibles.

207. Pour les inserts, les catalyseurs réduisent les émissions atmosphériques de résidus de la combustion en abaissant la température de combustion. Cette technique est actuellement employée aux États-Unis et fait son apparition en Europe. Selon des rapports de mesure [10], [11], l'utilisation de catalyseurs dans les inserts peut diviser les émissions de poussières par deux.

208. Pour les poêles, les granulés sont considérés comme une technique offrant un rendement énergétique important.

209. Les poêles en briques diffusent l'énergie stockée durant plusieurs heures. Ils permettent d'obtenir une bonne température ambiante pendant plusieurs heures avec une combustion réduite, moins polluante.

210. Néanmoins, quelle que soit la méthode employée pour faire des économies d'énergie et accroître le rendement de la combustion et ce, quel que soit le combustible utilisé, c'est en réduisant la consommation du combustible que l'on agit sur les émissions de polluants.

iv) Combustibles fossiles solides

211. Aucune information n'était disponible sur les techniques applicables au charbon lors de l'élaboration du présent rapport.

b) Polluants

i) SO_2

212. Les émissions de SO_2 dépendent de la teneur en soufre du combustible. Par conséquent, la principale mesure de réduction consiste à utiliser des combustibles contenant peu ou pas de soufre. Pour le lignite, l'ajout d'hydroxyde de calcium (chaux éteinte) permet de fixer les molécules de soufre dans les cendres.

ii) NO_x

213. Les émissions de NO_x sont fonction de différents paramètres: type de combustible, température de la flamme, volume d'air, temps de séjour dans la chambre de combustion et teneur en azote du combustible.

214. Les techniques de réduction des émissions de NO_x en particulier sont les brûleurs dégageant peu de NO_x ou les brûleurs à prémélange et à ratio air-combustible modulaire. Ce type de brûleur réduit la formation de NO_x en agissant sur la teneur en air du mélange.

215. Le tableau donne un aperçu des niveaux d'émission de NO_x réalisables sur un certain nombre d'installations domestiques au gaz fonctionnant à pleine charge.

Tableau 10
Émissions de NO_x atteignables sur certaines installations domestiques au gaz [2]

	Chaleur produite (kW)	*NO_x (g/GJ)*
Chaudière à condensation et à air forcé + brûleur à prémélange et à ratio air-combustible modulaire	24	18
Chaudière à air forcé + brûleur à prémélange et dégageant peu de NO_x	24	29
Chaudière à air forcé + brûleur traditionnel	24,6	62
Chaudière et brûleur traditionnels	24,2	85

iii) Composés organiques volatils

216. Les émissions de COV sont principalement liées à l'efficacité de la combustion. Aucune technologie n'agit précisément sur les COV. Les techniques utilisées sont celles qui permettent la combustion la plus complète possible. Elles sont détaillées dans les paragraphes précédents, sur les chaudières à bois.

iv) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

217. Comme dans toute combustion, dans les installations domestiques, les émissions de poussières dépendent du type de combustible employé. Avec les combustibles gazeux, les émissions sont très faibles et ces combustibles peuvent donc se substituer au charbon ou au bois. Les combustibles liquides émettent peu de poussières. Les mesures primaires de réduction de ces émissions sont décrites dans la section A-2(a) du chapitre VII et dans la section A-2(b) du chapitre VII.

218. La plupart des émissions de poussières proviennent des combustibles solides. Les techniques d'atténuation sont avant tout des mesures primaires qui ont pour objectif la combustion la plus complète possible. Ces techniques ont été décrites dans les paragraphes précédents, portant sur le combustible bois. Pour réduire les poussières provenant d'installations existantes, ces dernières peuvent être remplacées par des appareils plus modernes, offrant un meilleur rendement énergétique et une combustion plus complète.

219. En dehors de ces mesures techniques, surtout pour les poêles et les chaudières à bois à commande manuelle, un fonctionnement correct et une bonne qualité du combustible sont fondamentaux si l'on veut éviter des émissions importantes de polluants. L'allumage du bois par le haut plutôt que par le bas réduit sensiblement les émissions à l'allumage. Il faut surtout éviter de restreindre l'écoulement de l'air comburant, ce qui réduirait les charges calorifiques [15]. L'utilisation de bois non traité uniquement et un séchage correct du bois sont également des conditions préalables très importantes. Des programmes d'information du public peuvent sensibiliser ce dernier à ces conditions.

220. Des mesures secondaires peuvent aussi être envisagées avec des combustibles solides. Les techniques éprouvées d'élimination des poussières sont les multiclones, les précipitateurs électrostatiques et les filtres en tissu, qui sont décrits de façon plus détaillée à la section E du chapitre VI et à la section A.2.c du chapitre VII.

221. Des études ont montré que les précipitateurs électrostatiques et les filtres en tissu étaient adaptés aux chaudières d'une puissance inférieure à 1 MW, jusqu'à 100 kW [8]. Pour les installations d'une puissance inférieure à 500 kW, les coûts engendrés par ces solutions sont encore relativement élevés, mais certaines expériences réalisées sur des installations de référence dans cette gamme de puissance ont donné des résultats positifs. On peut réduire les poussières à moins de 50 mg/m^3 (à 13 % d'O_2) avec un précipitateur électrostatique unique, tandis qu'une réduction comprise entre 10 mg/m³ à 20 mg/m³ (à 13 % d'O_2) a été mise en évidence avec un précipitateur électrostatique optimisé (multiphase). Enfin, les filtres en tissu peuvent réduire les émissions à moins de 10 mg/m³, voire à moins de 5 mg/m³ [8], [15].

222. De petits précipitateurs électrostatiques ont été développés dans certains pays comme en Norvège, en Allemagne et en Suisse [13], [15], [17]. Ils peuvent être considérés comme des techniques de réduction des poussières émanant des appareils domestiques de chauffage au bois d'une puissance inférieure à 50 kW, dont des appareils d'appoint. Dans des conditions idéales, un petit précipitateur électrostatique peut éliminer 90 % des particules de poussières d'un diamètre supérieur à 0,1 µm [7]. En revanche, pour des raisons économiques, ces dispositifs sont souvent une version simplifiée de leur équivalent dans l'industrie. Dans certains cas, il ne faut pas s'attendre à une efficacité de séparation supérieure à 50 %, surtout lorsqu'il y a un effet de réentraînement, après agglomération des particules. Des essais sur le terrain ont montré que les petits précipitateurs commercialisés actuellement n'étaient efficaces qu'à long terme sur les installations de combustion modernes, en permettant une combustion assez complète et peu polluante. Les installations plus anciennes, dont la combustion est médiocre et l'émission de particules importante, peuvent rapidement connaître des problèmes de surcharge et d'encrassement [18]. Dans l'état actuel de la technique, il n'est pas recommandé d'équiper les installations anciennes de petits dépoussiéreurs électrostatiques.

223. Plus généralement, de la poussière se dépose dans les poêles, les chaudières, les conduits, les cheminées, etc. Par conséquent, pour limiter les émissions, il convient de nettoyer régulièrement les chaudières et les poêles. La solution d'autonettoyage peut être considérée comme une technique efficace de réduction des émissions de poussières.

Tableau 11
Valeurs limites d'émission pour les poussières provenant d'installations de combustion à la biomasse d'une puissance inférieure à 1 MW [16]

Type d'installation	*Type de mesure secondaire*	*Valeur limite d'émission de poussières (mg/mn^3 à 13 % d'O_2)*
Poêles à bois, installations fermées à insert		20-40
Chaudières à bûches (avec accumulateur de chaleur)		15-30
Poêles et chaudières à granulés de bois		15-30
Installations de combustion automatiques	Multiclone	75-150
	Précipitateur électrostatique simple	20-50
	Précipitateur électrostatique amélioré	<10-20
	Filtre en tissu	<10

v) Le noir de carbone

224. La combustion domestique − en particulier de biomasse − est et restera l'un des grands secteurs émetteur de noir de carbone. La suie (que l'on trouve sous forme de noir de carbone dans l'atmosphère) se forme lors de la combustion incomplète, due à des températures élevées et à un manque d'oxygène. La combustion incomplète se produit souvent dans les appareils à commande manuelle. Par conséquent, les poêles à bois à commande manuelle et les petites chaudières sont les principales catégories d'appareils produisant du noir de carbone.

225. Les techniques de réduction des émissions de noir de carbone correspondent aux mesures primaires techniques décrites plus haut pour la réduction des poussières, c'est-à-dire qui permettent la combustion la plus complète possible. Une combustion étagée, avec une gazéification à température plus basse, réduit la formation de suie en diminuant les zones de haute température, riches en carburant, dans la flamme. Une fois de plus − comme c'est le cas pour la réduction des poussières − un fonctionnement correct des installations à commande manuelle et la qualité du combustible sont des paramètres essentiels à la réduction du noir de carbone [15].

226. Dans les installations de combustion automatiques − chaudières à bois automatiques, poêles et chaudières à granulés − la combustion peut être quasi-complète; par conséquent, la poussière est principalement formée de particules inorganiques. Toutefois, en phase d'allumage ou en cas de fonctionnement inadéquat, ces installations peuvent aussi émettre du noir de carbone [15].

227. Concernant les mesures secondaires, d'une façon générale, les filtres en tissu et les précipitateurs électrostatiques diminuent le noir de carbone. En effet, ce dernier conduit très facilement l'électricité, ce qui le rend très sensible au pouvoir séparateur d'un précipitateur électrostatique. En revanche, les multiclones ne diminuent pas le noir de carbone de façon significative, car leur pouvoir de séparation est médiocre sur les particules de moins de 5 µm [15].

228. En ce qui concerne les petits dépoussiéreurs électrostatiques commercialisés avec des poêles et des chaudières domestiques, le potentiel de réduction du noir de carbone est incertain pour la plupart des applications, dans la pratique; les expériences doivent donc être poursuivies dans ce domaine [18].

4. Nouvelles techniques

229. La microcogénération est une nouvelle technique d'économie d'énergie. L'énergie utilisée pour le chauffage d'un logement ou la production d'eau chaude sanitaire sert à produire de l'électricité.

230. Les granulés, dont l'utilisation est en cours de développement pour les foyers à insert, améliorent le rendement énergétique.

231. Cela fait longtemps que les filtres en céramique sont utilisés dans les grandes installations industrielles. Des filtres en céramique ont en effet été développés pour les petites installations de combustion; ils font appel au même procédé que celui qui permet de piéger les particules des moteurs diesel des véhicules terrestres et des bateaux. Ces filtres à particules agissent aussi sur les émissions de noir de carbone. Ils peuvent aussi être employés dans les installations d'oxydation. En effet, la céramique transporte la chaleur nécessaire à la réaction d'oxydation ou fait office de catalyseur. C'est ainsi que l'on peut oxyder des matériaux non brûlés comme le noir de carbone. Ces systèmes de réduction des émissions ont été développés et testés dans la pratique, mais les données ne sont pas encore suffisantes pour en évaluer l'efficacité sur les installations de combustion fixes d'une puissance inférieure à 1 MW. On prévoit que cette technique, en cours de développement, tirera profit des pièges à particules utilisés dans les véhicules lourds et qu'elle sera prochainement adaptée aux petites installations fonctionnant aux combustibles solides [19].

5. Coût des différentes techniques antipollution

232. Une chaudière à faible émission de NO_x coûte environ 500 euros de plus qu'une chaudière conventionnelle [10].

233. Le coût d'une chaudière à bois à combustion inversée et à tirage forcé est compris entre 3 000 euros et 7 650 euros pour des installations de 15 kW à 150 kW. Un accumulateur de chaleur coûte entre 1 500 euros et 2 750 euros [10], [12].

234. L'achat d'une chaudière à granulés coûte de 7 000 euros à 15 000 euros pour des installations allant de 15 kW à quelques MW [12].

235. Selon certaines études suisses [13], le coût d'investissement dans un petit dépoussiéreur électrostatique capable d'éliminer au moins 60 % des émissions de poussières serait compris entre 1 000 euros et 1 500 euros pour des installations de moins de 35 kW.

236. Le coût représenté par l'ajout d'un catalyseur dans un insert est d'environ 1 000 euros [14].

Tableau 12
Investissement par kW de chaleur produite par des systèmes de chauffage au bois équipés de dispositifs de réduction des poussières [8]

Puissance [kW]	*Technologie (du système de chauffage) [€/kW]*	*Coût de construction (sans silo) [€/kW]*	*Précipitateur électrostatique [€/kW]*	*Filtre en tissu [€/kW]*
100	965	520	660	450
200	800	430	405	240
500	630	340	195	115
1 000	420	225	115	70
2 000	315	170	75	50

Références de la section A du chapitre VII

[1] L'énergie en Région wallonne, http://energie.wallonie.be.

[2] Atmospheric emissions from gas fired home heating appliances, Cernushi, Consonni, Lonati, Giugliano, Ozgen, rapport EGTEI.

[3] GFCC (groupement des fabricants de chauffage central par l'eau chaude et production d'eau chaude sanitaire).

[4] Site Internet de l'ADEME sur les chaudières performantes: http://www.ademe.fr/particuliers/Fiches/chaudiere_performante/rub3.htm.

[5] ADEME, fiche NO_x «chaudière à combustion pulsatoire», 2002.

[6] «Emissions characteristics of modern and old-type residential boilers fired with logs and wood pellets», L. S. Johansson *et al.* Atmospheric environment, 38 (2004) p. 4183 à 4195.

[7] «Petites chaudières du secteur industriel et tertiaire et appareils domestiques de chauffage au bois. Inventaires d'émissions, réglementations, performances et coûts des technologies avancées de réduction des émissions», INERIS, CITEPA, 2007.

[8] «Stand der Technik und Kosten der Feinstaubabscheidung für automatische Holzfeuerungen von 100 kW bis 2 MW», Verenum, Bundesamt für Umwelt, Abteilung Luftreinhaltung und Kanton Thurgau, Amt für Umwelt, Abteilung Luftreinhaltung, Zürich 2006.

[9] «Estimation de l'impact environnemental du chauffage domestique au bois à l'échelle locale», ADEME, 2008.

[10] Bericht über die Erstprüfung eines Kamineinsatzes für feste Brennstoffe vom Typ «ULYSS 700» nach DIN EN 13 229, Fraunhofer Institut, 17 avril 2008.

[11] Ergebnisse aus der Prüfung der Nennwärmeleistung nach DIN EN 13 229 des Kamineinsatzes «ULYS 700ZE» der Firma Fondis SA, Fraunhofer Institut, le 13 novembre 2008.

[12] Site Internet de l'Institut des bioénergies ITEBE, www.itebe.org: «Technologies pour les particuliers».

[13] Volker Schmatloch, EMPA Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, «Exhaust gas aftertreatment for small wood fired appliances − recent progress and field test results».

[14] Compte rendu de l'entretien avec M. Haas, directeur technique de Fondis, 19 mars 2009.

[15] Nussbaumer T., Overview on Technologies for Biomass Combustion and Emission levels of Particulate Matter, élaboré pour l'Office fédéral de l'environnement et l'EGTEI, 2010.

[16] Options for limit values for emissions of dust from small combustion installations <50 MWth, report of the Subgroup on small combustion installations under EGTEI, 2010.

[17] http://www.ruegg-cheminee.com/ww/de/pub/produkte/partikelabscheider/vorteile.htm.

[18] H. Hartmann *et al.*, Electrostatic precipitators for small-scale wood combustion systems − Results from lab- and field tests, Central European Biomass Conference (CEBC), 26 au 28 janvier 2011, Graz. http://www.biomasseverband.at/uploads/tx_osfopage/WSF_5_Hartmann.pdf.

[19] http://www.econergy.ltd.uk/docs/files/Case%20studies/Greenland.pdf.

B. Installations de combustion d'une puissance comprise entre 1 MW et 50 MW

1. Objet

237. La présente partie porte sur les émissions produites par les chaudières et les turbines à gaz dont l'apport thermique est compris entre 1 MWth et 50 MWth. Dans ce qui suit, le terme «chaudière» est employé par opposition aux moteurs à combustion ou aux turbines et englobe toutes sortes de chaudières et d'appareils de chauffage industriels.

238. Les installations suivantes ne sont pas abordées dans la présente partie:

a) Installations, telles que les fours de réchauffement et les fours de traitement thermique, dans lesquelles les produits de la combustion sont utilisés directement pour le chauffage, le séchage ou tout autre traitement d'objets ou de matériaux;

b) Installations de postcombustion, c'est-à-dire tout appareil technique servant à purifier les gaz résiduaires par combustion qui ne fonctionne pas comme une installation de combustion indépendante;

c) Installations utilisées pour la régénération des catalyseurs de craquage catalytique;

d) Installations utilisées pour la transformation du sulfure d'hydrogène en soufre;

e) Réacteurs utilisés dans l'industrie chimique;

f) Batteries de fours à coke;

g) Récupérateurs Cowper;

h) Incinérateurs de déchets;

i) Installations équipées de moteurs diesel ou à essence, indépendamment du combustible utilisé (pour plus d'informations sur les moteurs fixes, voir la section OO du chapitre VII, «Nouveaux moteurs fixes»).

2. Techniques de combustion

239. Dans ce secteur, les techniques utilisées pour la combustion de combustibles liquides et gazeux sont les mêmes que celles qui servent à produire l'énergie thermique requise par les activités de combustion industrielle.

240. Pour la combustion de combustibles solides et de biomasse, c'est principalement la combustion à lit fixe, c'est-à-dire le foyer à grille, qui est employé.

241. Les techniques de combustion sur lit fluidisé sont également utilisées. Elles sont surtout adaptées à la combustion conjointe de charbon et de biomasse, de charbon et de combustibles résiduaires, ou de biomasse seule.

242. Les turbines à gaz transforment l'énergie thermique en énergie mécanique. Un flux régulier de gaz (de l'air en général) est comprimé et enflammé au moyen d'un combustible gazeux ou liquide.

3. Techniques disponibles et niveaux d'émission

243. Dans ce secteur, les émissions dépendent beaucoup du combustible, des techniques de combustion, mais aussi des pratiques de fonctionnement et de l'entretien. Les émissions dégagées par les combustibles solides sont plus importantes dans les grandes installations que dans les petites. Les émissions de combustibles gazeux ou liquides ne sont pas beaucoup plus élevées que celles des chaudières industrielles, en raison de la qualité des combustibles et de la conception des brûleurs [1].

a) *SO_2*

Tableau 13
Sources d'émissions, mesures sélectionnées de contrôle des émissions de SO_2 et niveaux d'émission correspondants (combustibles solides et liquides) ou valeurs supérieures d'émissions (combustibles gazeux) des installations de combustion de 1 MWth à 50 MWth [1]

Source d'émissions	*Mesures de contrôle*	*Émissions de SO_2 (mg/Nm^3)*
Combustible solide		
Chaudières autres que celles à lit fluidisé	Combustible à faible teneur en soufre Injection d'un sorbant Désulfuration du gaz de combustion	50-1 000
Combustion sur lit fluidisé	Combustible à faible teneur en soufre Injection d'un sorbant Désulfuration du gaz de combustion	50-400
Combustible liquide		
Chaudières	Combustible à faible teneur en soufre Injection d'un sorbant Désulfuration du gaz de combustion	50-850
Combustible gazeux		
Chaudières à gaz de raffinerie	Combustible à faible teneur en soufre Injection d'un sorbant Désulfuration du gaz de combustion	100
Chaudières à gaz liquéfié		5
Chaudières à autre combustible gazeux		35

Note: Sauf indication contraire, les valeurs d'émissions sont une moyenne journalière rapportée à une teneur en oxygène, dans les gaz résiduaires, de 3 % en volume dans le cas de combustibles liquides ou gazeux et de 6 % dans le cas de combustibles solides.

244. En termes de réduction des émissions, on peut atteindre 700 mg/Nm^3 pour des combustibles à faible teneur en soufre, de 200 à 400 mg/Nm^3 pour l'injection d'un sorbant et de 50 à 200 mg/Nm^3 pour la désulfurisation.

b) *NO_x*

Tableau 14
Sources d'émissions, mesures choisies de contrôle des émissions de NO_x et niveaux d'émission correspondants (combustibles solides et liquides) ou valeurs supérieures d'émissions (combustibles gazeux) des installations de combustion de 1 MWth à 50 MWth [1], [2]

Source d'émissions	*Mesures de contrôle*	*Émissions de NO_x (mg/Nm^3)*
Combustible solide		
Combustion sur couche	Brûleur dégageant peu de NO_x Étagement de l'air Recyclage des effluents gazeux Conception de la chaudière	<200-400
Charbon pulvérisé	Brûleur dégageant peu de NO_x Étagement de l'air Recyclage des effluents gazeux Conception de la chaudière	<200-400
Lit fluidisé	Étagement de l'air Recyclage des effluents gazeux Conception de la chaudière	<200-500
	RNCS	<50-100
Combustible liquide		
Chaudière	Brûleur dégageant peu de NO_x Étagement de l'air Recyclage des effluents gazeux Conception de la chaudière	<200-300
Combustible gazeux		
Chaudière	Brûleur dégageant peu de NO_x Étagement de l'air Recyclage des effluents gazeux Conception de la chaudière	<200
Turbines à gaz existantes		
Combustible: gaz naturel	Injection d'eau ou de vapeur ou RCS	50-120
Combustible: fioul ou gaz manufacturé	Injection d'eau ou de vapeur ou RCS	
Nouvelles turbines à gaz		
Combustible: gaz naturel	Brûleur à prémélange sec et dégageant peu de NO_x ou RCS	20-50

Note: Sauf indication contraire, les valeurs d'émissions sont une moyenne journalière rapportée à une teneur en oxygène, dans les gaz résiduaires, de 3 % en volume dans le cas de combustibles liquides ou gazeux, de 6 % dans le cas de combustibles solides et de 15 % pour les turbines à gaz.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

Tableau 15
Sources d'émissions, mesures sélectionnées de contrôle des émissions de poussières et niveaux d'émission correspondants dans les chaudières de 1 MWth à 50 MWth [1]

Source d'émissions	*Mesures de contrôle*	*Émissions de poussières (mg/Nm^3)*	
		Nouvelles installations	*Installations existantes*
Combustible solide (1 à 5 MWth)	Cyclone	<50	<100
	Précipitateur électrostatique	5-20	5-30
	Filtre en tissu	5-20	5-20
Combustible solide (5 à 50 MWth)	Précipitateur électrostatique	5-20	5-30
	Filtre en tissu	<5-20	<5-20
Combustible liquide (1 à 5 MWth)	Précipitateur électrostatique	5-50	5-50
	Filtre en tissu	<5-20	<5-20
	Combustible à faible teneur en cendre	<5-50	<5-50
Combustible liquide (5 à 50 MWth)	Précipitateur électrostatique	5-20	5-50
	Filtre en tissu	<5-20	<5-20
Combustible gazeux		2-5	2-5

Note: Sauf indication contraire, les valeurs d'émissions sont une moyenne journalière rapportée à une teneur en oxygène, dans les gaz résiduaires, de 3 % en volume dans le cas de combustibles liquides ou gazeux, de 6 % dans le cas de combustibles solides et de 11 % pour le bois.

245. Le noir de carbone se forme lorsque la combustion est incomplète. Il est principalement composé de particules de diamètre inférieur à 1 µm. Dans ces installations de combustion, la teneur en noir de carbone des poussières peut augmenter en phase d'allumage et d'arrêt. Une combustion uniforme, continue et optimisée réduit les poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone), comme cela est expliqué à la section D du chapitre VI. Seules les techniques efficaces sur les particules fines agissent de façon significative sur le noir de carbone. La section E du chapitre VI donne des informations sur l'efficacité des précipitateurs électrostatiques et des filtres en tissu sur les poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone).

Références de la section B du chapitre VII

[1] Commission européenne: Kubica K.; Paradiz B.; Dilara P.: Small combustion installations: Techniques, emissions and measures for emission reduction, 2007.

[2] German TA Luft − Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft, Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz, Allemagne.

[3] The Association for British Furniture Manufacturers: Benchmarking wood waste combustion in the UK furniture manufacturing sector, 2005.

C. Installations de combustion de plus de 50 MW

1. Objet

246. Le secteur de la combustion regroupe différentes techniques de combustion, correspondant à des combustibles différents: les combustibles solides comme le charbon, le lignite, la tourbe et la biomasse, les combustibles liquides et gazeux, qui englobent les gaz à faible pouvoir calorifique et les gaz de haut fourneau. La présente partie porte sur les chaudières (de faible (50 MWth à 100 MWth), moyenne (100 MWth à 300 MWth) et grande puissance (>300 MWth)) et sur les turbines à gaz (>50 MWe). Dans ce qui suit, le terme «chaudière» est employé par opposition aux moteurs à combustion ou aux turbines et englobe toutes sortes de chaudières et d'appareils de chauffage industriels. La classe de puissance thermique nominale indiquée correspond au pouvoir calorifique inférieur (PCI) du combustible.

247. Les installations suivantes ne sont pas abordées dans la présente partie:

a) Installations, telles que les fours de réchauffement et les fours de traitement thermique, dans lesquelles les produits de la combustion sont utilisés directement pour le chauffage, le séchage ou tout autre traitement d'objets ou de matériaux;

b) Installations de postcombustion, c'est-à-dire tout appareil technique servant à purifier les gaz résiduaires par combustion qui ne fonctionne pas comme une installation de combustion indépendante;

c) Installations utilisées pour la régénération des catalyseurs de craquage catalytique;

d) Installations utilisées pour la transformation du sulfure d'hydrogène en soufre;

e) Réacteurs utilisés dans l'industrie chimique;

f) Batteries de fours à coke;

g) Récupérateurs Cowper;

h) Incinérateurs de déchets;

i) Installations équipées de moteurs diesel ou à essence, indépendamment du combustible utilisé (pour plus d'informations sur les moteurs fixes, voir la section OO du chapitre VII, «Nouveaux moteurs fixes»).

2. Sources d'émissions

248. La combustion donne lieu à l'émission des principaux polluants de l'atmosphère. Selon le type de combustible, diverses techniques de combustion existent, qui produisent des quantités considérablement différentes de NO_x, de SO_x et de poussières **(**y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone). La présente partie décrit les principales techniques de combustion des combustibles solides, liquides et gazeux.

a) Grandes chaudières, appareils de chauffage industriel et fours

249. La combustion en couche est utilisée dans les installations de combustion de taille relativement modeste, d'une puissance de moins 100 MWth. Cette technique sert aussi parfois à l'incinération des déchets (non abordée dans ce chapitre, mais à la section R du chapitre VII) et à la combustion de la biomasse [1]. Le combustible est tout d'abord séché et pyrolysé, puis les produits de carbonisation sont brûlés sur la grille. La combustion n'est pas aussi bien contrôlée que dans d'autres systèmes, car la chimie de la combustion et la température peuvent varier considérablement, en fonction de l'emplacement sur la grille du combustible [2].

250. La *pulvérisation* est une méthode bien établie pour toutes les chaudières de plus de 50 MWth; dans cette technique, un combustible solide est pulvérisé avant d'être enflammé. On distingue deux grands types de chaudières faisant appel à cette technique:

251. Les *chaudières à cendres pulvérulentes* fonctionnent à température plus basse. Ainsi, les cendres ne sont pas amenées à une température supérieure à leur point de fusion durant le procédé de combustion.

252. Dans les *chaudières à cendres fondues*, la température de combustion doit être élevée pour faire fondre les cendres. Par conséquent, ces chaudières émettent une quantité relativement importante de NO_x [1]. Elles sont souvent utilisées avec des combustibles qui brûlent mal et elles nécessitent un recyclage des cendres volantes [3].

253. La *combustion en lit fluidisé* est une technique adaptée à l'anthracite et au lignite mais elle peut aussi fonctionner avec des combustibles pauvres tels que les déchets, la tourbe et le bois. Le combustible est injecté dans un lit turbulent chaud de matériaux réactifs ou inertes, un courant d'air s'écoulant à travers le lit, vers le haut. On peut réduire les émissions en intégrant au système un dispositif de réglage de la combustion. Pour la conversion de l'énergie, la combustion en lit fluidisé à la pression atmosphérique est une technique commercialisée et bien établie. En fonction de la rapidité de circulation de l'air de fluidisation, il existe deux types de combustion en lit fluidisé atmosphérique: la combustion en lit fluidisé bouillonnant (à la pression atmosphérique), et la combustion en lit fluidisé circulant (à la pression atmosphérique). La combustion en lit fluidisé sous pression se fait à température élevée; un flux de gaz à haute pression est créé à des températures qui permettent d'actionner une turbine à gaz.

b) Turbines

254. Les *turbines à gaz* transforment l'énergie thermique en énergie mécanique. Un flux constant de gaz (de l'air la plupart du temps) comprimé est enflammé à l'aide d'un combustible gazeux ou liquide. Les turbines à gaz sont de plus en plus utilisées pour la production d'électricité en base ou semi-base, mais elles sont parfois aussi utilisées pour les charges de pointe en cycle simple (et elles sont alors alimentées en gaz ou en fioul léger). Dans les centrales électriques à cycle combiné, une turbine à gaz est associée à une turbine à vapeur.

255. Le *cycle combiné à gazéification intégrée* consiste en une gazéification du charbon ou de la biomasse avec production d'électricité en cycle combiné. Le charbon gazéifié est brûlé dans la chambre de combustion de la turbine à gaz. Cette technique s'applique aussi au résidu de fioul lourd. Toutefois, ce procédé n'est pas encore entièrement commercialisé; un petit nombre de centrales de démonstration d'une puissance d'environ 250 MWe sont exploitées en Europe et aux États-Unis.

c) Meilleures techniques disponibles pour la combustion de combustibles solides, liquides et gazeux

i) Combustion du charbon et du lignite

256. Pour la combustion de combustibles solides, la combustion à cendres pulvérulentes, la combustion en lit fluidisé et la combustion en couche sont toutes considérées comme des MTD pour le charbon et le lignite dans les installations neuves et existantes. La combustion en couche ne devrait être privilégiée que dans les centrales neuves dont la puissance thermique nominale est inférieure à 100 MW [3].

ii) Combustion de biomasse et de tourbe

257. Pour la combustion de biomasse et de tourbe, les techniques à pulvérisation − en lit fluidisé ou en foyer à projection pour le bois, et à l'aide d'une grille oscillante et refroidie à l'eau pour les installations à paille − sont considérées comme des MTD. Les installations à tourbe pulvérisée ne sont pas considérées comme des MTD pour les nouvelles centrales [3].

iii) Combustion de combustibles liquides

258. Pour les combustibles liquides, les dispositifs de prétraitement tels que les unités d'épuration de gazole utilisées dans les turbines à gaz et les moteurs sont des MTD. Le traitement du fioul lourd se fait par des dispositifs tels que des appareils de chauffage électrique ou à serpentin à vapeur, des systèmes de dosage désémulsifiant, etc.

iv) Combustion de combustibles liquides et gazeux dans des turbines de cogénération

259. L'association du cycle combiné et de la cogénération est donc considérée comme la première MTD, par exemple lorsque la demande thermique locale est suffisamment importante pour justifier la construction d'un tel système [3].

3. Niveaux d'émission associés aux MTD

a) SO_2

260. Cette section est consacrée aux mesures et aux techniques généralement employées pour réduire les émissions d'oxyde de soufre provenant des installations de combustion. Ces émissions dépendent fortement de la teneur en soufre du charbon et du système de contrôle des émissions en place. En règle générale, les techniques visant à réduire les oxydes de soufre se divisent en mesures primaires et secondaires.

i) Mesures primaires

261. *Utilisation d'un combustible à faible teneur en soufre*: Les émissions de SO_2 en cours de combustion sont directement liées à la teneur en soufre du combustible. Le remplacement du combustible (par un autre, moins riche en soufre) réduit les émissions. Cette mesure est d'ailleurs largement exploitée. Toutefois, elle se heurte à certaines limites, comme la disponibilité de combustibles à faible teneur en soufre ou la possibilité d'adapter les systèmes existants à des combustibles différents. L'adoption du gaz naturel peut suffire à réduire le SO_2; ce combustible peut aussi être une solution complémentaire, en fonction de sa teneur en soufre.

262. *Utilisation de sorbants alcalins dans la combustion en lit fluidisé*. Le captage du SO_2 peut être très efficace sur les chaudières à lit fluidisé; ainsi, l'injection de sorbant dans la chaudière est une méthode bon marché de captage du soufre. Les coûts d'investissement sont faibles car la désulfuration est incorporée au procédé de combustion et un réacteur distinct est superflu [3]. Toutefois, les sous-produits solides composés de cendre, de sulfate contenant des produits réactifs et de chaux vive ne peuvent être utilisés pour la fabrication de ciment comme les cendres volantes provenant de la combustion classique à pulvérisation.

ii) Mesures secondaires

263. *Procédés de désulfuration des effluents gazeux*. Ces procédés visent à éliminer les oxydes de soufre déjà formés; c'est pourquoi ils relèvent des mesures secondaires. Les connaissances actuelles en la matière sont toutes fondées sur l'extraction du soufre au moyen de procédés chimiques par voie humide ou sèche.

264. Les procédés par voie humide produisent des boues ou des sous-produits humides, les effluents gazeux à la sortie de l'absorbeur étant saturés d'humidité. L'épurateur à eau de mer absorbe et neutralise le dioxyde de soufre des fumées grâce aux propriétés de l'eau de mer. Si une grande quantité d'eau de mer est disponible à proximité d'une centrale électrique, elle peut être utilisée comme fluide de refroidissement dans les condenseurs. Les épurateurs par voie humide, particulièrement ceux qui font appel aux procédés calcaire-gypse, sont les meilleures solutions pour la désulfuration des fumées. Ils représentent environ 80 % des parts de marché et sont utilisés dans les grandes chaudières des centrales électriques. Leur efficacité peut être portée à 92 % à 98 %. Dans le cas d'une mise en conformité, l'efficacité est plus basse et ne dépasse pas 95 %.

265. Dans les procédés semi-humides, une boue contenant un réactif alcalin est pulvérisée dans une cuve, où elle réagit avec le SO_2 contenu dans le gaz de combustion et produit du sulfate de calcium ou des sulfites [4]. Le dioxyde de soufre a pu être éliminé à hauteur de 80 % à 95 % grâce à ces procédés.

Tableau 16
Sources d'émissions, sélection de MTD de contrôle des SO_x et niveaux d'émission correspondants dans les installations de combustion (MP = mesures primaires)

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de SO_x correspondant à la MTD[a] sélectionnée (mg/Nm^3) [3]*
Chaudières de 50 à 100 MWth		
Combustion en couche Combustible: charbon et lignite	Combustible à faible teneur en soufre ou désulfuration des fumées	200-400
Chaudière à charbon ou lignite	Combustible à faible teneur en soufre et désulfuration des fumées	200-400 (avis divergent du secteur industriel: 200-300)
CLF circulant; CLF sous pression; Combustible: charbon ou lignite	Combustible à faible teneur en soufre Injection de calcaire	150-400 (avis divergent du secteur industriel: 150-300)
CLF bouillonnant; Combustible: charbon et lignite	Combustible à faible teneur en soufre Désulfuration des fumées	150-400 (avis divergent du secteur industriel: 150-300)
Chaudière; Combustible: tourbe	Injection de calcaire Injection d'hydroxyde de calcium sous forme sèche en amont du précipitateur électrostatique ou du filtre en tissu Désulfuration des fumées	200-300 (nouvelles installations) 200-300 (installations existantes)
CLF circulant; CLF bouillonnant; Combustible: tourbe	Cocombustion de biomasse et de tourbe Injection de calcaire Injection d'hydroxyde de calcium sous forme sèche en amont du précipitateur électrostatique ou du filtre en tissu Désulfuration des fumées	200-300 (nouvelles installations) 200-300 (installations existantes)
Chaudière; Combustible: fioul	Fioul à faible teneur en soufre Cocombustion de gaz et de fioul Désulfuration des fumées	100-350 (nouvelles installations) 100-350 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 200-850, installations existantes: 200-850)

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de SO_x correspondant à la MTD[a] sélectionnée (mg/Nm^3) [3]*
Chaudières 100-300 MWth		
Chaudière; Combustible: charbon et lignite	Combustible à faible teneur en soufre Désulfuration des fumées Techniques combinées pour la réduction des NO_x et des SO_x	100-200 (nouvelles installations) 100-250 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations existantes 100-600)
CLF circulant; CLF sous pression; Combustible: charbon, lignite	Combustible à faible teneur en soufre Injection de calcaire	100-200 (nouvelles installations) 100-250 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations existantes: 100-300)
CLF bouillonnant; Combustible: charbon, lignite	Combustible à faible teneur en soufre Désulfuration des fumées	100-200 (nouvelles installations) 100-250 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations existantes 100-300)
Chaudière; Combustible: tourbe	Injection de calcaire Injection d'hydroxyde de calcium sous forme sèche en amont du précipitateur électrostatique ou du filtre en tissu Désulfuration des fumées	200-300 (nouvelles installations 200-300 (installations existantes)
CLF circulant; CLF bouillonnant; Combustible: tourbe	Cocombustion de biomasse et de tourbe Injection de calcaire Injection d'hydroxyde de calcium sous forme sèche en amont du précipitateur électrostatique ou du filtre en tissu, Désulfuration des fumées	150-250 (nouvelles installations) 150-300 (installations existantes)
Chaudière; Combustible: fioul	Fioul à faible teneur en soufre Cocombustion de gaz et de fioul et désulfuration des fumées Désulfuration des fumées Techniques combinées de réduction des NO_x et des SO_x	100-200 (nouvelles installations) 100-250 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 100-400, installations existantes: 100-400)
Chaudières >300 MWth		
Chaudière; Combustible: charbon et lignite	Combustible à faible teneur en soufre Désulfuration des fumées Techniques combinées de réduction des NO_x et des SO_x	20-150 (nouvelles installations) 20-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 20-200, installations existantes: 20-400)
CLF circulant; CLF sous pression, Combustible: charbon, lignite	Combustible à faible teneur en soufre Injection de calcaire	100-200 (nouvelles installations) 100-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations existantes: 100-300)
CLF bouillonnant, Combustible: charbon, lignite	Combustible à faible teneur en soufre Désulfuration des fumées	20-150 (nouvelles installations) 20-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations existantes: 20-300)

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de SO_x correspondant à la MTD[a] sélectionnée (mg/Nm^3) [3]*
Chaudière; Combustible: tourbe	Désulfuration des fumées Techniques combinées de réduction des NO_x et des SO_x	50-150 (nouvelles installations) 50-200 (installations existantes)
CLF circulant; CLF bouillonnant Combustible: tourbe	Cocombustion de biomasse et de tourbe Injection de calcaire Injection d'hydroxyde de calcium sous forme sèche en amont du précipitateur électrostatique ou du filtre en tissu Désulfuration des fumées	50-200 (nouvelles installations) 50-200 (installations existantes)
Chaudière, Combustible: fioul	Fioul à faible teneur en soufre Cocombustion de gaz et de fioul Désulfuration des fumées Techniques combinées de réduction des NO_x et des SO_x	50-150 (nouvelles installations) 50-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 50-200, installations existantes: 50-400)

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

Note: Sauf indication contraire, les valeurs d'émissions sont une moyenne journalière rapportée à une teneur en oxygène, dans les gaz résiduaires, de 3 % en volume dans le cas de combustibles liquides ou gazeux et de 6 % dans le cas de combustibles solides.

b) NO_x

266. Les principaux oxydes d'azote libérés par la combustion sont le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde d'azote (NO_2) et l'hémioxyde d'azote (N_2O). Le NO et le NO_2 sont souvent désignés sous l'appellation NO_x [2]. Les NO_x se forment en cours de combustion par l'action de trois mécanismes chimiques: les NO_x «thermiques» qui résultent de l'oxydation de la molécule d'azote présente dans l'atmosphère, les NO_x «de combustible» qui proviennent de l'oxydation d'azote lié chimiquement au combustible, et de NO_x «précoce» résultant de la réaction entre les molécules d'azote présentes dans l'atmosphère et des radicaux hydrocarbonés [4]. Seuls les deux premiers mécanismes sont importants dans les installations de combustion.

267. La présente partie décrit les mesures d'atténuation généralement mises en œuvre pour réduire les émissions d'oxydes d'azote dans les installations de combustion. En général, elles se répartissent entre mesures primaires et mesures secondaires. Les mesures primaires agissent à la source, durant la combustion, par le réglage de certaines caractéristiques de la flamme, comme la température et le mélange air-combustible. Les mesures secondaires s'appliquent en aval de la combustion; elles consistent à éliminer les NO_x des fumées.

268. Les mesures primaires sont limitées par des paramètres fonctionnels et les caractéristiques du combustible, qui agissent sur la sécurité. Elles sont également contraintes par la configuration des installations existantes.

i) Mesures primaires (modifications de la combustion)

269. L'*étagement de l'air* consiste à introduire de l'air comburant dans les zones de combustion primaire et secondaire, afin d'obtenir une combustion complète et de favoriser la formation de N_2 plutôt que de NO_x. La zone de combustion primaire est en manque d'oxygène et la seconde en excès d'oxygène. Cette technique, fréquemment associée à des brûleurs dégageant peu de NO_x, complète la combustion à basse température [1], [5].

270. L'*étagement du combustible*, également appelé *recombustion*, est un système à trois étapes (correspondant à trois zones). On crée différentes zones dans le foyer par injection étagée de combustible et d'air. L'objectif est de transformer en azote les oxydes d'azote qui ont déjà été formés [1]. Cette technique permet d'atteindre un taux de réduction relativement élevé des NO_x (50 % à 75 %) et peut en principe s'appliquer à tous les types de chaudières alimentées par des combustibles fossiles, mais aussi être associée à des techniques à faible combustion de NO_x pour le combustible primaire. Cette technique n'est pas bien adaptée à des installations existantes à cause de son encombrement.

271. Le *recyclage des effluents gazeux* entraîne une réduction de l'oxygène disponible dans la zone de combustion et, puisqu'il refroidit directement la flamme, il entraîne une baisse de sa température: c'est la raison pour laquelle la conversion d'azote combustible et la formation des NO_x thermiques sont réduites. Le recyclage des effluents gazeux dans l'air de combustion s'est avéré efficace pour la réduction des NO_x dans les systèmes de combustion à haute température tels que les chaudières à cendres fondues et les installations alimentées au fioul ou au gaz, mais cette méthode n'est généralement pas efficace sur les chaudières à cendres pulvérulentes. On peut obtenir une réduction comprise entre 30 % et 60 % des NO_x en recyclant les effluents gazeux des installations au gaz naturel. Sur le fioul lourd, on observe une réduction des NO_x de 10 % à 20 %, mais les émissions de poussières peuvent alors augmenter.

272. Les *brûleurs dégageant peu de NO_x* sont conçus pour contrôler le mélange du combustible et de l'air afin d'obtenir ce qui revient à une combustion étagée. Une zone en conditions substœchiométriques est créée, en présence d'un mélange combustible-air et d'air primaire. La recirculation interne se fait d'elle-même grâce au tourbillon d'air primaire. Autour des buses d'air primaire, une série de buses secondaires envoient l'air secondaire vers la zone de brûlage. Ce type de combustion étagée permet de réduire aussi bien la température de la flamme que la concentration en oxygène à certains stades de la combustion, ce qui produit moins de NO_x thermiques et combustibles. Les brûleurs dégageant peu de NO_x devraient être utilisés dans toutes les nouvelles installations et être ajoutés aux installations existantes. Ces brûleurs réduisent efficacement les NO_x, de 30 % à 50 % [1], [5], et ils peuvent être associés à d'autres mesures primaires comme la ventilation turbulente, la recombustion ou le recyclage des effluents gazeux.

ii) Mesures secondaires (techniques postcombustion de réduction des NO_x)

273. Le procédé de *réduction catalytique sélective* est le mieux développé et le plus utilisé pour réduire les oxydes d'azote des rejets gazeux dans les installations de combustion en Europe et dans d'autres pays comme le Japon et les États-Unis. Ce procédé peut être utilisé sur une large gamme de combustibles, comme le gaz naturel. Les oxydes d'azote sont réduits avec de l'ammoniac qui est injecté directement dans les fumées en présence d'un catalyseur et d'une quantité suffisante d'oxygène. La conversion des NO_x a lieu à la surface du catalyseur, à une température comprise entre 170 °C et 510 °C. (La plage 300 °C-400 °C est plus caractéristique; la température minimale des fumées dépend de la teneur en soufre du combustible. Lorsque cette dernière est trop basse, il y a formation de bisulfate d'ammonium, qui encrasse l'appareil [3].) On atteint une réduction des émissions de NO_x de l'ordre de 80 % ou 90 %, voire davantage, selon la conception du système, l'activité du catalyseur et la concentration des gaz participant à la réaction [2].

274. La *réduction non catalytique sélective* diminue les NO_x en l'absence d'un catalyseur, à une température comprise entre 850 °C et 1 100 °C. Cette plage de température dépend beaucoup du réactif utilisé: ammoniac, urée ou ammoniaque. Ce procédé s'applique à divers types de combustibles fossiles. Le rendement moyen de réduction des NO_x est compris entre 30 % et 50 % [3]. La réduction non catalytique

sélective est moins coûteuse que son équivalent catalytique en raison de l'absence d'un catalyseur; par ailleurs, elle peut être mise en œuvre dans de petites installations. En revanche, elle n'est pas bien adaptée aux centrales, qui fonctionnent à charge variable (risque de résidus d'ammoniac en quantité excessive et odeurs).

iii) MTD de réduction des émissions d'oxydes d'azote

a. Lignite et charbon

275. La réduction des NO_x contenus dans les fumées des installations de combustion au charbon ou au lignite à l'aide de mesures primaires ou secondaires est considérée comme une MTD. Néanmoins, en fonction de la technologie de la chaudière et du type de charbon (forte teneur en NO_x primaire pour les charbons riches en matières volatiles), il convient de faire la distinction entre MTD.

276. La combinaison de mesures primaires et secondaires, comme la réduction catalytique sélective, est considérée comme une MTD pour les installations au charbon pulvérulent en charge de base.

277. La combinaison de différentes mesures primaires pour des centrales à lignite pulvérisé est considérée comme une MTD. Étant donné que les émissions de NO_x sont plus faibles dans ce type de centrale, la réduction catalytique sélective n'est pas considérée comme une MTD dans ce cas.

278. La combustion étagée en lit fluidisé du charbon et du lignite est considérée comme une MTD.

b. Biomasse et tourbe

279. La réduction des NO_x contenus dans les fumées des installations de combustion à la biomasse ou à la tourbe à l'aide de mesures primaires ou secondaires est considérée comme une MTD. Néanmoins, en fonction de la technologie de la chaudière, il convient de faire la distinction entre MTD.

c. Combustibles liquides

280. La réduction des NO_x contenus dans les fumées des installations aux combustibles liquides à l'aide d'une combinaison de mesures primaires et secondaires telles que la réduction catalytique sélective, est considérée comme une MTD pour les installations d'une puissance supérieure à 50 MWth et en particulier pour les centrales de base d'une puissance supérieure à 100 MWth.

281. L'utilisation d'une combinaison de différentes mesures primaires est considérée comme une MTD pour les installations de combustion d'une puissance inférieure à 100 MWth.

d. Turbines à gaz

282. Pour les nouvelles turbines à gaz, les brûleurs à prémélange et dégageant peu de NO_x (DLN) sont une MTD. Pour les turbines à gaz existantes, la mesure primaire consistant à injecter de l'eau ou de la vapeur, ou la conversion à un système DLN, est une MTD. Les brûleurs DLN constituent des MTD seulement pour les nouvelles turbines, pour lesquelles la technique est disponible sur le marché pour une utilisation avec les turbines à gaz utilisant un combustible liquide.

Tableau 17
Sources d'émissions, MTD pour la réduction des émissions de NO_x et niveaux d'émission dans des installations de combustion (MP = mesures primaires)

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de NO_x associé aux MTD[a] (mg/Nm^3) [3]*
Chaudières d'une puissance comprise entre 50 MWth et 100 MWth		
Combustion en couche, Combustible: charbon ou lignite	MP et/ou RNCS	200-300 (avis divergent du secteur industriel: installations existantes: 200-400)
Chaudière au charbon	Combinaison de MP, RNCS ou RCS	90-300 (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 90-450, installations existantes: 90-500)
Chaudière au lignite	Combinaison de MP	200-450 (avis divergent du secteur industriel: installations existantes: 200-500)
CLF circulant; CLF sous pression CLF bouillonnant, Combustible: charbon ou lignite	Combinaison de MP	200-300
Combustion en couche, Combustible: biomasse ou tourbe	Brûleur à projection	170-250 (nouvelles installations) 200-300 (installations existantes)
Chaudière; Combustible: biomasse ou tourbe	Combinaison de MP ou RCS	150-250 (nouvelles installations) 150-300 (installations existantes)
CLF circulant; CLF bouillonnant, Combustible: biomasse ou tourbe	Combinaison de MP	150-250 (nouvelles installations) 150-300 (installations existantes)
Chaudière au fioul	Combinaison de MP RCS RNCS pour le fioul lourd	150-300 (nouvelles installations) 150-450 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 150-400)
Chaudière industrielle au gaz	Brûleurs dégageant peu de NO_x, RCS ou RNCS	50-100 (installations nouvelles et existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations nouvelles et existantes: 50-120)
Chaudières entre 100 MWth et 300 MWth		
Chaudière au charbon	Combinaison de MP associées à la RCS ou techniques combinées	90-200 (nouvelles installations) 90-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 100-200, installations existantes: 90-300)
Chaudière au lignite	Combinaison de MP	100-200 (nouvelles installations) 100-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations existantes: 100-450)

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de NO_x associé aux MTD[a] (mg/Nm^3) [3]*
CLF circulant; CLF sous pression CLF bouillonnant, Combustible: charbon ou lignite	Combinaison de MP si nécessaire avec RNCS	100-200 (nouvelles installations) 100-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations existantes: 100-300)
Chaudière; Combustible: biomasse ou tourbe	Combinaison de MP si nécessaire avec RNCS et/ou RCS	150-200 (nouvelles installations) 150-250 (installations existantes)
CLF circulant; CLF bouillonnant, Combustible: biomasse ou tourbe	Combinaison de MP	150-200 (nouvelles installations) 150-250 (installations existantes)
Chaudière au fioul	Combinaison de MP associées à la RNCS, la RCS ou techniques combinées	50-150 (nouvelles installations) 50-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 50-200; installations existantes: 50-450)
Chaudière industrielle au gaz	Brûleurs dégageant peu de NO_x ou RCS, ou RNCS	50-100 (3 % O2) (avis divergent du secteur industriel: 50-120)
Chaudières de plus de 300 MWth		
Chaudière au charbon	Combinaison de MP associées à la RCS ou techniques combinées	90-150 (nouvelles installations) 90-200 (installations existantes)
Chaudière au lignite	Combinaison de MP	50-200 (nouvelles installations) 50-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 100-200; installations existantes: 100-450)
CLF circulant; CLF sous pression CLF bouillonnant, Combustible: charbon ou lignite	Combinaison de MP	50-150 (nouvelles installations) 50-200 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations existantes: 100-200)
Chaudière; Combustible: biomasse ou tourbe	Combinaison de MP, si nécessaire, RCS et/ou RNCS	50-150 (nouvelles installations) 50-200 (installations existantes)
CLF circulant; CLF bouillonnant, Combustible: biomasse ou tourbe	Combinaison de MP, si nécessaire, RCS et/ou RNCS	50-150 (nouvelles installations) 50-200 (installations existantes)
Chaudière au fioul	Combinaison de MP associées à la RCS ou techniques combinées	50-100 (nouvelles installations) 50-150 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 50-200; installations existantes: 50-400)
Nouvelles TGCC sans chauffe supplémentaire	Brûleurs à prémélange et bas NO_x ou RCS	20-50
TGCC existantes sans chauffe supplémentaire	Brûleurs à prémélange et bas NO_x ou injection d'eau ou de vapeur, ou RCS si espace disponible	20-90 (avis divergent du secteur industriel installations existantes: 80-120)

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de NO_x associé aux MTD[a] (mg/Nm^3) [3]*
Nouvelles TGCC avec chauffe supplémentaire	Brûleurs à prémélange et bas NO_x et brûleurs dégageant peu de NO_x pour l'élément chaudière ou RCS, ou RNCS	20-50
TGCC existantes avec chauffe supplémentaire	Brûleurs à prémélange et bas NO_x ou injection d'eau ou de vapeur, et brûleur dégageant peu de NO_x pour l'élément chaudière, ou RCS si espace disponible dans le générateur de vapeur à récupération de chaleur, ou RNCS	20-90 (avis divergent du secteur industriel installations existantes: 80-140)
Chaudière industrielle au gaz	Brûleurs dégageant peu de NO_x ou RCS, ou RNCS	50-100 (3 % O2) (avis divergent du secteur industriel: 50-120)
Turbines à gaz existantes		
Combustible: gaz naturel	Injection d'eau ou de vapeur, ou RCS	50-90 (avis divergent du secteur industriel: 80-120)
Combustible: gazole ou gaz manufacturé	Injection d'eau ou de vapeur, ou RCS	
Nouvelles turbines à gaz		
Combustible: gaz naturel	Brûleurs à prémélange et bas NO_x ou RCS	20-50
Combustible: gazole ou gaz manufacturé	Mesures par voie humide RCS	

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

Note: Sauf indication contraire, les valeurs d'émissions sont une moyenne journalière rapportée à une teneur en oxygène, dans les gaz résiduaires, de 3 % en volume dans le cas de combustibles liquides ou gazeux, de 6 % dans le cas de combustibles solides et de 15 % dans le cas de turbines à gaz.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

283. La combustion dégage des poussières, surtout celle de fioul lourd, de charbon ou de biomasse solide. Les émissions provenant de la combustion de combustibles solides sont plus importantes que celles provenant de la combustion de fioul. Dans les grandes installations où ce type de combustion a lieu, la poussière contient peu de noir de carbone en raison de la très grande efficacité de la combustion, en général. Le noir de carbone se forme lorsque la combustion est incomplète; il se trouve principalement dans les particules d'un diamètre de moins de 1 µm. Dans ces grandes installations, les concentrations en noir de carbone peuvent augmenter durant les périodes de démarrage et d'arrêt, lorsque la combustion est parfois incomplète. Une combustion régulière, continue et complète produit moins de poussières (y compris de PM_{10}, de $PM_{2,5}$ et de noir de carbone, voir la section D du chapitre VI). Seules les techniques qui agissent sur les particules fines sont efficaces sur le noir de carbone. Les techniques éprouvées d'élimination des poussières dans les centrales électriques sont les filtres en tissu et les précipitateurs électrostatiques [6].

284. Les *précipitateurs électrostatiques* sont les dispositifs de réduction des émissions de poussières les plus utilisés dans les centrales électriques au charbon [5]. Ils reposent sur les propriétés électrostatiques des particules contenues dans un gaz en circulation. Les particules sont chargées électriquement en traversant une «couronne», c'est-à-dire une zone traversée par des gaz ionisés. Le champ électrique qui attire les particules vers les parois de l'appareil est émis par des électrodes à haute tension situées au centre du flux [7].

285. Ces appareils éliminent les poussières, y compris les particules inférieures ou égales à 10 et 2,5 µm, et les polluants atmosphériques dangereux à l'état de particules, comme la plupart des oxydes métalliques [7]. Les précipitateurs électrostatiques sont utilisés dans des installations, de petite ou grande taille, alimentées par des combustibles solides ou liquides [1]. Ces appareils sont très efficaces sur les poussières et les particules fines (et donc, sur le noir de carbone). Les précipitateurs électrostatiques sont décrits dans le détail à la section E du chapitre VI.

286. Le dépoussiérage par *filtre en tissu (filtre à manche)* est une méthode largement utilisée dans le monde pour éliminer les particules fines. Un filtre en tissu est constitué d'un ou plusieurs compartiments isolés contenant des rangées de manches filtrants ronds, plats, en forme de tube ou de cartouches plissées. Les gaz chargés en particules longent d'abord la surface des manches, puis la traversent, de l'extérieur vers l'intérieur. Les particules sont retenues sur la surface extérieure des manches tandis que les gaz épurés se dissipent dans l'atmosphère [8]. Ces appareils éliminent les poussières, y compris les particules inférieures ou égales à 10 et 2,5 µm, et les polluants atmosphériques dangereux sous forme de particules, comme le sont la plupart des oxydes métalliques [9]. Le choix entre précipitateur électrostatique et filtre en tissu dépend du type de charbon, des dimensions de la centrale et du type et de la configuration de la chaudière [5]. Les filtres en tissu sont très efficaces sur les poussières et les particules fines (et donc, sur le noir de carbone).Les précipitateurs électrostatiques sont décrits dans le détail à la section E du chapitre VI.

287. Les *épurateurs par voie humide* sont des dispositifs d'épuration de l'air qui éliminent les poussières et les gaz acides des effluents gazeux provenant de sources stationnaires, sous réserve que le niveau de particules soit déjà compris dans certaines limites pour permettre le fonctionnement de l'épurateur en toute sécurité (sauf si un autre dispositif de contrôle des particules est installé en amont du dispositif). Le faible coût d'investissements de ces systèmes par rapport aux précipitateurs électrostatiques et aux filtres à manche les rend intéressants pour une utilisation à échelle industrielle, bien que ce procédé présente aussi des inconvénients, comme des baisses de charge relativement importantes et un coût d'exploitation relativement élevé [3]. L'élimination se fait d'abord par l'absorption du polluant dans des gouttelettes de liquide, qui sont ensuite recueillies pour être éliminées. Il existe différents types d'épurateurs par voie humide, capables d'éliminer les gaz acides et les poussières.

i) MTD pour l'élimination des poussières

a. Charbon et lignite

288. Aux fins de dépoussiérage des gaz émanant des installations nouvelles et existantes de combustion au charbon et au lignite, les MTD consistent en l'utilisation d'un précipitateur électrostatique ou d'un filtre en tissu, ce dernier permettant normalement de réaliser des émissions inférieures à 5 mg/m^3. Les cyclones et les collecteurs mécaniques utilisés seuls ne constituent pas des MTD, mais ils peuvent être utilisés comme étape de prétraitement sur le trajet des fumées. Les niveaux d'émission de poussières associés sont inférieurs pour les installations de plus de 100 MWth, et surtout de plus de 300 MWth car les techniques de désulfuration par voie humide, qui font déjà partie des conclusions relatives aux MTD en matière de désulfuration, réduisent également les poussières [10].

b. Biomasse et tourbe

289. Aux fins de dépoussiérage des gaz émanant des installations nouvelles et existantes de combustion de biomasse et de tourbe, les MTD consistent en l'utilisation d'un filtre en tissu ou d'un précipitateur électrostatique. Avec des combustibles à faible teneur en soufre, comme la biomasse, les performances d'un précipitateur électrostatique diminuent avec la concentration des fumées en dioxyde de soufre. Ainsi, le filtre en tissu, qui permet d'obtenir des émissions d'environ 5 mg/Nm^3, représente l'option technique privilégiée pour la réduction des émissions de poussières. Les cyclones et les collecteurs mécaniques utilisés seuls ne constituent pas des MTD, mais ils peuvent être utilisés en prétraitement, sur le trajet des fumées [10].

c. Combustibles liquides

290. Aux fins de dépoussiérage des gaz émanant des installations de combustion au combustible liquide nouvelles et existantes, les MTD consistent en l'utilisation d'un précipitateur électrostatique ou d'un filtre en tissu. Les cyclones et les collecteurs mécaniques utilisés seuls ne sont pas des MTD, mais ils peuvent être utilisés comme étape de prétraitement sur le trajet des fumées. Les niveaux d'émission de poussières associés sont inférieurs pour les installations de plus de 300 MWth car les techniques de désulfuration par voie humide, qui font déjà partie des conclusions relatives aux MTD en matière de désulfuration, réduisent également les particules [10].

d. Turbines à gaz

291. Pour les nouvelles turbines à gaz, les brûleurs à prémélange et dégageant peu de NO_x (DLN) constituent une MTD. Pour les turbines à gaz existantes, la mesure primaire consistant à injecter de l'eau ou de la vapeur, ou la conversion à un système DLN, constitue une MTD. Les brûleurs DLN sont seulement des MTD pour les nouvelles turbines pour lesquelles la technique est disponible sur le marché pour une utilisation avec les turbines à gaz à combustible liquide.

Tableau 18
Sources d'émissions, MTD pour la réduction des émissions de poussières et niveaux d'émission dans les installations de combustion (MP = mesures primaires)

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau des émissions de poussières associé aux MTD[a] (mg/Nm^3) [3]*
Chaudières d'une puissance comprise entre 50 MWth et 100 MWth		
Chaudière; Combustible: charbon et lignite	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu	<5-20 (nouvelles installations) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 10-50) 5-30 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations existantes: 20-100)
CLF circulant; Combustible: charbon ou lignite	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu	
Chaudière; Combustible: biomasse ou tourbe CLF circulant; CLF bouillonnant, Combustible: biomasse ou tourbe	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu	<5-20 (nouvelles installations) 5-30 (installations existantes)

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau des émissions de poussières associé aux MTD[a] (mg/Nm^3) [3]*
Chaudière au fioul	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu	<5-20 (nouvelles installations) 5-30 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: installations nouvelles et existantes: 10-50 avec un précipitateur électrostatique)
Chaudières entre 100 MWth et 300 MWth		
Chaudière; Combustible: charbon ou lignite	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu combiné à la désulfuration	<5-20 (nouvelles installations) 5-25 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 10-30; installations existantes: 10-100 avec un précipitateur électrostatique ou un filtre en tissu; 10-50 combiné à la désulfuration par voie humide)
CLF circulant; Combustible: charbon ou lignite	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu	<5-20 (nouvelles installations) 5-25 (installations existantes) (avis divergent: nouvelles installations: 10-30; installations existantes: 10-100 avec un précipitateur électrostatique ou un filtre en tissu; 10-50 combiné à la désulfuration par voie humide)
Chaudière; Combustible: biomasse ou tourbe CLF circulant; CLF sous pression CLF bouillonnant, Combustible: biomasse ou tourbe	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu	<5-20 (nouvelles installations) 5-20 (installations existantes)
Chaudière au fioul	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu combiné à la désulfuration	<5-20 (nouvelles installations) 5-25 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 5-30, installations existantes: 5-50)
Chaudières de plus de 300 MWth		
Chaudière; Combustible: charbon ou lignite	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu combiné à la désulfuration	<5-10 (nouvelles installations) 10-20 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 10-30, installations existantes: 10-100; 10-50 avec désulfuration par voie humide)
CLF circulant; Combustible: charbon, lignite	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu	<5-20 (nouvelles installations) 5-20 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 10-30, installations existantes: 10-100; 10-50 avec désulfuration par voie humide)

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau des émissions de poussières associé aux MTD[a] (mg/Nm^3) [3]*
Chaudière; Combustible: biomasse ou tourbe CLF circulant; CLF sous pression CLF bouillonnant, Combustible: biomasse ou tourbe	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu	<5-20 (nouvelles installations) 5-20 (installations existantes)
Chaudière au fioul	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu combiné à une désulfuration	<5-10 (nouvelles installations) 5-20 (installations existantes) (avis divergent du secteur industriel: nouvelles installations: 5-30, installations existantes: 5-50)

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

Note: Sauf indication contraire, les valeurs d'émissions sont une moyenne journalière rapportée à une teneur en oxygène, dans les gaz résiduaires, de 3 % en volume dans le cas de combustibles liquides ou gazeux et de 6 % dans le cas de combustibles solides.

4. Coût des méthodes de réduction des émissions

a) Coût des méthodes de réduction des NO_x

Tableau 19
Coûts indicatifs des techniques de réduction des émissions de NO_x dans les installations de chaudières (euros de 1999, Environment Agency)

Méthode	*Réduction atteignable en général*	*Capacité de traitement (MWe)*	*Coût d'investissement indicatif €/kWe*	*Coût d'exploitation indicatif €/kWh*
RCS[a]	80 %-90 %	Diverses	30-70[b]	11-14 €/kWe/a[b]
RNCS	30 %-50 %	Diverses	14	0,0011
Recombustion	50 %-75 %	Diverses	42	0,0011
Recyclage des effluents gazeux	15 %-45 %	Diverses	14	0,00014
Brûleurs dégageant peu de NO_x	30 %-50 %	Diverses	14	0

[a] Il convient de noter que les dispositifs de réduction catalytique sélective sont très liés aux caractéristiques du site, ce qui rend tout établissement du coût d'investissement difficile.

[b] J. Theloke, B. Calaminus, F. Dünnebeil, R. Friedrich, H. Helms, A. Kuhn, U. Lambrecht, D. Nicklaß, T. Pregger, S. Reis, S. Wenzel (2007): Maßnahmen zur Einhaltung der Emissionshöchstmengen der NEC Richtlinie, Umweltbundesamt, Texte 36/07, 498 p. (chiffres sur les coûts à la page 162).

b) Coût des méthodes de réduction des SO_x

292. Le tableau 20 donne les fourchettes habituelles de coût d'investissement dans les techniques de réduction des émissions de soufre décrites plus haut. Cependant, lorsqu'on applique ces techniques à des cas particuliers, les coûts d'investissement dépendent, entre autres, des techniques particulières utilisées, des systèmes antipollution requis, des dimensions de l'installation, du degré de réduction requis et de l'échelle temporelle des cycles de maintenance prévus. Les coûts d'exploitation et d'entretien des épurateurs de SO_2 dans les installations de chaudières augmentent avec la teneur en soufre, puisqu'il faut plus de réactif pour traiter un volume de gaz identique [11].

293. Les coûts d'investissement varient considérablement et sont relativement élevés pour un épurateur au calcaire par voie humide, mais, d'un autre côté, les coûts d'exploitation sont modérés en raison de l'automatisation avancée, de la fiabilité et du fait du sous-produit commercialisable. Les coûts d'investissement dans un épurateur par voie sèche sont inférieurs de 30 % à 50 % à ceux d'un épurateur à voie humide pour une centrale de la même dimension. En revanche, le coût d'exploitation est 2 fois plus élevé en raison du prix élevé des sorbants.

Tableau 20
Coûts indicatifs des techniques de réduction des émissions de SO_2 dans les installations de chaudières (euros de 2001, EPA)

Méthode	*Capacité de traitement (MWth)*	*Coût d'investissement (€/kW)*	*Coût d'exploitation et d'entretien (€/kW)*	*Coût annuel (€/kW)*	*Coût par tonne de polluant éliminé (€/tonne)*
Épurateur par voie humide	>400	104-262	2-8	21-52	210-523
Épurateur par voie humide	<400	262-1 572	8-21	52-210	523-5 230
Épurateur par voie sèche	>200	41-157	4-11	21-52	157-314
Épurateur par voie sèche	<200	157-1 572	11-314	52-523	523-4 190

c) Coût des méthodes de réduction des poussières

Tableau 21
Coûts indicatifs des techniques de réduction des émissions de poussières dans les installations de chaudières (euros de 1999, Environment Agency)

Méthode	*Réduction atteignable en général*	*Capacité de traitement*	*Coût d'investissement indicatif (€/kWe)*	*Coût d'exploitation indicatif (€/kWh)*
Précipitateur électrostatique	Moins de 25 mg/m^3	Diverses	35	0,00042
Filtre en tissu	Moins de 25 mg/m^3	Diverses	14	0,0015

Références de la section C du chapitre VII

[1] Documents techniques de travail pour l'actualisation et la mise à jour des protocoles de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies relatifs à la réduction des flux transfrontières d'oxydes d'azote provenant de sources fixes, DFIU, 1999.

[2] Environment Agency (Agence britannique pour l'environnement), 2002: V2. 03 27.07.05, IPPC Sector Guidance Note Combustion Activities.

[3] Commission européenne. 2006 (PRIP) Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Grandes installations de combustion.

[4] Multipollutant emission control technology options for coal fired power plants, EPA (États-Unis) 2005.

[5] http://www.iea-coal.org.uk/site/ieacoal/home.

[6] SFI 2007. Société financière internationale (Groupe Banque mondiale): Environmental, Health, and Safety Guidelines for Thermal Power Plants.

[7] US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)). EPA-452/F-03-028, Air Pollution Control Technology Fact Sheet − Dry Electrostatic Precipitator (ESP) − Wire-Plate Type.

[8] US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)). EPA-452/B-02-001, Section VI, Chapter II, Wet Scrubbers for Particulate Matter.

[9] US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)). EPA-452/F-03-026.025.024, Air Pollution Control Technology Fact Sheet-Fabric Filters.

[10] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies 2006. Projet de document de référence «Assessment of technological developments: Best Available Techniques (BAT) and limit values». Présenté à l'Équipe spéciale des métaux lourds de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.

[11] US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)). EPA-452/F-03-034, Air Pollution Control Technology Fact Sheet-Flue Gas Desulphurization-Wet, Spray Dry, and Dry Scrubber.

D. Raffineries de pétrole et de gaz (SO_2, NO_x et poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone))

1. Objet

294. La présente partie couvre les émissions provenant de la combustion, dans les raffineries, de combustibles non commerciaux ou d'un mélange de ces combustibles avec des combustibles commerciaux, d'unités de craquage catalytique à lit fluidisé (CCF), d'unités de récupération du soufre et de torchères.

295. Les combustibles de raffinerie sont très divers en nature et comprennent des flux liquides et gazeux souvent utilisés ensemble. Une part importante du combustible consommé par les appareils de chauffage est fournie par le gaz de raffinerie. Ce gaz peut contenir de nombreux composés, dus aux divers procédés, d'où un niveau variable d'émissions. Les autres combustibles utilisés sont le gaz naturel, le coke de pétrole, le fioul lourd et des résidus provenant de la distillation à la pression atmosphérique et sous vide, du craquage catalytique fluide (CCF) et du craquage catalytique thermique (CCT). Certains procédés de raffinage, comme le CCF, peuvent associer la combustion de coke, déposé sur le catalyseur en four à coke, et du monoxyde de carbone, ainsi qu'un combustible supplémentaire pour la production de vapeur. L'utilisation du coke de pétrole comme charge d'alimentation pour la gazéification n'est pas très répandue.

296. Dans de nombreuses raffineries, les fumées sont évacuées par une cheminée commune. Les raffineries produisent essentiellement des NO_x, des SO_x et des poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone). Le noir de carbone est une composante intrinsèque des particules fines. Il est émis lorsqu'il y a combustion incomplète sur les périodes de démarrage, d'arrêt et de soufflage de suie, et lorsque les conditions de combustion ne sont pas optimisées. Les torchères sont aussi une source de noir de carbone.

297. Le rapport BREF de 2003 sur les raffineries [3] est en cours de révision à l'Institut des études de prospective technologique (IPTS), à Séville. La version 2003 de ce document est la principale référence pour la plupart des niveaux d'émission associés aux MTD présentés dans ce chapitre.

2. Sources d'émissions

298. Dans ce qui suit, l'accent est mis sur les émissions liées au raffinage du pétrole brut. Les dispositifs concernés sont les appareils de chauffage industriel et les chaudières, les systèmes de production et de récupération d'électricité, le craquage catalytique, la récupération de soufre et les torchères.

299. *Appareils de chauffage industriel et chaudières.* Dans la plupart des procédés de raffinage, il est nécessaire d'accroître la température de la charge d'alimentation jusqu'au niveau requis. Les chaudières à combustible et les dispositifs de chauffage industriel sont les principaux producteurs de chaleur. Les appareils de chauffage sont installés au niveau de la distillation atmosphérique, en amont de la distillation sous vide, des unités de CCF et des unités d'hydrotraitement. Les raffineries sont parfois équipées de nombreux appareils de ce type, qui fonctionnent avec des charges d'alimentation différentes [1].

300. Les *turbines à gaz* transforment l'énergie thermique en énergie mécanique. Elles sont alimentées par un flux régulier de gaz (de l'air en général), qui est comprimé et enflammé au moyen d'un combustible gazeux ou liquide (parfois non commercial). La chaleur du gaz à la sortie de la turbine peut être récupérée, en aval, dans une unité de récupération de la chaleur. Cette unité se compose d'une chaudière à vapeur ou d'un appareil de chauffage industriel parfois équipé d'un système d'alimentation supplémentaire en combustible. Les turbines à vapeur transforment la pression de la vapeur en énergie. Les procédés à cycle combiné associent turbine à gaz et à vapeur et produisent de l'énergie à un rendement supérieur à celui obtenu avec des turbines à cycle ouvert.

301. Le *craquage catalytique* est le procédé de conversion le plus couramment utilisé pour valoriser les hydrocarbures les plus lourds en les transformant en hydrocarbures à point d'ébullition moins élevé. Ce procédé consiste à fractionner des molécules d'hydrocarbures en molécules plus petites et plus légères par l'action de la chaleur et en présence d'un catalyseur. Une unité de craquage catalytique fait généralement partie d'un complexe de traitement composé d'une installation de gaz, de traitement aux amines des gaz légers (y compris C_3/C_4) et de traitement de divers flux de produits [3].

302. Les *unités de récupération de soufre* se composent d'une installation Claus et d'une unité de nettoyage des gaz résiduaires. Les unités Claus prélèvent le soufre élémentaire provenant de l'H_2S récupéré dans la section d'élimination du gaz acide. L'unité de nettoyage des gaz résiduaires est destinée à maximiser la récupération globale du soufre. Le procédé consiste en une combustion partielle du flux gazeux riche en sulfure d'hydrogène suivie d'une réaction du dioxyde de soufre obtenu et du sulfure d'hydrogène non brûlé en présence d'un catalyseur pour obtenir du soufre élémentaire [3].

303. Les *torches* se composent d'au moins un cylindre de décochage et d'autres éléments, et elles sont reliées à de nombreux éléments de la raffinerie par un réseau de conduites. Globalement, la torche a pour fonction d'assurer la détente d'un flux gazeux en cas de pression excessive au niveau d'un élément (cuve, colonne, etc.), et, le cas échéant, de permettre le fonctionnement de la raffinerie en toute sécurité, même en situation d'urgence. Durant les périodes d'arrêt ou de démarrage, à savoir avant et après les activités d'entretien, la torche doit récupérer les rejets gazeux en vue de les éliminer en toute sécurité. Les torches sont à l'origine d'émissions de SO_2, de NO_x et de poussières (dont le noir de carbone).

3. MTD et niveaux d'émission associés

a) SO_2

304. Le dégagement de dioxyde de soufre est directement lié à la teneur en soufre des gaz de raffinerie et des fiouls utilisés. Les résidus de fioul lourd contiennent normalement des proportions significatives de soufre et d'azote, ces dernières dépendant principalement de la source et de l'origine du pétrole brut [2].

305. Il existe différentes techniques de désulfuration dont le rendement va de 50 % à 95 %, voire jusqu'à 98 %. En général, le SO_2 est extrait des effluents gazeux par des épurateurs par voie humide (chaux ou calcaire, Wellman-Lord, eau de mer, acide sulfurique sur gaz humide (WSA)), des épurateurs à séchage par atomisation, l'injection de sorbant ou des procédés régénératifs. Les procédés à la chaux humide ou au calcaire ont un rendement de 90 % à 98 %. L'injection d'additifs et le séchage par atomisation offrent des rendements dépassant 92 %. Toutefois, ces chiffres dépendent aussi des concentrations d'entrée, de la taille des unités et de leur application.

306. L'amélioration du rendement énergétique par une meilleure intégration et récupération de chaleur dans toute la raffinerie, par l'application de mesures d'économie d'énergie et par l'optimisation de la production et de la consommation d'énergie, est considérée comme une MTD [3].

307. L'hydrodésulfuration, qui permet de disposer d'une réserve totale en combustible liquide à faible teneur en soufre, est considérée comme une MTD, ainsi que la désulfuration des chaudières ou fours de grande taille, sous réserve que cette solution soit économiquement justifiée. Le remplacement de combustible est aussi une solution.

308. En ce qui concerne le *craquage catalytique*, la réduction des émissions de SO_2 par des additifs et la désulfuration du gaz de régénérateur avec un rendement de 95 % à 99 % (la cible de réduction des émissions dépend du niveau non contrôlé) sont considérées comme des MTD si ces méthodes se justifient économiquement [3].

309. L'épuration par voie humide (par exemple le système Wellman Lord) est efficace sur le SO_2, le SO_3 et les particules lorsqu'il est convenablement conçu. L'ajout d'une tour de traitement supplémentaire pour oxyder le NO en NO_2 permet d'éliminer partiellement les NO_x [3].

310. Avant que le soufre élémentaire ne soit récupéré dans l'unité de récupération, les effluents gazeux (principalement du méthane et de l'éthane) doivent être séparés du sulfure d'hydrogène, généralement par la dissolution du sulfure d'hydrogène dans un solvant chimique (absorption). Les solvants les plus couramment utilisés sont les amines [3].

311. Pour les *unités de récupération du soufre*, la méthode consistant à appliquer une récupération par étapes, qui comprend le traitement des gaz résiduaires, avec un rendement décrit ci-après (basé sur la charge de gaz acide dans l'unité), est considérée comme une MTD. La fourchette dépend des considérations de rentabilité [3].

Tableau 22
Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour le contrôle des SO_x et niveaux d'émission associés dans les raffineries de pétrole

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de SO_x correspondant à la MTD[a] (mg/Nm^3)[3]*
Type de combustible: gaz de raffinerie		
Générateurs de chaleur, Chaudières, Turbines à gaz	Techniques d'élimination du soufre dans le gaz combustible et suivi	5-20[c,] en cas de nettoyage du gaz
Type de combustible: combustible liquide		
Générateurs de chaleur, Chaudières	Combinaison de: Combustibles à faible teneur en S Désulfuration (lorsque cela est envisageable et rentable)	50-850 pour la réserve totale en combustible liquide de la raffinerie

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de SO_x correspondant à la MTD[a] (mg/Nm^3)[3]*
Craquage catalytique		
Craquage catalytique	Combinaison adaptée: Hydrotraitement de la charge d'alimentation si économiquement et techniquement justifié Utilisation d'additifs ou Désulfuration du gaz du régénérateur si économiquement justifié	10-350
Unités de récupération du soufre (SRU)		
Rendement[b]	Installations nouvelles	99,5 % à 99,9 %
	Installations existantes	98,5 % à 99,5 %

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] Le taux de désulfuration est le pourcentage de H_2S transformé en soufre élémentaire, en moyenne annuelle.

c Les valeurs étant exprimées en conditions sèches, cette valeur doit être ajustée pour les mélanges hydrocarbure-hydrogène. Par conséquent, la limite supérieure augmente avec la teneur en hydrogène du combustible, d'une valeur de 35 pour une concentration en H_2 de 50 % en volume.

Note: Référence pour l'oxygène: conditions sèches, 3 % pour la combustion (idem pour les turbines à gaz (si le rapport est de 15 %, la fourchette pour la turbine à gaz est de 7 à 17)).

b) NO_x

312. Dans les raffineries, les émissions de NO_x proviennent principalement des unités de combustion et du craquage catalytique. En dehors du type de combustible, qui joue un rôle important, les émissions de NO_x dépendent de la teneur en azote du combustible (liquide) ou de sa teneur en hydrogène et en C_{3+} (pour les combustibles gazeux), de la conception des brûleurs et des unités de chauffage, et des conditions d'exploitation [4].

313. En règle générale, la réduction de la consommation de combustible et le remplacement des brûleurs par des brûleurs dégageant peu de NO_x durant les principales périodes d'arrêt programmées sont considérés comme des MTD dans la mesure où cela respecte la conception technique des procédés existants.

314. Pour les appareils de chauffage et les chaudières utilisant un combustible gazeux, l'application d'une combinaison adaptée des mesures primaires et secondaires suivantes, permettant de réaliser des niveaux d'émission compris entre 20 mg/Nm^3 et 150 mg/Nm^3, est considérée comme une MTD [3]:

a) Conception du réchauffeur/de la chaudière à rendement thermique élevé avec de bons systèmes de contrôle;

b) Utilisation de brûleurs dégageant peu de NO_x;

c) Recyclage des effluents gazeux dans les chaudières;

d) Réduction catalytique sélective ou réduction non catalytique sélective.

315. Pour les appareils de chauffage et les chaudières utilisant un combustible gazeux et un combustible liquide (ce dernier étant majoritaire), la combinaison adaptée des mesures primaires et secondaires suivantes, permettant d'atteindre des niveaux d'émission compris entre 55 mg/Nm^3 et 300 mg/Nm^3, est considérée comme une MTD [3]:

a) Combustible à teneur réduite en azote;

b) Brûleur dégageant peu de NO_x;

c) Recyclage des effluents gazeux dans les chaudières;

d) Recombustion;

e) Réduction catalytique sélective ou réduction non catalytique sélective pour les combustibles liquides plus lourds que le gazole (si techniquement et économiquement faisable).

316. Pour les turbines à gaz, une combinaison adaptée des mesures primaires et secondaires suivantes, permettant d'obtenir des niveaux d'émission compris entre 20 mg/Nm^3 et 75 mg/Nm^3, est considérée comme une MTD [3]:

a) Injection d'un diluant;

b) Chambres de combustion bas NO_x par voie sèche;

c) réduction catalytique sélective (si techniquement et économiquement faisable).

Tableau 23

Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour le contrôle des NO_x et niveaux d'émission associés dans les raffineries de pétrole

Source d'émissions	*Mesure(s) d'atténuation*	*Niveau d'émission de NO_x correspondant à la MTD[a] (mg/Nm^3)[3]*
Type de combustible: gaz de raffinerie		
Générateurs de chaleur, Chaudières	Appareils conçus pour une efficacité thermique importante et de bons systèmes de contrôle - Brûleur dégageant peu de NO_x; - Recyclage des effluents gazeux dans les chaudières - RCS ou RNCS (si techniquement et économiquement faisable)	20-150[2]
Turbines fonctionnant au gaz ou à un combustible liquide léger	Injection de diluant - Chambres de combustion bas NO_x par voie sèche - RCS (si techniquement et économiquement envisageable)	20-75 (Niveau plus bas pour le gaz naturel et plus élevé pour les petites turbines à gaz et les gaz de raffinerie)
Type de combustible: combustible liquide lourd (majoritaire)		
Générateurs de chaleur, Chaudières	Combustible liquide à teneur réduite en azote - Brûleur dégageant peu de NO_x - Recyclage des effluents gazeux dans les chaudières - RCS ou RNCS pour les combustibles liquides plus lourds que le gazole (si techniquement et économiquement envisageable)	55-300[2]

Source d'émissions	*Mesure(s) d'atténuation*	*Niveau d'émission de NO_x correspondant à la MTD[a] (mg/Nm^3)[3]*
Craquage catalytique		
Craquage catalytique	Intégration d'un four ou d'une chaudière à CO pour l'oxydation partielle pour les installations de combustion complète Combinaison (si économiquement faisable): modification de la conception et du fonctionnement du régénérateur, RCS ou RNCS	100-300 300-600 40-150

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] Dans le rapport BREF de 2003, plusieurs vues divergentes sont exprimées sur les niveaux d'émission associés aux MTD.

Note: Référence pour l'oxygène: conditions sèches, 3 % pour la combustion, 15 % pour les turbines à gaz.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

317. Les poussières émises par les raffineries proviennent principalement des appareils de chauffage industriel et des chaudières (fonctionnant au fioul lourd liquide), des régénérateurs de craquage catalytiques, des cokeries, des incinérateurs, du décockage, du ramonage des fours et de la torche [3].

318. Les niveaux d'émission des poussières peuvent varier considérablement et dépendent de divers paramètres tels que le type de combustible, la conception du brûleur et la concentration en oxygène à la sortie de la zone de radiation.

319. Les poussières émises par les fours et les chaudières fonctionnant au fioul lourd se composent d'un mélange de cendres, de suie et de noir de carbone. La matière minérale est une composante naturelle du pétrole brut; elle se transforme en cendres lors de la combustion de fiouls plus lourds. La suie et le noir de carbone résultent d'imperfections dans le procédé de combustion. La teneur en noir de carbone des poussières est faible dans les procédés continus, dans des conditions de combustion optimisées, mais elle peut être plus élevée durant les périodes de démarrage et d'arrêt, lorsque la combustion est incomplète.

320. La taille des particules émises par les appareils de chauffage et les chaudières au fioul lourd est de l'ordre de 1 µm. Les principales techniques d'élimination de ces particules sont les précipitateurs électrostatiques. Une combinaison adaptée des mesures primaires et secondaires suivantes est considérée comme une MTD [3]:

a) Diminution de la consommation de combustible;

b) Maximisation de l'utilisation de gaz et de combustibles liquides produisant peu de cendres;

c) Vaporisation améliorée des combustibles liquides;

d) Utilisation de précipitateurs électrostatiques ou de filtres à la sortie des appareils de chauffage ou des chaudières aux combustibles liquides lourds [3] lorsque cela est techniquement et économiquement faisable.

Tableau 24
Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour le contrôle des poussières et niveaux d'émission associés dans les raffineries de pétrole

Source d'émissions	*Mesure(s) d'atténuation*	*Niveau d'émission de poussières correspondant à la MTD[1] (mg/Nm^3)[3]*
Type de combustible: combustible liquide lourd (majoritaire)		
Générateurs de chaleur, chaudières	Combinaison des mesures suivantes: - Réduction de la consommation de combustible, - Maximisation de l'utilisation de combustibles liquides produisant peu de cendres, - Pulvérisation de vapeur sur les combustibles liquides, - Utilisation d'un précipitateur électrostatique	5-20 [3] (avis divergent du secteur industriel: 5-50)
Régénérateurs de CCF	Combinaison adaptée de: Mesures intégrées aux procédés, Précipitateur électrostatique, Cyclones à 3 étages, épurateurs	10-40[2] [5]

[1] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[2] Lorsque la rénovation des précipitateurs électrostatiques existants pose des difficultés techniques, il peut être difficile d'atteindre la fourchette supérieure. Dans ces cas, 50 est considéré comme un niveau à atteindre plus raisonnable [3].

Note: Référence pour l'oxygène: conditions sèches, 3 % pour la combustion, 15 % pour les turbines à gaz.

321. *MTD des torches*: Les réseaux-torches peuvent être équipés de systèmes de surveillance et de contrôle adéquats, nécessaires pour fonctionner sans fumée, et devraient être observés à tout moment en l'absence de conditions d'urgence, en vue d'éviter les émissions.

322. Les techniques susceptibles de réduire les émissions (y compris celles de noir de carbone) des torches sont les suivantes [3]:

a) Les veilleuses permettent une ignition plus fiable des gaz des évents car elles ne sont pas affectées par le vent;

b) L'injection de vapeur d'eau dans les cheminées de torche peut réduire les émissions de particules;

c) La formation de coke dans les pointes de la torche devrait être évitée;

d) Le gaz de raffinerie en surplus devrait être envoyé à la torche et non rejeté dans l'atmosphère. Des pots de décochage devraient être fournis pour réduire les liquides, ainsi que des joints et des systèmes de rejet de liquide pour empêcher l'entraînement des liquides dans la zone de combustion. Les flux d'eau provenant des réservoirs d'étanchéité devraient être dirigés vers le système d'eau acide;

e) Des systèmes de récupération des gaz de torche ont été développés pour des raisons environnementales et économiques. Le gaz de torche est capté et comprimé pour d'autres utilisations. Généralement, le gaz récupéré est traité et dirigé vers le système de

gaz combustible de la raffinerie. Selon leur composition, les gaz récupérés peuvent avoir d'autres utilisations. Des réductions de torchage à des proportions de 0,08 à 0,12 % de la production ont été rapportées dans une usine à gaz naturel en Norvège. La récupération du gaz de torche n'est pas rentable si cet effluent gazeux est déjà réduit par d'autres mesures.

4. Nouvelles techniques

323. Les nouvelles techniques de réduction des émissions de SO_2 sont la capture de cette molécule dans les effluents gazeux et sa conversion ultérieure en soufre liquide, ainsi que l'élimination biologique de l'H_2S [3].

324. Le cycle combiné à gazéification intégrée (CCGI) est une technique de production de vapeur d'eau, d'hydrogène et d'électricité à partir de différents types de combustibles pauvres. Le combustible solide gazéifié est brûlé dans la chambre de combustion de la turbine. Le CCGI émet peu de poussières. Cette technique s'applique aussi au résidu de fioul lourd. Toutefois, ce procédé n'est pas encore entièrement commercialisé; un petit nombre de centrales de démonstration, d'une puissance d'environ 250 MWe pour la plupart, sont exploitées en Europe et aux États-Unis.

Références de la section D du chapitre VII

[1] O. Rentz, D. Oertel: Process Furnaces, SNAP Code 01 03 06, In: Atmospheric Emission Inventory Guidebook, CD-Rom, 1996.

[2] Environment Agency: Guidance for the gasification, liquefaction and refining sector, 2003.

[3] Commission européenne: Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Raffineries de pétrole et de gaz, Prévention et réduction intégrées de la pollution (PRIP), février 2003.

[4] O. Rentz, S. Nunge, M. Laforsch, T. Holtmann: Technical Background Document for the Actualisation and Assessment of United Nations Economic Commission for Europe Protocols related to the Abatement of the Transboundary Transport of Nitrogen Oxides from Stationary Sources, Task Force on the Assessment of Abatement Options/Techniques for Nitrogen Oxides from Stationary Sources, Karlsruhe, septembre 1999.

[5] J. Schacht, J. Courtheyn: ESP units realise major dust emission reduction at Total Refinery Antwerp. Total Refinery Antwerp, présenté à Dustconf 2007.

[6] Concawe Report 4/09 «Refining BREF review − Air Emissions», établi par le CONCAWE Air Quality Management Group's Special Task Force on Integrated Pollution Prevention and Control (AQ/STF-70), 2009.

E. Raffineries de pétrole et de gaz (émissions de COV)

1. Objet

325. La présente partie couvre les activités émettrices de composés organiques volatils dans les raffineries de pétrole, à savoir les émissions fugaces, les torches, les réservoirs de stockage et les séparateurs d'huile. Les sources d'émissions fugaces de COV (fuites des joints, pompes ou autres équipements) et les pertes de produits liquides dans les installations de stockage pourraient contribuer à hauteur de plus de 50 % aux émissions totales de COV. Enfin, ces émissions sont liées aux procédés de combustion ou proviennent des torches, mais il s'agit de sources peu émettrices. Les centres d'expédition des raffineries de pétrole sont abordés à la section T du chapitre VII.

2. Sources d'émissions

326. Les sources d'émissions de COV examinées sont les suivantes:

a) Émissions fugaces

327. Les émissions fugaces de COV proviennent de fuites de composants d'équipements sous pression sur les unités de traitement comme les soupapes, les raccords et les connecteurs, les extrémités ouvertes ou les systèmes d'échantillonnage contenant des liquides volatils ou des gaz. Les produits volatils sont définis dans la norme CEN 15446 [9] et le document de référence [10] comme étant les produits dont au moins 20 % de la masse possède une pression de vapeur supérieure à 0,3 kPa à 20 °C.

328. Le volume des émissions de COV provenant d'éléments d'étanchéité dépend:

a) De la taille, du type et du matériau de l'élément;

b) De l'entretien et de l'âge de l'équipement;

c) De la pression, de la température et de l'état physique du produit. Les émissions sont plus importantes dans les raffineries qui transforment des produits légers (raffineries produisant des combustibles);

d) Les valves représentent 50 % à 60 % des émissions fugaces [1]. De plus, la majeure partie de ces émissions ne provient que d'une petite fraction des sources (par exemple, moins de 1 % des vannes des unités gaz/vapeur peut dégager plus de 70 % des émissions fugaces d'une raffinerie).

b) Torches

329. Les torches sont utilisées pour la sécurité et le contrôle environnemental des rejets de combustibles non désirés ou en excès, et pour les purges de gaz dans les situations d'urgence ou de refoulement [1]. Les émissions de COV provenant du torchage lui-même ne représentent qu'une proportion modeste des COV émis au total par la raffinerie. Les émissions fugaces peuvent toutefois provenir de fuites dans certains éléments du système de collecte des gaz.

c) Séparateurs huile-eau

330. Dans les raffineries, les eaux usées sont traitées par des neutralisants, des séparateurs huile-eau, dans des chambres de sédimentation, des clarificateurs, des systèmes de flottation à l'air et des unités de dépôt actif. Lorsqu'elles sont contaminées par du pétrole, les eaux usées provenant des raffineries subissent un traitement de purification à multiples étapes, par le biais d'un séparateur ou par floculation.

331. Les émissions au niveau des égouts et des séparateurs proviennent en premier lieu de l'évaporation des COVNM présents dans des liquides au contact de l'air libre. Les sources directes comprennent les procédés de nettoyage à l'eau (dessalage, par exemple), la désulfuration des eaux acides, mais aussi la vapeur utilisée dans les inducteurs de jet pour créer du vide. Parmi les sources indirectes se trouvent les fuites au niveau des échangeurs de chaleur, des condensateurs et des pompes.

332. Les sources de contamination des hydrocarbures sont les suivantes [4]:

a) Dessaleurs: 40 %;

b) Réservoirs de stockage: 20 %;

c) Systèmes de dépôt visqueux: 15 %;

d) Autres procédés: 25 %.

d) Stockage du pétrole brut et de produits volatils

333. Une proportion importante des COV émis par les raffineries provient des cuves de stockage du pétrole brut et des produits volatils lorsqu'aucune technique de dépollution n'est mise en œuvre. Ces produits sont parfois stockés dans différents types de cuves, en fonction de leurs propriétés chimiques ou physiques: réservoirs à toit fixe, réservoirs à toit flottant externes ou réservoirs à toit flottant internes. Les réservoirs à toit fixe peuvent seulement contenir des produits pétroliers à pression de vapeur très basse.

3. MTD et niveaux d'émission associés

334. Les MTD de réduction des émissions de COV sont les suivantes [1], [2]:

a) Émissions fugaces

a) Quantification des sources d'émissions de COV afin d'identifier les principaux émetteurs dans chaque cas particulier;

b) Organisation de campagnes LDAR ou équivalentes. Un bon programme LDAR consiste à déterminer le type de mesures de fréquence, le type d'éléments à vérifier, le type de lignes interconnectées, les fuites qui devraient être réparées et à quelle vitesse la mesure devrait être prise;

c) Utilisation d'un système d'entretien préventif par drainage;

d) Sélection et utilisation de vannes à faibles fuites comme des vannes à garniture de graphite ou équivalent pour les lignes contenant du produit présentant une tension de vapeur élevée;

e) Utilisation de pompes à faibles fuites (comme des pompes étanches, à double joint d'étanchéité, avec des joints étanches aux gaz ou de bonnes garnitures mécaniques d'étanchéité) sur les lignes de produits qui transportent des fluides présentant une tension de vapeur élevée;

f) Isolation, bouchage ou encapsulage des évents et des vannes de vidange;

g) Acheminement des soupapes de décharge contenant des COV potentiellement élevées vers la torche;

h) Acheminement des soupapes de décharge contenant des COV vers le procédé ou, si cela n'est pas possible, vers la torche;

i) Utilisation d'un circuit totalement fermé dans tous les appareils d'analyse de routine susceptibles d'émettre des COV;

j) Minimisation du torchage.

335. Un programme LDAR est établi selon les principes suivants [3]:

a) Définition de ce qui constitue une fuite et fixation des seuils correspondants;

b) Détermination de la fréquence des inspections;

c) Énumération et identification des composants concernés;

d) Procédures relatives à la réparation des composants présentant des fuites, en fonction de la catégorie de la fuite.

336. Le resserrage de l'équipement peut être effectué en cours d'exploitation (à l'exception des soupapes de commande à distance (par exemple, resserrage d'écrous pour éliminer les fuites au niveau des tiges de manœuvre ou des brides, montage de bouchons sur les extrémités ouvertes, etc.)).

337. Les opérations de maintenance faisant intervenir le désassemblage ou le remplacement d'équipement ne peuvent être réalisées que durant la fermeture de la raffinerie, après isolation et dégazage du circuit. Par conséquent, l'exécution de ce type de maintenance avec pour unique objectif de réduire les émissions fugaces aurait des coûts inacceptables.

338. La maintenance consiste soit à retirer certaines pièces, soit à remplacer l'équipement dans son intégralité, mais en conservant la même technique (ci-après désigné maintenance de base dans le présent document). Un remplacement de l'équipement, comme des soupapes de dernière génération, totalement étanches, peut également être réalisé (mais cette option n'est pas abordée dans le présent document).

b) Station d'épuration [1]

a) Recouvrement des séparateurs, des cuvettes et des bassins d'entrée, et acheminement des effluents gazeux dans la station d'épuration. La mise en œuvre de certaines de ces techniques pourrait compromettre le bon fonctionnement de la station d'épuration ou entraîner des problèmes de sécurité dans le cas où ces dernières seraient mal conçues et mal gérées. Cette technique risque donc d'entraîner des problèmes techniques lors de la mise en conformité rétroactive.

c) Stockage et manipulation [1], [2]

a) S'assurer que les liquides et les gaz stockés se trouvent dans des bacs ou des cuves appropriés selon la tension de vapeur réelle du matériau stocké;

b) Utiliser des joints à haute efficacité sur les bacs à toit flottant (l'exemple donné dans le document de référence [1] a montré que le remplacement d'un joint primaire vapeur par un joint primaire hydraulique permettait une réduction supplémentaire des émissions de 84 %);

c) Confiner tous les produits chimiques stockés, avec un confinement séparé pour les produits incompatibles;

d) Appliquer des mesures de réduction des émissions pendant le nettoyage du bac;

e) Appliquer des concepts de bon entretien et de bon management environnemental;

f) Minimiser le nombre de bacs et le volume par une combinaison adaptée de l'application de mélange en ligne et l'intégration des unités de traitement, ces techniques étant bien plus simples à appliquer à de nouvelles installations, par exemple par des lignes de récupération de vapeur qui déplacent la vapeur du conteneur en cours de remplissage vers celui en cours de vidange. Cette application est limitée, entre autres, par l'incompatibilité des vapeurs du bac et par son applicabilité aux bacs à toits flottants. L'applicabilité doit refléter l'économie, le type et la taille de réservoir à utiliser (bac, camion, wagon-citerne, bateau), le type de fraction d'hydrocarbure et la fréquence d'utilisation du réservoir. Parce que cette technique est liée à la suivante, elles devraient être évaluées ensemble lors d'une mise en œuvre sur un site particulier;

g) Appliquer une récupération de vapeur (ne s'applique pas aux produits non volatils) sur les bacs, les véhicules, les bateaux, etc. en utilisation statique et au cours du chargement-déchargement. Les niveaux d'émission réalisables sont fortement dépendants de l'application, mais des récupérations de 95 % à plus de 99 % sont considérées comme étant des MTD. Si les URV ne sont pas considérées appropriées pour certains flux, les unités de destruction de vapeur sont considérées comme étant des MTD. Les propriétés des flux, comme le type de substance, la compatibilité des substances et la quantité doivent être prises en compte dans l'applicabilité de cette MTD. L'applicabilité de la mesure doit

refléter l'économie, le type et la taille de réservoir à utiliser (par exemple bac, camion, wagon-citerne, bateau), le type de fraction d'hydrocarbure et la fréquence d'utilisation du réservoir. Parce que cette technique est liée à la technique ci-dessus, elles devraient être évaluées ensemble lors d'une mise en œuvre sur un site particulier;

h) Réduire (le risque de) la contamination du sol par la mise en œuvre d'un programme d'inspection et de maintenance qui pourrait inclure la mise en œuvre de bonnes mesures d'entretien, l'utilisation de bacs à double enveloppe et de revêtements étanches, à savoir;

i) L'installation de connexions flexibles autobloquantes ou mise en œuvre des procédures de vidange en ligne;

j) D'autres bonnes pratiques.

339. Les réservoirs à toit flottant, externes ou internes, offrent les rendements suivants: la réduction des émissions réalisable pour un grand réservoir est d'au moins 97 % (par rapport à un réservoir à toit fixe sur lequel aucune mesure n'est prévue); pour ce faire, au moins 95 % de l'espace entre le toit et la paroi doit faire moins de 3,2 mm et les joints d'étanchéité doivent être de type hydraulique ou mécanique. L'installation de joints primaires hydrauliques et de joints de bordure secondaires permet d'obtenir des réductions d'émissions pouvant atteindre 99,5 % (par rapport à un réservoir à toit fixe sur lequel aucune mesure n'est prévue) [2].

340. La réduction des émissions réalisable pour un grand réservoir utilisant un toit flottant interne est d'au moins 97 % (par rapport à un réservoir à toit fixe sur lequel aucune mesure n'est prévue); pour ce faire, au moins 95 % de la circonférence de l'espace entre le toit et la paroi doit faire moins de 3,2 mm et les joints d'étanchéité doivent être de type hydraulique ou mécanique. L'installation de joints primaires hydrauliques et de joints de bordure secondaires permet d'obtenir des réductions supérieures. En revanche, plus le réservoir est petit, plus le nombre de renouvellements est limité et moins le toit flottant est efficace.

341. Toutefois, des mesures sur des sources diffuses (comme les réservoirs) ne peuvent être prises que sur des courtes périodes; les extrapolations pour obtenir des estimations annuelles d'émissions sont source d'erreurs importantes en raison des variations temporelles des émissions provenant de ce type de source.

Tableau 25
Niveaux d'émission associés aux MTD de réduction des émissions de COV provenant du stockage

Sources d'émissions	*Combinaison de MTD*	*Niveaux d'émission de COV correspondant à la MTD*
Réservoirs de stockage de produits volatils	Toit flottant interne Toit flottant externe Autres types de réservoirs et couleurs adaptées	97 % à 99,5 % par rapport à un réservoir à toit fixe sur lequel aucune mesure n'est prévue*

* Si ce rendement ne peut être atteint à cause des caractéristiques du réservoir (débit ou diamètre réduit), les meilleurs joints primaire et secondaire disponibles doivent être utilisés.

Tableau 26
Niveaux d'émission associés aux MTD de réduction des émissions de COV dans les opérations de chargement et de déchargement des raffineries

Source d'émissions	*MTD et efficacité de la réduction*	*Niveaux d'émission associés aux MTD* kg COV/m^3/kPa [1], [6]*
Remplissage de camions-citernes, chargement par le bas ou par le haut et récupération de la vapeur durant des déchargements précédents et URV	Rendement de l'URV: 95 % à 99 % [1]	0,0228 x 0,05 à 0,0228 x 0,01
Wagon-citerne, chargement par le haut et URV		0,0108 x 0,05 à 0,0108 x 0,01
Navire-citerne, citerne de cargaison représentative		0,004 x 0,05 à 0,004 x 0,01
Barge, citerne de cargaison représentative		0,007 x 0,05 à 0,007 x 0,01

Note: kPa: tension de vapeur réelle du produit volatil.

* Non disponible dans le document de référence [1], calculé à partir du document de référence [6].

4. Coût des méthodes de réduction

342. La feuille de synthèse du Groupe d'experts des questions technico-économiques [7] sur les émissions de COV dans les raffineries décrit les coûts des méthodes de réduction des COV.

343. Le coût d'un programme LDAR dépend du seuil fixé sur ce qui constitue une fuite. Le document de référence [1] établit des coûts d'exploitation allant de 0,04 M€ à 0,08 M€/an pour un programme correspondant à 10 000 ppm et à 0,8 M€/an pour une fourchette comprise entre 100 ppm et 500 ppm.

Références de la section E du chapitre VII

[1] Commission européenne − Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Raffineries de pétrole et de gaz (BREF), février 2003, Commission européenne, disponible à l'adresse http://eipccb.jrc.es.

[2] Commission européenne − Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Émissions dues aux stockages, juillet 2006, disponible à l'adresse http://eipccb.jrc.es.

[3] Groupe d'experts des questions technico-économiques − document de travail sur l'industrie de la chimie organique, 2003.

[4] VAN DER REST A. *et al.*: Best available techniques to reduce emissions from refineries − Rapport CONCAWE n° BAT/II − air − février 1999.

[5] GOODSELL P.: Courrier d'information du 8 septembre 2003 à la CITEPA, cité dans le document de référence [3].

[6] CONCAWE − Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries − Rapport n° 1/2009 (rapport rectificatif 2007).

[7] Feuille de synthèse du Groupe d'experts des questions technico-économiques sur l'émission de COVNM émanant des raffineries, octobre 2005.

[8] EPA − Emission factor documentation for AP42 section 7.1 − Organic liquid storage tanks − Final report − septembre 2006.

[9] EN15446:2008 Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors − Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks.

[10] EPA − Protocol for equipment leak − Emission estimates EPA 453-95-017 − 1995.

[11] Edda Hoffmann, UBA Allemagne: commentaires de la première version du document d'orientation.

F. Fours à coke

1. Objet

344. La présente partie traite des émissions provenant des fours à coke de sidérurgie. Les autres utilisations de la coke et du gaz de coke ne sont pas abordées dans cette partie. Pour plus de détails, voir la partie «Sidérurgie».

2. Sources d'émissions

345. Dans la production de fer et d'acier primaires, le haut fourneau (voir partie «Sidérurgie») est la principale unité d'exploitation. Le coke sert essentiellement d'agent réducteur en raison de ses caractéristiques physiques et chimiques. Il est produit par la distillation de charbon dans un four à coke.

346. *Cokerie*: Le coke est produit par pyrolyse d'un mélange de charbon en l'absence d'oxygène. Le four à coke est une chambre en briques réfractaires. Le piédroit est constitué de carneaux de chauffage par lesquels passent les gaz de chauffage et l'air. En règle générale, le gaz de cokerie, une fois épuré, sert de combustible, tout comme d'autres gaz, dont le gaz de haut fourneau. Ensuite, le coke est principalement utilisé comme agent réducteur dans les hauts fourneaux.

347. Compte tenu de son coût élevé, du charbon pulvérisé, du fioul, des plastiques, etc., peuvent remplacer le coke comme agents réducteurs dans les hauts fourneaux [2]. Cette diminution de la consommation de coke contribue par ailleurs à réduire les émissions totales liées à sa production. Plusieurs procédés «directs» et «de réduction par fusion» ont été élaborés pour la production de fer de première fusion sans utilisation de coke (procédé Corex, par exemple).

3. MTD et niveaux d'émission associés

a) *SO_2*

348. En règle générale, on peut réduire les émissions de SO_2 en agissant sur la teneur en soufre du charbon.

349. Durant la cokéification, le soufre contenu dans le charbon est entièrement transformé en H_2S et capté avec le gaz de coke, généralement utilisé après épuration par exemple comme combustible pour la cokéification. Par conséquent, les émissions peuvent être réduites grâce à l'utilisation de charbon à coke à faible teneur en soufre, mais aussi par une désulfuration adaptée du gaz de coke. Ce dernier, tout comme le gaz de haut fourneau, peut alimenter la combustion du charbon à coke.

350. L'utilisation de gaz de coke désulfurisé constitue une MTD, tout comme la désulfuration du gaz de coke par des systèmes d'absorption, ou encore la désulfuration par oxydation.

351. La prévention des fuites entre le foyer du four et la chambre de chauffe par un fonctionnement régulier du four à coke est considérée comme une MTD [2]. Le tableau 27 montre l'efficacité de certaines MTD sur le H_2S et les teneurs en H_2S du gaz de coke (utilisé ultérieurement comme combustible dans le four à coke).

Tableau 27
MTD sélectionnées sur le H_2S et teneurs en H_2S correspondantes du gaz de coke [2]

	Combinaison de mesures de contrôle	*Teneur en H_2S (mg/Nm^3)*
Gaz de coke	Désulfuration par absorption	500-1 000
	Désulfuration par oxydation	<500

Note 1: Les niveaux d'émission devraient pouvoir être réalisés sur une longue période dans des conditions normales d'exploitation et de charge.

Note 2: Selon le rapport de mise en œuvre de la PRIP par l'Allemagne (2006), les émissions de SO_x des cokeries allemandes, qui mettent toutes en œuvre la désulfuration du gaz de coke, étaient de l'ordre de 110 mg/m^3 à 250 mg/m^3 avec du gaz de coke pur (les valeurs du 90^e percentile sont fondées sur les moyennes sur une demi-heure calculées à partir de mesures en continu). Avec des gaz mixtes (principalement du gaz de coke et de haut fourneau), les émissions signalées étaient de l'ordre de 80 mg/m^3 à 160 mg/m^3.

b) NO_x

Gaz de coke

352. Les émissions d'oxydes d'azote dues à l'exploitation de fours à coke proviennent essentiellement de la formation de NO_x thermique et de NO_x combustible (voir sect. D du chapitre III pour une description des différents mécanismes). Le NO_x combustible correspond aux résidus de composés azotés dans le gaz de coke après son nettoyage, c'est-à-dire à la présence d'ammoniac. Toutefois, le type de combustible utilisé a aussi son importance [1].

353. La façon la plus efficace de réduire la formation de NO_x consiste à réduire la température de la flamme dans la chambre de chauffe [1]. Par conséquent, des mesures intégrées aux procédés doivent être privilégiées, mais des mesures de fin de chaîne ont aussi leur utilité. Toutefois, en raison de son coût élevé, la dénitrification (à savoir la réduction catalytique sélective) des effluents gazeux n'est pas pratiquée à l'heure actuelle, sauf dans un nombre limité de nouvelles cokeries et lorsque les normes de qualité de l'environnement sont peu susceptibles d'être respectées [2].

354. Les techniques de modification de la combustion comme la combustion à faible NO_x ou la combustion étagée, sont considérées comme des MTD dans les nouvelles installations. Des émissions de NO_x de 500 mg/Nm^3 à 770 mg/Nm^3 peuvent être réalisées.

Tableau 28
Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour le NO_x et niveaux d'émission correspondants dans les fours à coke [2]

Source d'émissions	*Mesures*	*Niveau d'émission de NO_x associé à la MTD*[1a] *(mg/Nm^3)*
Combustion de gaz de coke	Modification de la combustion (nouvelles installations)	500-770 (5 % O_2)[b]

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD devraient être réalisés sur une longue période et dans des conditions de charge normales. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] Rapport de mise en œuvre de la PRIP par l'Allemagne (2006), émissions de NO_x provenant de fours à coke: 322 mg à 414 mg en moyenne annuelle, installations différentes (au gaz de coke uniquement ou aux gaz mixtes.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

355. Des informations sur les poussières émises par les hauts fourneaux fonctionnant au gaz de coke figurent dans la partie «Sidérurgie».

356. Dans les fours à coke, les poussières proviennent principalement de sources diffuses: manipulation et préparation du charbon, bouches d'enfournement, portes des fours, déchargement et extinction du coke.

357. Les fours à coke sont une source importante d'émissions de noir de carbone dans les pays en développement [4], [5]. Dans les pays occidentaux, ces émissions sont contrôlées et limitées. Les données de surveillance sont très rares. Les poussières contiennent une certaine proportion de noir de carbone. Les mesures de réduction des émissions de poussières peuvent donc être très efficaces sur le noir de carbone si elles s'appliquent aux particules fines. Les émissions de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone) devraient être limitées par des mesures au niveau du chargement (voir tableau 29), par une étanchéisation efficace des ouvertures et par une bonne maintenance, mais aussi par une réduction des fuites entre le foyer du four à coke et la chambre de chauffage principale et, en particulier, par un dépoussiérage au niveau du déchargement de la coke. La poussière contenue dans le gaz résiduaire du fait de la sous-combustion dans le four à coke peut être éliminée par des filtres en tissu ou des précipitateurs électrostatiques [2], [3].

Tableau 29
Sources d'émissions, MTD sélectionnées pour les poussières et niveaux d'émission correspondants dans les fours à coke [2]

Source d'émissions	*Mesures*	*Niveau d'émission de poussières associé à la MTD*[a] *mg/Nm^3 (ou kg/t)*
Chargement	Chargement sans dégagement de fumée ou séquentiel	(<5 g/t coke)
	Solution privilégiée: double colonne montante ou en forme de cavalier: évacuation efficace, puis combustion et passage par un filtre en tissu	

Source d'émissions	*Mesures*	*Niveau d'émission de poussières associé à la MTD[a] mg/Nm³ (ou kg/t)*
Déchargement	Extraction par hotte avec capot (intégrée) sur la machine de transfert du coke avec fixation à terre Traitement du gaz extrait par un filtre en tissu et chariot d'extinction en un point	(<5 g/t coke (émissions de cheminées))
Extinction	Extinction humide	(<50 g/t coke)
	Extinction à sec	<5 mg/m³ (<6-12 g/t coke)

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD devraient être réalisés sur une longue période et dans des conditions normales de charge. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

4. Nouvelles techniques

358. Compte tenu des coûts élevés et de l'impact sur l'environnement du coke, les procédés de réduction «directe» et de réduction «par fusion» pourraient remplacer le haut fourneau et rendre par conséquent la production de coke superflue [2].

359. Les «super fours à coke» visent notamment à réduire les émissions de NO_x et de poussières.

Références de la section F du chapitre VII

[1] Documents techniques de travail pour l'actualisation et la mise à jour des protocoles de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies relatifs à la réduction des flux transfrontières d'oxydes d'azote provenant de sources fixes, DFIU, 1999.

[2] Commission européenne: Best Available Techniques Reference Document on the production of Iron and Steel, décembre 2001.

[3] Commission européenne: Best Available Techniques Reference Document on the production of Iron and Steel, projet de rapport, février 2008.

[4] PNUE/MMO − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[5] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone. Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

G. Sidérurgie

1. Objet

360. Ce secteur couvre la production de fer et d'acier dans des aciéries intégrées (ateliers d'agglomération, installations de production de pellets, cokeries, hauts fourneaux et convertisseurs basiques à oxygène par coulée continue ou en lingotière) et les fours électriques à arc [1]. D'autres activités d'aval, comme la fonderie de métaux ferreux, le laminage et la galvanisation, sont traités dans la partie «Métaux ferreux». Les émissions provenant des fours à coke de sidérurgie sont abordées dans la section relative aux fours à coke.

2. Sources d'émissions

361. L'industrie sidérurgique est un secteur à forte consommation de matières premières et d'énergie, dans laquelle plus de la moitié de la masse entrante se transforme en effluents gazeux et en déchets ou sous-produits solides. C'est dans les émissions atmosphériques provenant des ateliers d'agglomération que l'on trouve la plupart des polluants. En dehors de ces ateliers, les émissions les plus importantes proviennent des installations de production de pellets, des cokeries (décrites dans la partie correspondante du présent rapport), des hauts fourneaux, des aciéries à l'oxygène (affinage et moulage), et des aciéries à l'électricité (affinage et moulage) [1], [2].

a) Ateliers d'agglomération

362. Le frittage est un procédé d'agglomération du minerai de fer; il est à l'origine d'une part importante des problèmes de protection de l'environnement que l'on rencontre dans les aciéries intégrées. Le frittage consiste à chauffer une couche de diverses matières premières concassées (minerai de fer, coke, castine, etc.) par application de gaz de combustion traversants, de façon à faire fondre la surface et à former un aggloméré. Les ateliers d'agglomération jouent un rôle très important dans la gestion interne des matériaux dans les aciéries intégrées parce que dans certaines conditions, la plupart des résidus ferreux peuvent être recyclés afin d'en extraire le fer et, par conséquent, d'économiser de la matière première. Les émissions gazeuses provenant des lignes d'agglomération contiennent des polluants comme de la poussière, des métaux lourds, du SO_2, du HCl, du HF, des HAP et des composés organochlorés [1], [3].

363. Les ateliers d'agglomération ne sont pas considérés comme une source importante de noir de carbone [10], [11] et [13]. Les données de surveillance sont très rares.

b) Installations de production de pellets

364. La production de pellets est une alternative au frittage de matériaux ferreux, les pellets étant produits principalement à la mine ou sur le port de chargement de cette dernière. Une fois de plus, les émissions atmosphériques sont la principale source de pollution [1], [9].

365. Les installations de production de pellets ne sont pas considérées comme une source importante de noir de carbone [10], [11] et [13]. Les données de surveillance sont très rares.

c) Cokeries

366. Les cokeries ne sont pas abordées dans la présente partie, mais à la section F du chapitre VII.

d) Hauts fourneaux

367. Le haut fourneau reste, de loin, le procédé le plus important de production de fonte brute à partir de minerai de fer. Ce dernier est réduit par du carbone et du gaz à haute température pour former de la fonte brute, la matière première des aciéries. Compte tenu de l'apport important d'agents réducteurs (coke, charbon pulvérisé), les hauts fourneaux sont les principaux consommateurs de l'énergie produite par les aciéries intégrées [1]. Par ailleurs, ils dégagent également un volume important de gaz manufacturé, qui doit être épuré avant de pouvoir être utilisé comme combustible ou pour la production interne ou externe d'énergie.

368. Bien que le haut fourneau soit le principal procédé de fabrication du fer, il existe divers autres moyens d'affiner la fonte brute. Deux grands types d'affinages existent: la réduction directe (production de fer brut solide à partir de minerai et d'un agent réducteur

comme du gaz naturel) et la réduction par fusion (combinaison de la réduction directe dans un réacteur et de la fusion dans un second réacteur, sans utilisation de coke). Le procédé COREX est une version commercialisée avec succès d'un procédé de «réduction par fusion» [4]. Dans ces techniques, le coke, le charbon ou le gaz naturel servent d'agent réducteur. Dans certaines nouvelles techniques, la principale charge d'alimentation est du minerai en morceaux et des pellets obtenus par pulvérisation de minerai de fer. Le produit solide s'appelle «fer de réduction directe» et il est principalement utilisé dans les fours électriques à arc [4], [9].

369. Les hauts fourneaux ne sont pas considérés comme une source importante de noir de carbone [10], [11] et [13]. Les données de surveillance sont très rares.

e) Aciérie à l'oxygène (affinage et moulage)

370. L'affinage de l'acier à l'oxygène a pour objectif de réduire la teneur en carbone et d'éliminer les impuretés contenues dans la fonte liquide à la sortie du haut fourneau. Ce procédé comprend le prétraitement de la fonte liquide, l'oxydation dans le convertisseur basique à oxygène, un second traitement métallurgique et une coulée (en continu ou en lingotière). En plus de la fonte liquide, on peut ajouter jusqu'à 25 % de ferraille. Le gaz recueilli dans le convertisseur basique à oxygène est épuré et stocké pour être utilisé ultérieurement comme combustible, si cela est rentable ou peut constituer une mesure d'économie d'énergie [1], [4].

371. Les convertisseurs basiques à oxygène ne sont pas considérés comme une source importante de noir de carbone [10], [11] et [13]. Les données de surveillance sont très rares.

f) Aciérie à l'électricité (affinage et moulage)

372. La fusion directe de matériau ferreux, principalement des ferrailles, se fait généralement dans des fours électriques à arc. Ce procédé consomme beaucoup d'électricité et dégage des quantités importantes de produits polluants dans l'atmosphère. La consommation d'énergie (et la quantité correspondante d'émissions de CO_2) représente environ un tiers de l'énergie consommée par le haut fourneau et le convertisseur basique à oxygène. L'utilisation de ce procédé à «moindre production de CO_2» est toutefois limitée par la disponibilité de ferrailles, tandis que l'on ne peut obtenir certaines qualités d'acier uniquement par la production primaire [1].

373. Les fours électriques à arc ne sont pas considérés comme une source importante de noir de carbone [10], [11] et [13]. Les données de surveillance sont très rares.

3. MTD et niveaux d'émission associés

a) SO_2

374. En ce qui concerne les *ateliers d'agglomération*, les émissions de SO_2 peuvent être réduites par un abaissement de la teneur en soufre (utilisation de poussier de coke et de minerai de fer à faible teneur en soufre); on peut ainsi atteindre des concentrations inférieures à 500 mg SO_2/Nm^3. Les émissions de SO_2 provenant des ateliers d'agglomération peuvent aussi être atténuées par des systèmes par voie sèche ou semi-sèche combinés à des dépoussiéreurs à haut rendement (dans le cadre d'un dispositif de lutte contre des polluants multiples).

375. La désulfuration des effluents gazeux par voie humide permet de réduire les émissions de SO_2 de plus de 98 % et d'atteindre des concentrations de moins de 100 mg SO_2/Nm^3. En raison de son coût élevé, cette technique ne devrait être employée que dans des situations où les normes de contrôle environnemental risquent de ne pas être respectées [1] et où la fiabilité opérationnelle (taux de disponibilité de l'équipement) est incertaine.

376. Dans les *installations de production de pellets*, la poussière, le SO_2 et d'autres polluants peuvent être extraits des effluents gazeux produits au niveau de la chaîne d'induration par lavage ou désulfuration par voie semi-sèche, puis dépoussiérage (à savoir absorbeur GSA (*gas suspension absorber*) ou tout dispositif d'efficacité équivalente [1].

377. Des adsorbants comme la chaux éteinte, l'oxyde de calcium ou des cendres volantes à forte teneur en oxyde de calcium peuvent réduire davantage les émissions de SO_2 lorsqu'ils sont injectés dans l'échappement des gaz, avant filtrage [9].

Tableau 30
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD pour la sidérurgie

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés aux MTD*[a] *mg/Nm³ (ou kg/t)*	*Remarques*
Ateliers d'agglomération [1]	<500 (1)	500 selon le BREF
Installations de production de pellets [1]	<20	SO_2 sous forme de $SO_{2;}$ au moyen d'un système dont le rendement d'extraction est supérieur à 80 %
Hauts fourneaux: fours Cowper (appareils régénérateurs de vent chaud)	<200	Avec une teneur en oxygène de 3 % Dans le rapport de mise en œuvre de la PRIP par l'Allemagne (2006), une plage de 60 mg/m³ à 210 mg/m³ est signalée dans les 5e et 95e percentiles sur des moyennes d'une demi-heure calculées à partir de mesures en continu

[a] Les niveaux d'émission devraient pouvoir être réalisés sur une longue période dans des conditions normales d'exploitation et de charge. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

b) NO_x

378. En ce qui concerne les *ateliers d'agglomération*, les émissions de NO_x peuvent être atténuées par le recyclage des effluents gazeux, leur dénitrification au moyen d'un procédé régénérateur au charbon actif ou une réduction catalytique sélective. Ces deux dernières options s'appliquent à la réduction des émissions de NO_x, mais n'ont toujours pas été pleinement appliquées dans la région de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, en raison de leur coût élevé (actuellement, la réduction catalytique sélective est testée dans une usine sidérurgique pilote d'Europe) [1].

379. Dans les *installations de production de pellets*, l'optimisation de la conception d'usines en vue de récupérer la chaleur sensible et d'émettre peu de NO_x au niveau de toutes les zones de chauffe (durcissement, le cas échéant, et séchage au niveau des broyeurs), sont considérées comme une MTD [1]. Sur une installation de production de pellets, des émissions de NO_x de 175 g/t de pellets ont été réalisées grâce à des mesures intégrées au procédé, c'est-à-dire en associant faible consommation d'énergie, teneur réduite en azote du combustible (charbon et pétrole) et limitation de l'excès d'oxygène [5], [6].

380. L'utilisation de brûleurs modernes peut réduire les émissions de NO_x dans les *fourneaux Cowper.*

Tableau 31
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD pour la sidérurgie

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés aux MTD*[a] *mg/Nm^3 (ou kg/t)*	*Remarques*
Hauts fourneaux [1]	20-120	Avec une teneur en oxygène de 3 %
		Dans le rapport de mise en œuvre de la PRIP par l'Allemagne (2006), une plage de 20 mg/m^3 à 120 mg/m^3 est signalée dans les 5^e et 95^e percentiles sur des moyennes d'une demi-heure calculées à partir de mesures en continu
Ateliers d'agglomération[a] [6]	300-400	Conditions normales de fonctionnement
	100-120[b]	RCS[c]

[a] Les niveaux d'émission devraient pouvoir être réalisés sur une longue période dans des conditions normales d'exploitation et de charge. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] Chiffre fondé sur des données en provenance du Japon et de Taiwan.

[c] En raison de son coût élevé, la dénitrification des effluents gazeux n'est pas pratiquée, sauf lorsque les normes de qualité environnementale sont susceptibles de ne pas être respectées.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

381. Dans la mesure du possible, il convient d'utiliser des filtres en tissu pour réduire la teneur en poussières à moins de 20 mg/m^3 (moyenne horaire). Si cela est impossible (à cause de la tendance des filtres à se boucher ou à prendre feu), des épurateurs électrostatiques perfectionnés ou à haute performance peuvent être utilisés, ce qui réduit les poussières à 50 mg/m^3. De nombreuses applications des filtres en tissu permettent d'atteindre des valeurs bien plus basses [4], [7].

382. Les *ateliers d'agglomération* sont les éléments qui produisent le plus de poussières dans les aciéries intégrées, en raison de la manipulation des matériaux et de la réaction d'agglomération sur la chaîne.

383. La poussière (avec les PCDD et les PCDF) est, en outre, le principal polluant des ateliers d'agglomération; le dépoussiérage des effluents gazeux est considéré comme une MTD, par exemple par le biais de précipitateurs électrostatiques élaborés (à électrode mobile, à impulsions, à fonctionnement sous haute tension), par l'association d'un précipitateur électrostatique et d'un filtre en tissu ou par un dépoussiérage (précipitateur électrostatique ou cyclone) plus un dépoussiérage par voie humide à haute tension. La présence de particules fines, principalement des chlorures alcalins et de plomb, risque de limiter le rendement des précipitateurs.

384. Sont également considérées comme des MTD les mesures de confinement ou l'utilisation de hottes d'aspiration, le cas échéant, avec réduction des émissions, sur les opérations au niveau des chaînes d'agglomération, mais aussi les pratiques qui minimisent les émissions fugaces ne relevant pas des mesures de confinement ni de l'utilisation de hottes aspirantes. Pour réduire la poussière émise lors de la manutention du matériel à l'intérieur ou de réserves couvertes, il faut autant que possible manipuler les matériaux de façon simple et linéaire. Pour le stockage de la poudre en vrac ses points de transfert et des silos confinés peuvent aussi réduire les émissions au niveau de ces matériaux (les émissions fugaces de poussier de charbon sont un problème important, en l'occurrence) [1], [4], [9].

385. Les données de surveillance sur les émissions de noir de carbone sont rares. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites ci-dessus pour la poussière, sous réserve qu'elles soient efficaces sur les particules concernées.

386. Pour plus d'informations sur les *installations de production de pellets*, voir plus haut (chap. VII, sect. G-3(a)).

387. Pour le traitement du gaz de *haut fourneau*, un dépoussiérage efficace, au moyen de techniques de séparation par voie sèche (par exemple à l'aide d'un déflecteur) est considéré comme une MTD pour l'élimination et le recyclage des particules grossières. Par conséquent, les particules fines sont éliminées au moyen d'un épurateur ou d'un précipitateur électrostatique par voie humide, ou tout autre procédé aussi performant. Lors du dépoussiérage des éléments de moulerie, les émissions sont réduites par le recouvrement des rouleurs et l'évacuation des sources d'émissions (trous de coulée, rouleurs, poches torpilles, postes de charge, écumoires, siphons) et par l'utilisation de filtres en tissu ou de précipitateurs électrostatiques [1].

388. Les données de surveillance sur les émissions de noir de carbone sont rares. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites ci-dessus pour la poussière, sous réserve qu'elles agissent sur la taille des particules concernées.

389. Pour l'*aciérie à l'oxygène (affinage et moulage)*, y compris le prétraitement de la fonte liquide, l'oxydation dans le convertisseur basique à oxygène, un second traitement métallurgique et une coulée en continu (y compris les procédés de transfert de la fonte, la désulfuration et le décrassage), est considérée comme MTD toute mesure visant à évacuer, puis à épurer les particules, par un filtre en tissu ou un précipitateur électrostatique. La réduction des émissions de poussières passe par l'utilisation d'une hotte à cyclone pour le dépoussiérage secondaire.

390. La récupération du gaz dans un convertisseur basique à oxygène et le dépoussiérage préalable sont considérés comme des MTD s'ils font appel à un procédé sans combustion et à précipitateur électrostatique par voie sèche (installations nouvelles et existantes) ou de lavage (installations existantes). Le dépoussiérage secondaire est considéré comme une MTD si l'évacuation aux stades du chargement et du piquage est performante, et si elle est suivie d'une épuration par un filtre en tissu, un précipitateur électrostatique ou tout autre procédé aussi performant. Les poussières doivent aussi être évacuées de façon efficace pendant la manipulation de la fonte liquide et la métallurgie secondaire, l'épuration étant effectuée par la suite au moyen d'un filtre en tissu ou de tout autre procédé aussi performant [1].

391. Il n'y a pas d'émissions de noir de carbone, selon le document de référence [12]. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait au moins en partie au moyen des MTD décrites ci-dessus pour la poussière, sous réserve qu'elles agissent sur les particules concernées.

392. En ce qui concerne *l'aciérie à l'électricité (affinage et moulage)*, est considéré comme MTD tout procédé de collecte efficace des poussières par extraction directe des effluents gazeux (4^{e} ou 2^{e} trou de coulée) associée à des systèmes de hotte ou de niche ou une capacité totale d'évacuation de 98 % (émissions primaires et secondaires) du bâtiment. Le dépoussiérage des gaz constitue une MTD lorsqu'il est réalisé par des filtres en tissu bien conçus, capables de réduire les émissions de poussières à 5 mg/Nm^3 pour les nouvelles installations et à 15 mg/Nm^3 pour les installations existantes, ces chiffres correspondant tous les deux à des valeurs moyennes journalières [1].

393. Il n'y a pas d'émissions de noir de carbone, selon le document de référence [12]. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites ci-dessus pour la poussière, sous réserve qu'elles agissent sur les particules concernées.

Tableau 32
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD pour la sidérurgie

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés aux MTD*[a] *mg/Nm³ (ou kg/t)*	*Remarques*
Ateliers d'agglomération	<50 [1]	Ateliers d'agglomération existants équipés de précipitateurs perfectionnés
	10-20 [1] (0,04-0,12) [4]	Filtres en tissu
Installations de production de pellets	10 [1] (0,04) [4]	Système ayant un rendement d'épuration >95 %
Hauts fourneaux	<10 [1]	Avec une teneur en oxygène de 3 %
	(0,035-0,05) [4]	kg/t de fonte brute
Hauts fourneaux: émissions fugaces (intégralement captées)	(0,005-0,015) [1]	L'EPA (1998, [8]) signale les parts suivantes de PM1 dans les poussières: moulerie (type ancien): 15 %; four avec évacuation locale: 9 %; désulfuration de la fonte liquide: 2 %
Aciérie à l'oxygène (affinage et moulage)	5-15 [1] 20-30 [1] (0,035-0,07) [4]	Filtres en tissu Précipitateur électrostatique L'EPA (1998, [8]) signale les parts suivantes de PM1 dans les poussières: chargement (à la source) 12 %; piquage (à la source) 11 %
Aciérie électrique (affinage et moulage)	<5[b] [1]; (0,06)[c] [4] <15[b] [1]; (0,12)[c] [4]	Nouvelles installations Installations existantes L'EPA (1998, [8]) signale les parts suivantes de PM1 dans les poussières émises par les fours à arc: fusion et affinage (acier non allié, non contrôlé): 23 %

Note: La Société financière internationale [9] recommande un niveau maximal d'émissions de poussières de 50 mg/Nm³ pour toutes les opérations dans les aciéries intégrées et de 20 mg/Nm³ en présence de métaux toxiques.

Dans le BREF sur l'industrie sidérurgique, on souligne que seuls les rejets atmosphériques des fours électriques à arc et les données concernant les hauts fourneaux sont des moyennes journalières, alors que tous les autres niveaux d'émission associés aux MTD sont exprimés dans des conditions normales de fonctionnement (c'est-à-dire en dehors des périodes de démarrage et de fermeture) et de conception, et sont calculés sur des moyennes couvrant de longues périodes de temps (aucun consensus n'a toutefois encore été trouvé au sujet de cette définition).

[a] Les niveaux d'émission devraient pouvoir être réalisés sur une longue période dans des conditions normales d'exploitation et de charge. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] Moyenne journalière.

[c] Indicateur de performance recommandé.

d) COV

394. Les composés organiques volatils (COV) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) sont émis à différents stades du procédé métallurgique. Des effluents gazeux qui en contiennent sont produits lors de la pelletisation et de l'agglomération, en raison de la présence de composés carbonés dans les combustibles solides, comme la calamine, utilisés dans ces procédés [9].

395. L'industrie sidérurgique n'étant pas considérée comme émettant des quantités importantes de COV, aucune information supplémentaire n'existe concernant les niveaux d'émission associés aux MTD.

e) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre

396. Pour toutes les techniques de réduction des émissions mentionnées, il convient d'examiner le transfert de la pollution d'un milieu à un autre, ainsi que tous les effets sur l'environnement et les améliorations possibles dans ce domaine. Ainsi, des efforts individuels visant à prévenir, à réduire ou à empêcher la production de polluants peut accroître la consommation d'énergie ou le volume des résidus du traitement des déchets ou des eaux usées.

397. Plus particulièrement, le dépoussiérage au moyen d'un précipitateur électrostatique ou d'un filtre en tissu augmente le flux de déchets solides, ces derniers pouvant parfois être recyclés dans le procédé. Si les filtres en tissu sont préenduits par injection de chaux éteinte, il est également possible de diminuer de façon importante la présence de certaines molécules acides (HCl, HF). Associés à l'injection de coke de lignite ou de charbon actif, les filtres en tissu contribuent aussi à réduire les émissions de PCDD et de PCDF de façon importante (à moins de 0,1 ng/m^3 à 0,5 ng/m^3). La minimisation des émissions va de pair avec celle des métaux lourds, sauf ceux en phase gazeuse comme le mercure [1], [2].

4. Nouvelles techniques

398. Des techniques de réduction et de fonte directe, en cours de développement (voir la description des techniques de production dans la présente partie) pourraient réduire les besoins à venir en ateliers d'agglomération et en hauts fourneaux.

399. L'utilisation de nouveaux réactifs dans la désulfuration du métal en fusion pourrait entraîner une baisse des émissions de poussières et modifier (améliorer) la composition de la poussière émise. Cette technique est en cours de développement. Plusieurs techniques de moussage, au stade du prétraitement de la fonte brute et de l'affinage de l'acier, existent déjà: elles consistent en une absorption de la poussière produite par le traitement du métal en fusion [4].

400. Pour les fours électriques à arc, des filtres à manches intermétalliques associent le filtrage à la catalyse, ce qui permet de réduire les émissions de poussières et des polluants qu'elles contiennent [2]. En outre, de nouveaux types de fours ont fait leur apparition, qui pourraient être produits à l'échelle industrielle et qui présentent un certain nombre d'avantages en ce qui concerne les émissions de métaux lourds et de poussières. Ces fours sont les suivants:

401. Four Comelt (préchauffage intégré de la ferraille en cuve et collecte complète des effluents gazeux à chaque phase d'exploitation),

402. Four Contiarc (réduction considérable des volumes d'effluents gazeux et de poussières, tandis que l'enceinte étanche du four capte toutes les émissions primaires et presque toutes les émissions secondaires).

5. Coût des méthodes de réduction des émissions

Tableau 33
Exemples de coûts d'investissement et de coûts d'exploitation liés aux techniques de réduction des émissions de NO_x [6]

Caractéristiques de l'installation de référence	*Techniques antiémissions*	*Investissements*[a] *(€)*	*Coûts d'exploitation*[b] *(€/an)*	*Débit massique réduit (Mg NO_x/an)*
Source: document d'orientation précédent				
Sidérurgie: ateliers d'agglomération				
Machines à grille roulante; Combustible: poussier de coke; Production: 12 000 Mg/jour; Durée de fonctionnement: 8 400 h/an	Recyclage des gaz de combustion	5 000 000	-200 000[a]	2 000
	RCS	50 000 000	5 300 000	3 200

[a] En raison de la consommation de poussier de coke.

Références de la section G du chapitre VII

[1] Commission européenne. 2001: «Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel», disponible à l'adresse http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

[2] Commission européenne. 2008. Projet de rapport «Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel», disponible à l'adresse http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

[3] IIASA (Institut international pour l'analyse des systèmes appliqués) 2004: Rapport intermédiaire IR-04-079 «Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control».

[4] Kraus, K., S. Wenzel, G. Howland, U. Kutschera, S. Hlawiczka, A. P. Weem et C. French (2006): «Assessment of technological developments: Best available techniques (BAT) and limit values». Rapport présenté à l'Équipe spéciale des métaux lourds de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (Commission économique pour l'Europe des Nations Unies).

[5] Conseil des ministres des pays nordiques, 2005: «BAT examples from the Nordic iron and steel industry», disponible à l'adresse http://www.norden.org/pub/miljo/miljo/uk/TN2006509.pdf.

[6] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, 1999. «Projet de document d'orientation sur les techniques de réduction et les instruments économiques concernant le Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique».

[7] SFI 2007. Société financière internationale (Groupe Banque mondiale): «Environmental, Health, and Safety Guidelines for Base Metal Smelting and Refining».

[8] EPA (États-Unis) 1998: «Compilation of air pollutant emission factors», cinquième édition: EPA AP-42. Agence américaine de protection de l'environnement.

[9] SFI 2007. Société financière internationale (Groupe Banque mondiale): «Environmental, Health, and Safety Guidelines for Integrated Steel Mills».

[10] PNUE/MMO − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[11] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone. Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

[12] Kupiainen, K. et Klimont, Z., 2004. «Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control», IASA, rapport intermédiaire IR-04-79, Schlossplatz 1 A-2361 Laxenburg (Autriche).

[13] EPA − Rapport au Congrès américain sur le noir de carbone − mars 2012.

H. Métaux ferreux, y compris les fonderies de fonte

1. Objet

403. La présente partie englobe les fonderies de fonte (pour la coulée continue et en lingotière, voir le chapitre «Sidérurgie») d'une capacité de production supérieure à 20 t/j, ainsi que les installations de «formage à chaud et à froid», comprenant le laminage à chaud, le laminage à froid, le tréfilage, les installations d'«étendage en continu», dont le placage par immersion à chaud et l'activité de revêtement de fil, et les installations de «galvanisation par lots» (ou galvanisation discontinue) [1], [2].

2. Sources d'émissions

a) Fonderies

404. Les fonderies fondent des métaux et des alliages ferreux (seuls les métaux ferreux sont abordés dans la présente partie) et les refaçonnent en produits sous leur forme finie ou presque par la coulée et la solidification du métal ou de l'alliage en fusion dans un moule. Les flux et les combustibles sont les mêmes que dans le traitement de la fonte brute. Cette industrie se compose d'une large gamme d'installations, dont la plupart prennent en charge les étapes suivantes du procédé: fusion et traitement des métaux, préparation de moules et de noyaux, coulée du métal en fusion dans le moule, refroidissement en vue de la solidification et démoulage, et finition du produit moulé brut. Les émissions dans l'air représentent le principal problème pour l'environnement (poussières, composés acidifiants, produits de combustion incomplète et composés organiques volatils) [2], [3].

b) Formage à chaud et à froid

405. Dans le *laminage à chaud*, la taille, la forme et les propriétés métallurgiques du métal sont modifiées par compression répétée du métal chaud (1 050 °C à 1 300 °C) entre des rouleaux. Le matériau de départ est de forme variable − lingots, brames, billettes, ébauches de profilés − en fonction du produit souhaité. Les produits ainsi obtenus sont classés en produits plats et produits longs, selon leur forme. La production sur laminoirs à chaud comprend en général les étapes suivantes: conditionnement de la matière première (décriquage, meulage); chauffage à la température de laminage; décalaminage; laminage et finissage. Les principales incidences environnementales du laminage à chaud sont les rejets atmosphériques, en particulier de NO_x et de SO_x, et la consommation énergétique des fours.

406. Dans le *laminage à froid*, les propriétés des produits issus du laminage à chaud (épaisseur, caractéristiques mécaniques et techniques) sont modifiées par compression entre des cylindres, sans chauffage préalable du matériau de départ. Les étapes suivantes sont mises en œuvre pour les aciers alliés et faiblement alliés (acier au carbone): décapage; laminage d'amincissement; recuit ou traitement thermique destiné à régénérer la structure cristalline; laminage de dressage, puis finissage. Dans le cas des aciers fortement alliés (aciers inoxydables), le processus comporte des étapes supplémentaires par rapport aux aciers au carbone. Les principales étapes sont les suivantes: recuit et décapage à chaud; laminage à froid; recuit et décapage final (dit aussi recuit blanc); skin-pass et finissage. Les principales incidences environnementales du laminage à froid sont les suivantes: déchets acides et eaux résiduaires; fumées de dégraissage, émissions de brouillards acides et huileux; déchets huileux et eaux résiduaires; poussières issues notamment du décalaminage et du déroulage; NO_x provenant du décapage aux acides mixtes et effluents gazeux des fours.

407. Le *tréfilage* est l'opération par laquelle le fil machine et le fil sont étirés dans des cônes percés de section inférieure, appelés filières. Une installation d'étirage typique comprend les lignes suivantes: prétraitement (décalaminage, décapage), étirage à sec ou par voie humide, traitement thermique et finissage. Les principales incidences environnementales du tréfilage sont les suivantes: rejets atmosphériques dus au décapage, déchets acides et eaux résiduaires; poussières fugaces de savon, lubrifiants usés et effluents, effluents gazeux des fours [1].

c) Revêtement par trempage à chaud en continu

408. Dans le procédé de revêtement par trempage à chaud, la tôle ou le fil est passé en continu dans un métal fondu. Une réaction d'alliage a lieu entre les deux métaux, ce qui assure une bonne liaison entre le revêtement et le substrat. Les lignes de revêtement continu des tôles comprennent les étapes suivantes: nettoyage des surfaces par voie chimique ou thermique, traitement thermique, immersion dans un bain de métal fondu et traitement de finissage. Les unités de galvanisation de fils en continu comportent les étapes suivantes: décapage, fluxage, galvanisation, finissage. Les principales incidences environnementales du revêtement par trempage à chaud sont les émissions atmosphériques, les déchets et les eaux résiduaires acides, et la consommation énergétique des fours [1].

d) Galvanisation discontinue (ou par lots)

409. La galvanisation par trempage à chaud est un traitement anticorrosion qui consiste à protéger, grâce à un revêtement en zinc, les éléments en fer et en acier. Le travail à façon est le plus répandu dans ce sous-secteur: une grande variété de matériaux de départ est traitée pour différents clients. La galvanisation par lots (ou discontinue) comprend habituellement les étapes suivantes: dégraissage, décapage, fluxage, galvanisation, finissage. Les principales incidences environnementales de ce procédé sont les rejets atmosphériques (acide chlorhydrique, poussières) les solutions usées et les déchets huileux, et les résidus de zinc [1].

3. MTD et niveaux d'émission associés

a) SO_2

410. Dans les fours de réchauffage et de traitement thermique des installations de *laminage à chaud*, le choix judicieux du combustible et le recours à l'automatisation ou à la conduite du four pour optimiser les conditions de combustion sont considérés comme des MTD. Des gaz résiduaires sont fréquemment employés dans les fours de réchauffage au lieu de combustibles fossiles. Enfin, les combustibles à faible teneur en soufre sont courants [1].

Tableau 34
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de métaux ferreux

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés aux MTD*[a] *mg/Nm^3 (ou kg/t)*	*Commentaires*
Fonderies: fusion de métaux ferreux [2]	20-100	Cubilot à air chaud
	100-400	Cubilot à air froid
	70-130	Four à arc rotatif
Fusion et coulée en moules perdus (installations de régénération) [2]	120	
Laminage à chaud: fours de réchauffage et de traitement thermique [1]	100	Gaz naturel
	400	Autres gaz, purs ou mixtes
	1 700[b]	Fioul contenant moins de 1 % de soufre
Laminage à froid: décapage au H_2SO_4	8-20	Récupération de l'acide libre par cristallisation; systèmes de purification de l'air dans l'usine de récupération
Laminage à froid: décapage à l'acide chlorhydrique [1]	50-100	Régénération de l'acide par grillage avec pulvérisation ou lit fluidisé (ou procédé équivalent)

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] Avis divergents dans le BREF sur la question de savoir si une teneur en soufre inférieure à 1 % dans le fioul constitue une MTD ou si des mesures supplémentaires de réduction du SO_2 sont nécessaires.

b) NO_x

411. En ce qui concerne les fours de réchauffage et de traitement thermique des installations de *laminage à chaud*, l'utilisation de brûleurs de nouvelle génération, dégageant peu de NO_x, est considérée comme une MTD[2].

412. Pour le décapage aux acides mixtes dans les installations de *laminage à froid*, il est considéré comme une MTD de piéger l'acide libre (par échange d'ions ou dialyse en dérivation) ou de le régénérer par grillage avec pulvérisation ou par évaporation. En général, pour le décapage aux acides mixtes, il convient d'utiliser un équipement sous enceinte ou doté de hottes aspirantes et de dépoussiéreurs, et, pour l'acier inoxydable, d'autres mesures doivent être prises, comme l'épuration à l'H_2O_2, à l'urée, etc. ou l'élimination des NO_x par ajout d'H_2O_2 ou d'urée au bain de décapage, ou par réduction catalytique sélective. Une autre solution consiste à mettre en œuvre un décapage sans acide nitrique, dans un équipement sous enceinte ou sous hottes avec épuration. Pour les fours de recuit, les meilleures techniques disponibles pour réduire les émissions sont les brûleurs dégageant peu de NO_x pour le recuit en continu, le préchauffage de l'air de combustion par des brûleurs à régénération ou à récupération, ou encore le préchauffage du matériau par les gaz résiduaires.

[2] Avis divergents dans le BREF 2001 sur la question de savoir si la réduction catalytique sélective et la réduction non catalytique sélective sont des MTD dans le réchauffage et le traitement thermique des installations de laminage à chaud.

413. Pour le *revêtement par trempage à chaud en continu*, l'utilisation de brûleurs dégageant peu de NO_x, de brûleurs à régénération et de brûleurs à récupération pour les fours de traitement thermique et la galvanisation alliée constitue une MTD. Pour les fours de traitement thermique, est également considérée comme une MTD le fait de recourir au préchauffage de la bande et à la production de vapeur pour récupérer la chaleur des effluents gazeux, dans le cas où de la vapeur est nécessaire [1].

Tableau 35
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la production de métaux ferreux

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés aux MTD[a] mg/Nm³ (ou kg/t)*	*Commentaires*
Fonderies: fusion de métaux ferreux [2]	10-200	Cubilot à air chaud
	20-70	Cubilot à air froid
	160-400	Cubilot sans coke
	10-50	Four électrique à arc
	50-250	Four à arc rotatif
Fusion et coulée en moules perdus (installations de régénération) [2]	150	
Laminage à chaud: fours de réchauffage et de traitement thermique [1]	390	Combustible: gaz de haut fourneau; brûleurs dégageant peu de NO_x
	1,100	Combustible: gaz de coke, fioul lourd; brûleurs dégageant peu de NO_x
	250-400	Combustible: gaz naturel, gazole; brûleurs dégageant peu de NO_x 3 % O_2 pour le gaz, 6 % O_2 pour le combustible liquide
Laminage à chaud: fours de réchauffage et de traitement thermique à RCS[b] et à RNCS[b] [1]	320	RCS[b]
	205	RNCS[b], présence résiduelle d'ammoniac (5 mg/Nm³) 3 % O_2 pour le gaz, 6 % O_2 pour le combustible liquide
Laminage à froid: décapage à l'acide chlorhydrique [1]	300-370	
Laminage à froid: décapage aux acides mixtes [1]	200-650	
	200	Régénération de l'acide par grillage avec pulvérisation
	100	Régénération de l'acide par évaporation
Laminage à froid: fours de recuit [1]	250-400	Sans préchauffage de l'air, 3 % O_2, réduction de l'ordre de 60 % du NO_x
Revêtement par trempage à chaud: fours de traitement thermique et galvanisage allié [1]	250-400	Sans préchauffage de l'air, 3 % O_2

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] Avis divergents dans le BREF sur la question de savoir si la réduction catalytique sélective et la réduction non catalytique sélective sont des MTD (une installation seulement de chaque type existe en Europe).

[c] Des niveaux d'émission sont publiés pour les seules usines de réduction catalytique sélective (four à longerons mobiles) et de réduction non catalytique sélective existantes (four à longerons mobiles).

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

414. Dans le procédé de *fonderie*, un problème clé en matière de réduction des émissions concerne non seulement le traitement des écoulements des gaz d'échappement et des effluents gazeux, mais également leur captage. La MTD consiste à minimiser les émissions fugaces provenant de différentes sources non contenues dans la chaîne de procédé, par exemple au niveau de l'ouverture ou du piquage des fours, par l'optimisation du captage et du nettoyage, par le nettoyage des effluents gazeux par collecte ultérieure, et par refroidissement et élimination des poussières. Pour la fusion de fonte en cubilot, la meilleure technique de réduction des poussières consiste à améliorer l'efficacité thermique et à utiliser des filtres en tissu ou des systèmes d'épuration par voie humide.

415. Pour l'exploitation de fours à induction, la MTD consiste entre autres à utiliser une hotte, un bec d'extraction ou un couvercle d'extraction sur chaque four à induction pour capter les effluents gazeux, puis à épurer ces effluents par voie sèche [2].

416. Les MTD s'appliquent également aux techniques de finition dégageant de la poussière et aux techniques de traitement thermique. Pour le découpage par abrasion, le grenaillage et l'ébavurage, les MTD consistent à recueillir et à traiter les gaz de rejet des opérations de finition à l'aide d'un système humide ou sec. En ce qui concerne le traitement thermique, il s'agit d'utiliser des combustibles propres (gaz naturel ou combustible à faible teneur en soufre), d'automatiser la conduite des fours et la commande des brûleurs/réchauffeurs, et de capter et d'évacuer les gaz d'échappement produits par les fours.

417. Pour le *laminage à chaud*, sont considérées comme des MTD l'utilisation d'enceintes pour le décriquage automatique et la réduction des poussières par filtration sur tissu ou dépoussiéreur électrostatique lorsque les filtres en tissu ne peuvent être mis en œuvre du fait du fort taux d'humidité des fumées. Pour les opérations de meulage dans les installations de laminage à chaud, les MTD consistent à prévoir des enceintes pour le meulage automatique, des cabines spéciales avec hotte pour le meulage manuel et le dépoussiérage par des filtres en tissu. Dans les lignes de finissage, l'utilisation de systèmes d'extraction avec traitement de l'air extrait sur des filtres en tissu et le recyclage de la poussière séparée sont considérés comme des MTD. Pour le nivelage et le soudage, des hottes aspirantes et le dépoussiérage ultérieur sur filtres en tissu sont considérés comme des MTD.

418. Pour le *laminage à froid*, est considérée comme une MTD l'utilisation de hottes d'extraction et le dépoussiérage sur filtre en tissu dans les opérations de nivelage et de soudage.

419. Pour l'*activité de revêtement de fil*, la MTD consiste à prendre des mesures de bon entretien[3] pour le trempage à chaud [1].

420. Les fonderies de fonte et d'acier ne sont pas considérées comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [7] et [8]. Les données de surveillance sont très rares. Le document de référence [9] ne propose aucun facteur d'émission. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites ci-dessous pour la poussière, sous réserve qu'elles agissent sur les particules concernées.

[3] Voir document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Transformation des métaux ferreux, 2001, chap. B.4

Tableau 36
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans la production de métaux ferreux

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés aux MTD[a] mg/Nm³ (ou kg/t)*	*Commentaires*
Fonderies de fonte [2]	5-20	Moyenne journalière, conditions normales
Fonderies de fonte: fours à induction [2]	(0,2)	
Laminage à chaud: décriquage automatique [1]	5/20[b] 10/20-50[b]	Filtres en tissu Précipitateur électrostatique, lorsque les filtres en tissu ne peuvent être mis en œuvre du fait du fort taux d'humidité des fumées
Laminage à chaud: meulage [1]	5/20[b]	
Laminage à chaud: lignes de finissage, nivelage et soudage [1]	5/20[b]	
Laminage à froid: déroulage [1]	5/20[b]	
Laminage à froid: décapage à l'acide chlorhydrique [1]	20-50	
Laminage à froid: nivelage et soudage [1]	5/20[b]	
Activité de revêtement de fil: trempage à chaud [1]	10	
Bains de galvanisation [4]	15	

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] Avis divergents dans le BREF 2001.

d) COV

421. En fonderie, lors de la fabrication des moules et des noyaux, divers additifs sont utilisés pour lier le sable. Il s'agit de composés organiques et inorganiques volatils (solvants, BTEX, phénol, formaldéhyde, etc.): des composés organiques sont décomposés thermiquement au cours de la coulée du métal et sont émis au cours du démoulage et du refroidissement. Comme le procédé implique différentes sources d'émissions (pièces moulées chaudes, sable, métal chaud, etc.), le problème lié à la réduction des émissions est non seulement de traiter les gaz d'échappement et de rejet, mais aussi de les capter [5].

422. Les usines de laminage à froid peuvent émettre des hydrocarbures et des vapeurs d'huile. Des systèmes perfectionnés de captage de gouttelettes grasses, comme des filtres en tissu préenduits, agissent sur ces émissions [6].

Tableau 37
Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD dans le traitement de métaux ferreux

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés aux MTD*[a] *mg/Nm³ (ou kg/t)*	*Commentaires*
Fonderies: fusion de métaux ferreux	10-20	Cubilot à vent froid

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

e) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre

423. Pour toutes les techniques d'atténuation des émissions mentionnées, il convient d'examiner le transfert de la pollution d'un milieu à un autre et tous les effets sur l'environnement et les améliorations possibles dans ce domaine. Ainsi, des efforts individuels visant à prévenir, à réduire ou à empêcher la production de produits polluants peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie ou de la production de résidus du traitement des déchets ou des eaux usées.

4. Nouvelles techniques

424. Pour le laminage à chaud et à froid, le brûleur sans flamme ou à flamme diffuse permet un recyclage maximal des effluents gazeux et a permis de réaliser un niveau d'émission de NO_x de 100 mg/m^3; toutefois, ce dispositif n'est pas mis en œuvre à l'échelle industrielle. Le brûleur à ultra-bas NO_x vise à réduire les émissions de ce composé chimique (mélange complet du combustible et de l'air de combustion dans le four, d'où aucun ancrage de la flamme dans le four). L'autre procédé est l'injection d'eau (diminution de la température et donc de la formation de NO_x thermique) [1].

5. Coût des méthodes de réduction

Tableau 38
Coûts de différentes techniques de réduction du NO_x pour un four de 50 MW [1]

Technique	*Plage typique de réduction des NO_x*	*Coût d'investissement (milliers de GBP)*	*Coût d'exploitation (GBP/GJ)*	*Coût total de la technique (milliers de GBP par an pour un four de 50 MW)*		
				2 000 h/an	*4 000 h/an*	*8 000 h/an*
Brûleur dégageant peu de NO_x	Jusqu'à 97 %	328	0,0	53,7	53,7	53,7
Limitation du préchauffage de l'air		n.d.	0,0257 pour une réduction des NO_x de 50 %	92,5	185	370
Recyclage des fumées	Jusqu'à 93 % (44,74 15 % des fumées recyclées)	75,6 (631)*	0,098 (0,072)*	47,6 (129)*	82,9 (154)*	153 (206)*
RCS	Jusqu'à 95 % (en général 70 % à 90 %)	1,100-2,530	0,0722	205-438	231-464	283-516
RNCS (avec NH_3)	Jusqu'à 85 % (en général 50 % à 60 %)	350-650	0,0361	69,9-119	82,9-132	109-158

Notes:

Les montants sont en livres sterling (GBP) de 1996.

n.d.: Non disponible et pour les besoins du calcul, supposés limités par rapport au coût d'exploitation.

* Les chiffres entre parenthèses correspondent aux cas où il faudrait augmenter la capacité des brûleurs et des régénérateurs.

NB1: Les chiffres relatifs aux frais du recyclage des fumées sont tous basés sur 15 % de fumées recyclées.

Pénalité estimée de consommation de combustible = 3,2 %.

Augmentation des coûts de fonctionnement des ventilateurs (brûleurs à régénération) = 1,6 % des coûts de combustible (0,32 % en cas d'augmentation de la capacité des brûleurs et des régénérateurs).

NB2: Les chiffres relatifs aux coûts de l'injection d'eau sont tous basés sur 15 kg (eau)/GJ (combustible):

Pénalité estimée de consommation de combustible = 11,8 %.

Coût de l'eau non inclus.

Références de la section H du chapitre VII

[1] Commission européenne, 2001: «Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: transformation des métaux ferreux», disponible à l'adresse http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

[2] Commission européenne, 2005: «Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: forges et fonderies», disponible à l'adresse http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

[3] IIASA 2004. Rapport intermédiaire IR-04-079, «Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control».

[4] DEFRA 2006: «Sector Guidance Note IPPC SG5–Secretary of State's Guidance for A2 Activities in the Galvanising Sector», disponible à l'adresse http://www.defra.gov.uk.

[5] SFI 2007. Société financière internationale (Groupe Banque mondiale): «Environmental, Health, and Safety Guidelines for Foundries».

[6] SFI 2007. Société financière internationale (Groupe Banque mondiale): «Environmental, Health, and Safety Guidelines for Integrated Steel Mills».

[7] PNUE/OMM − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[8] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone. Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

[9] Kupiainen, K. et Klimont, Z., 2004. «Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control». IASA, rapport intermédiaire IR-04-79, Schlossplatz 1 A-2361 Laxenburg (Autriche).

I. Industrie de transformation des métaux non ferreux[4]

1. Aluminium

a) Objet

425. Le sous-secteur de l'aluminium est le premier, par importance, de l'industrie des métaux non ferreux. Le présent chapitre couvre la production d'aluminium de première et de deuxième fusion.

b) Sources d'émissions

426. La production d'aluminium se divise en production primaire et production secondaire.

427. Dans la *production primaire*, l'alumine est la matière première transformée en aluminium. L'alumine provient de la bauxite extraite des mines. L'extraction d'alumine à partir de la bauxite se fait à la soude caustique, par un procédé normalisé à température et pression élevées. L'aluminium est ensuite produit par réduction électrolytique de l'alumine. Dans cette seconde étape, les gaz d'échappement sont collectés par un épurateur d'alumine à sec et par un système de traitement des poussières comme un précipitateur électrostatique ou des filtres à manche (en tissu). D'autres systèmes d'atténuation pourraient être envisagés, au cas par cas.

428. L'aluminium obtenu est ensuite affiné, pour en éliminer les impuretés, par injection de gaz dans le métal en fusion. Le choix du gaz dépend du type d'impuretés. Ces procédés sont une source de poussières, de SO_2 et de NO_x [1].

429. Dans la *production secondaire*, l'aluminium est produit à partir de déchets. Ces derniers sont parfois prétraités (séchage des tournures ou élimination thermique des revêtements) avant d'être transformés en aluminium.

430. Les matières premières sont fondues dans différents types de fours, principalement des fours tournants ou des fours réverbères. Le gaz naturel, qui ne contient pas de soufre, est le combustible le plus utilisé. L'aluminium obtenu est ensuite affiné dans un four de maintien, tout comme l'aluminium de première fusion. Ces procédés émettent des poussières, du SO_2 et des NO_x [1].

c) MTD et niveaux d'émission correspondants

431. Sauf indication contraire, les niveaux d'émission donnés dans le présent chapitre sont des moyennes journalières basées sur la surveillance en continu et la condition standard de 273 K, 101,3 kPa, à la teneur d'oxygène mesurée et sur gaz sec, sans dilution des gaz avec l'air.

i) SO_2

432. Dans la production d'aluminium de première fusion, les émissions de SO_2 dépendent de la teneur en soufre des anodes utilisées dans la réduction électrolytique. Dans la production secondaire et la précuisson des anodes de carbone utilisées dans la production primaire, du SO_2 peut se former à partir du soufre contenu dans le combustible. Autrement, les émissions de SO_2 ne sont généralement pas considérables. Toutefois, cette question mérite d'être examinée au cas par cas, en fonction de la situation et de l'environnement locaux.

[4] Les informations contenues dans cette partie proviennent du BREF sur l'industrie des métaux non ferreux [1], actuellement en cours de révision à l'Institut des études de prospective technologique, à Séville (IPTS).

433. Dans la production d'aluminium de première fusion, la meilleure technique de réduction des émissions de SO_2 est de limiter l'utilisation de combustible et d'anodes contenant du soufre, sous réserve de leur disponibilité sur le marché. Pour la production de deuxième fusion, des épurateurs alcalins par voie humide ou semi-sèche sont considérés comme des MTD pour réduire les émissions de SO_2 provenant du maintien en température et du dégazage du métal en fusion, du prétraitement et de la fusion.

434. L'applicabilité des systèmes de réduction du SO_2 doit être évaluée au cas par cas et tenir compte des caractéristiques techniques de l'installation, de son emplacement géographique et des conditions locales, les effets de transfert d'un milieu à un autre devant être pris en compte, en particulier.

Tableau 39
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans le secteur de l'aluminium[5] [1], [10]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Maintien en température et dégazage du métal en fusion (aluminium de première et de deuxième fusion)	Épurateur alcalin par voie humide ou semi-sèche (si nécessaire)	<50-200
Prétraitement et fusion des matières (aluminium de deuxième fusion)		<50-100
Concassage, mélangeage et cuisson (si l'on ajoute du soufre au stade du mélangeage ou en présence de combustible à haute teneur en soufre) [1]		<50-200

ii) NO_x

435. Dans la production d'aluminium, des NO_x sont émis au stade de la fonte des matières premières. Les émissions sont influencées par différents paramètres: type de combustible, type de combustion, ratio de l'air comburant et température de la flamme. Les brûleurs d'oxycombustion et les brûleurs dégageant peu de NO_x sont considérés comme des MTD de réduction des émissions de NO_x [1].

436. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission NO_x réalisables dans la production d'aluminium.

Tableau 40
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans le secteur de l'aluminium [1]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Fours utilisés dans la production primaire et secondaire d'aluminium et séchage des tournures	Brûleurs dégageant peu de NO_x	<100
	Brûleur d'oxycombustion	<100-300

[5] Les informations contenues dans le tableau 39 sont actuellement en cours de discussion dans le cadre de la révision du rapport BREF sur l'industrie des métaux non ferreux.

iii) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

437. Dans la production d'aluminium de première fusion, les émissions de poussières proviennent principalement de la production de l'alumine, de l'électrolyse, de la fusion et de la coulée. Cette source n'est pas considérée comme étant à l'origine d'émissions importantes de noir de carbone selon les documents de référence [15] et [16]. Les données sur ces émissions sont rares. Selon le document de référence [17], la production primaire ne dégage pas de noir de carbone, tandis que les installations secondaires dégagent 1,2 g de noir de carbone par tonne d'aluminium produit.

438. Les gaz émis au cours de la combustion nécessaire à la production d'alumine doivent être captés, un filtre en tissu ou un précipitateur électrostatique pouvant servir à l'élimination de l'alumine et des poussières calcinées. Les gaz captés par d'autres procédés doivent aussi être dépoussiérés, au moyen d'un filtre en tissu, par exemple. Un épurateur par voie humide peut aussi se révéler utile, en fonction de la situation locale [6].

439. Dans la production d'aluminium de deuxième fusion, des poussières sont émises aux stades du prétraitement, de la fusion et du maintien en température. Des filtres en céramique ou en tissu peuvent servir à extraire les poussières des gaz émis. Pour les autres procédés, les effluents gazeux doivent être d'abord captés, puis filtrés, au moyen d'un filtre en tissu le cas échéant [1]. Les poussières ainsi recueillies doivent être réutilisées si possible.

440. La réception, la manutention et le stockage des matériaux sont autant de sources d'émissions fugaces de poussières. Ces émissions doivent être réduites au minimum grâce à une manutention et une protection adaptées des matières premières contre le vent. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de poussières réalisables dans la production d'aluminium [3]. La technique privilégiée est le filtre en tissu ou en céramique. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites dans le tableau 41 pour la poussière, sous réserve que ces techniques soient également efficaces sur les particules fines.

Tableau 41
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans le secteur de l'aluminium [1], [4]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Électrolyse, prétraitement	Filtre en tissu	Poussières: 1 à 5
Fusion primaire et secondaire	Filtre en céramique ou en tissu	

2. Cuivre

a) Objet

441. Le cuivre est très utilisé pour sa très bonne conductivité thermique et électrique, sa résistance relative à la corrosion et sa facilité de recyclage. La présente partie couvre la production de cuivre primaire et secondaire.

b) Sources d'émissions

442. La production de cuivre se divise en production primaire et production secondaire.

i) Production primaire

443. Les concentrés servant à la production de cuivre primaire sont principalement des concentrés de soufre, mais ils contiennent aussi d'autres métaux. Par conséquent, divers procédés servent à séparer et à recycler, dans la mesure du possible, les différents éléments. En raison de la composition des concentrés (soufre), des quantités importantes de SO_2 sont émises dans ces procédés. Deux procédés sont utilisés: le procédé pyrométallurgique et le procédé hydrométallurgique.

444. Le *procédé pyrométallurgique* se divise en diverses étapes: agglomération, fusion, conversion et affinage électrolytique ou non électrolytique.

445. Le procédé d'agglomération est une source importante d'émissions de SO_2. Au cours du procédé, les sulfures sont transformés en soufre. Les effluents gazeux doivent donc être ensuite désulfurisés; ils sont généralement acheminés vers des unités de fabrication d'acide situées sur le site de production, où ils sont utilisés pour produire de l'acide sulfurique ou du SO_2 liquide.

446. La fusion permet de séparer les sulfures de cuivre d'autres composants contenus dans le minerai. L'agglomération et la fusion sont réalisées dans un four unique, à une température suffisamment élevée pour permettre la séparation entre la matte, qui contient principalement des sulfures de cuivre, et les laitiers, surtout riches en sulfures de fer [1].

447. La conversion consiste à injecter de l'air et de l'oxygène dans la matte obtenue par fusion. Deux types de procédés sont utilisés: la conversion en continu, le plus fréquent, et le procédé discontinu. Ces procédés peuvent entraîner des émissions de SO_2.

448. Le cuivre doit ensuite être affiné, tout d'abord par voie thermique: de l'air est injecté dans le métal en fusion afin d'oxyder les impuretés et d'éliminer les dernières traces de soufre. Une petite quantité d'agent réducteur peut aussi être ajoutée, mais cela accroît les émissions de NO_x.

449. L'affinage électrolytique se déroule ensuite dans une cuve d'électrolyse constituée d'une anode en cuivre coulée et d'une cathode, placée dans un électrolyte contenant du sulfate de cuivre et de l'acide sulfurique.

450. Le procédé hydrométallurgique est principalement utilisé sur des minerais oxydés, des minerais mixtes oxydés/sulfurés et des minerais difficiles à concentrer. Le minerai est tout d'abord concassé, puis lixivié à l'acide sulfurique. La solution produite est ensuite clarifiée, purifiée et concentrée au moyen d'un solvant. Enfin, le cuivre est retiré par extraction électrolytique. Ce procédé diffère du procédé d'affinage électrolytique uniquement par la forme de l'anode [1].

ii) Production de deuxième fusion

451. Le cuivre de deuxième fusion est produit au moyen de procédés pyrométallurgiques. Les étapes du procédé utilisé dépendent de la teneur en cuivre de la matière première secondaire. Cette dernière peut contenir des matières organiques telles que des revêtements. Par conséquent, le type de fusion et d'affinage secondaires dépend de la charge [1].

c) MTD et niveaux d'émission correspondants

452. Sauf indication contraire, les niveaux d'émission donnés dans le présent chapitre sont des moyennes journalières basées sur la surveillance en continu et la condition standard de 273 K, 101,3 kPa, à la teneur d'oxygène mesurée et sur gaz sec, sans dilution des gaz avec l'air.

i) SO_2

453. Dans la production de cuivre, les émissions de SO_2 sont les plus préoccupantes. Le soufre provient surtout du minerai de cuivre. Par conséquent, les émissions de SO_2 sont plus préoccupantes dans la production primaire. Le grillage, la fusion et la conversion sont les principales sources de dioxyde de soufre. Le SO_2 provient des sulfites de cuivre qui se forment lors de la production du cuivre. Le grillage et la fusion sont réalisés dans le même four. Ce dernier doit être rendu étanche pour permettre un meilleur captage des gaz. Un enrichissement à l'oxygène permet d'obtenir une concentration importante du dioxyde de soufre. Il permet aussi de réduire le volume des effluents gazeux, qui sont ensuite traités dans les unités de production d'acide sulfurique.

454. La conversion est également une source d'émissions de SO_2, mais le captage du gaz n'est pas totalement efficace dans les procédés en continu, en raison de la concentration variable en dioxyde de soufre: les systèmes d'élimination du SO_2 doivent donc être conçus en conséquence [1].

455. Le dioxyde de soufre rejeté par le grillage, la fusion et la conversion est séparé des effluents gazeux dans une unité d'acide sulfurique. Le tableau suivant offre un aperçu des niveaux d'émission de SO_2 réalisables dans la production de cuivre.

Tableau 42
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans le secteur du cuivre [1], [11]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Effluents gazeux riches en SO_2 (>5 %) Grillage, fusion et conversion du cuivre primaire	Unité de production d'acide sulfurique de contact à double absorption	99,7-99,92 % (facteur de conversion)
Fusion et conversion du cuivre secondaire, affinage thermique du cuivre primaire et secondaire, traitement du laitier en four électrique et deuxième fusion	Épuration par voie semi-sèche avec un réactif basique et filtre à manches. Laveurs humides basiques ou à deux réactifs basiques, avec de la chaux, de l'hydroxyde de magnésium, de l'hydroxyde de sodium. Combinaisons de sodium ou de sulfate d'alumine/aluminium en combinaison avec la chaux pour régénérer le réactif et former du gypse.	<50-200
Systèmes secondaires de collecte des fumées et procédés de séchage	Filtre à manches avec injection de chaux sèche dans un gaz froid	<500
	Épurateur par voie humide alcaline pour le captage du SO_2 présent dans les gaz chauds (provenant du sécheur après élimination des poussières)	<50-200

ii) NO_x

456. Dans la production de cuivre, les procédés à base d'oxygène et à température élevée émettent des NO_x. Dans la production de cuivre primaire, la plupart des oxydes d'azote sont transformés en acide sulfurique, dans les unités de production. Par conséquent, les émissions de NO_x ne posent pas problème. Sont considérés comme des MTD les brûleurs d'oxycombustion et ceux dégageant peu de NO_x [1].

457. Le tableau suivant offre un aperçu des niveaux d'émission de NO_x réalisables dans la production de cuivre [1].

Tableau 43
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans le secteur du cuivre

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm³)*
Production de cuivre de première et de deuxième fusion	Brûleurs dégageant peu de NO_x	<100
	Brûleur d'oxycombustion	<100-300

iii) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

458. Dans la production de cuivre, les principales sources d'émissions de poussières sont la fusion, la conversion et l'affinage Dans ces procédés, les effluents gazeux sont captés, refroidis et filtrés au moyen de précipitateurs électrostatiques et de filtres en tissu, afin de maîtriser les émissions de poussières et de métaux volatils [1], [2].

459. Le secteur du cuivre n'est pas considéré comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [15] et [16]. Les données de surveillance sont rares. Selon le document de référence [17], d'autres procédés de production de métaux non ferreux n'émettent pas de noir de carbone.

460. Le tableau ci-dessous montre la réduction réalisable des émissions de poussières dans la production de cuivre. La technique privilégiée est le filtre en tissu ou en céramique. Des précipitateurs électrostatiques sont préconisés sur des gaz à trop forte teneur en humidité ou des gaz chauds, ou lorsque les poussières sont trop visqueuses. L'emploi d'épurateurs-laveurs est préconisé quand la température ou la nature des gaz exclut l'emploi d'autres techniques, ou lorsqu'il faut éliminer des éléments gazeux ou des acides en même temps que les poussières.

461. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites dans le tableau 44, ci-dessous, pour la poussière, sous réserve qu'elles agissent sur les particules concernées.

Tableau 44
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans le secteur du cuivre [1], [3]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm³)*
Fusion, conversion et affinage	Filtres en tissu Précipitateurs électrostatiques Épurateurs	Poussières: 1-5

3. Plomb et zinc

a) Objet

462. Relèvent de cette catégorie la production de plomb et de zinc primaire et secondaire. Ces métaux sont souvent associés dans les minerais et les concentrés. Comme c'est le cas pour d'autres sous-secteurs des métaux non ferreux, les émissions de SO_2 et de poussières sont les plus préoccupantes. Toutefois, les NO_x sont également décrits dans le détail, dans la présente partie.

b) Sources d'émissions

463. Comme dans la production de cuivre ou d'aluminium, le plomb et le zinc sont issus de procédés primaires et secondaires.

464. Il existe *deux procédés de première fusion du plomb*: le procédé de frittage et de fusion et le procédé de fusion directe. Les procédés de production de zinc primaire sont sur le déclin [6], [8].

465. Le procédé *de frittage et de fusion* consiste à fritter des concentrés de plomb et de zinc avec des fines de frittage recyclées, des matières secondaires et d'autres matériaux issus du procédé.

466. Le produit de frittage est concassé, criblé et alimenté dans un four Imperial, dans lequel a lieu la fusion. Le plomb est récupéré directement à la sortie du four comme sous-produit avant d'être affiné. Un mélange de zinc et de plomb est également récupéré. Le zinc doit être séparé du plomb avant affinage [1].

467. La séparation a lieu dans un condenseur à pulvérisation, dans lequel des gouttelettes de plomb fondu rendent possible l'absorption des métaux dans le plomb. L'alliage qui en résulte est refroidi et le zinc flottant à la surface est récupéré pour être affiné.

468. Dans le procédé de *fusion directe*, les concentrés de plomb et d'autres matières sont directement chargés dans le four, où ils sont fondus et oxydés avant d'être affinés.

469. Le *plomb secondaire* est produit à partir de déchets et de résidus recyclés de plomb. Les batteries constituent une source importante de plomb.

470. Les batteries sont broyées et séparées en différentes fractions avant d'être chargées dans un four. Le procédé de récupération du plomb contenu dans les batteries de véhicules commence par le vidage de l'acide qu'elles contiennent [10]. Le plomb contenu dans d'autres matériaux peut être récupéré par simple fusion [1].

471. Il existe deux procédés d'affinage du plomb: l'*affinage électrolytique* et l'*affinage pyrométallurgique*.

472. Le premier est extrêmement coûteux. Par conséquent, il n'est utilisé que lorsque l'électricité est bon marché (hydroélectricité).

473. L'affinage pyrométallurgique est réalisé dans une série de cuves chauffées afin d'éliminer les impuretés. Le cuivre est le premier élément à être éliminé, par écrémage mécanique, puis l'arsenic, l'antimoine et l'étain sont éliminés par oxydation associée à un écrémage mécanique [1].

474. Le zinc primaire obtenu lors de la production de plomb de première fusion est affiné par *distillation*. Cela permet, lors d'une première étape, de séparer le zinc et le cadmium du plomb et, dans une seconde étape, de séparer le zinc du cadmium. Enfin, le zinc est traité au sodium pour en extraire l'arsenic et l'antimoine.

475. En Europe, le zinc primaire est produit, de façon marginale, avec le plomb primaire (environ 5 %), essentiellement par *voie hydrométallurgique*. Ce procédé sert principalement à extraire les sulfites, mais aussi les oxydes, les carbonates et les silicates de zinc. Les matières sont tout d'abord grillées en lit fluidisé pour produire du dioxyde de soufre et de la calcine (oxyde de zinc). La calcine de zinc est ensuite refroidie et lixiviée à l'acide sulfurique. Ce procédé est identique au procédé hydrométallurgique du cuivre. La solution de zinc obtenue est ensuite purifiée, affinée et acheminée vers la cuve, où le zinc est extrait par électrolyse [6].

476. La production de zinc secondaire à partir de déchets métalliques, consiste en une séparation physique, une fusion et d'autres traitements à température élevée [1]. Des produits galvanisés en fin de vie sont recyclés en vue de récupérer l'acier et les fumées d'oxydes de zinc (poussières provenant des fours électriques à arc) sont ensuite traitées par des procédés pyrométallurgiques (fours Waelz ou autres) en vue de récupérer une fraction riche en «oxyde de zinc», qui est encore traitée en aval, en vue de récupérer le zinc ou l'oxyde de zinc [6].

4. MTD et niveaux d'émission correspondants

477. Sauf indication contraire, les niveaux d'émission indiqués dans le présent chapitre sont des moyennes journalières basées sur la surveillance en continu et la condition standard de 273 K, 101,3 kPa, à la teneur d'oxygène mesurée et sur gaz sec, sans dilution des gaz avec l'air.

a) SO_2

478. Au cours de la production de plomb et de zinc, le soufre contenu dans les matières est oxydé, ce qui entraîne l'émission de dioxyde de soufre. Les effluents gazeux doivent donc être désulfurisés. Des unités de fabrication d'acide sulfurique peuvent être utilisées, en l'absence de tout prétraitement des composants soufrés, en vue de convertir ces gaz. Selon la teneur en SO_2 des effluents gazeux, une unité de production d'acide sulfurique simple ou une unité de contact à double absorption est considérée comme une MTD. Les émissions provenant de l'affinage, du prétraitement des matières et de la deuxième fusion sont réduites au moyen d'un épurateur de SO_2. Les épurateurs alcalins par voie humide ou semi-sèche ou les filtres en tissu sont considérés comme des MTD [1].

479. Dans les usines de production de plomb secondaire, les matières d'alimentation du four sont désulfurisées avant d'être fondues, afin de réduire les émissions de SO_2 en fonction des limites fixées [6]. Le tableau suivant donne la réduction réalisable du SO_2 dans la production de zinc et de plomb.

Tableau 45
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans le secteur du plomb et du zinc [1], [11]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Effluents gazeux pauvres en SO_2 (<5 %) Grillage, fusion et frittage primaires	Unité de production d'acide sulfurique de contact à simple absorption ou unité d'acide sulfurique de gaz humide (WSA)	>99,1 % (facteur de conversion)
Effluents gazeux riches en SO_2 (>5 %) Grillage, fusion et frittage primaires	Unité de production d'acide sulfurique de contact à double absorption	99,7-99,92 % (facteur de conversion)

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Prétraitement, deuxième fusion et affinage thermique du zinc secondaire, et vaporisation du laitier [9]	Épurateurs alcalins par voie humide	<50-200
	Épuration alcaline par voie semi-sèche, filtre en tissu	

b) NO_x

480. Dans la production de zinc et de plomb, le grillage et la fusion sont les principaux émetteurs de NO_x. La plupart des oxydes d'azote sont absorbés dans l'acide sulfurique produit au cours du traitement des effluents gazeux aux stades du grillage, de la fusion et du frittage. Par conséquent, les émissions de NO_x ne posent pas un problème important. Les MTD utilisées en vue de réduire les émissions de NO_x à d'autres étapes du processus sont l'utilisation de brûleurs d'oxycombustion et de brûleurs dégageant peu de NO_x [1]. Le tableau suivant offre un aperçu des niveaux d'émission de NO_x réalisables dans la production de zinc et de plomb.

Tableau 46
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans le secteur du plomb et du zinc [1]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Production de zinc et de plomb	Brûleurs dégageant peu de NO_x	<100
	Brûleur d'oxycombustion	<100-300

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

481. Le grillage et la fusion sont les principales sources d'émissions de poussières dans l'industrie du plomb et du zinc. Les gaz doivent être captés et traités pour réduire ces émissions. Dans ces procédés de production, les effluents gazeux sont captés, refroidis puis filtrés au moyen de précipitateurs électrostatiques et de filtres en tissu, afin de contrôler les émissions de poussières et les métaux volatils [1]. La technique privilégiée est le filtre en tissu ou en céramique. Des dépoussiéreurs électrostatiques sont indiqués lorsque le gaz est trop humide ou trop chaud, ou lorsque les poussières sont trop visqueuses. L'emploi d'épurateurs-laveurs est préconisé quand la température ou la nature des gaz exclut l'emploi d'autres techniques, ou lorsqu'il faut éliminer des éléments gazeux ou des acides en même temps que les poussières.

482. Les émissions obtenues après mise en œuvre des MTD sont indiquées dans le tableau suivant. Le secteur du cuivre n'est pas considéré comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [15] et [16]. Les données de surveillance sont rares. Selon le document de référence [17], d'autres procédés de production de métaux non ferreux ne sont pas à l'origine d'émissions de noir de carbone.

483. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites dans le tableau 47 pour la poussière, sous réserve qu'elles agissent sur la taille des particules concernées.

Tableau 47
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans le secteur du plomb et du zinc [1], [5]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Grillage et fusion	Filtres en tissu Précipitateurs électrostatiques	Poussières: 1-5

Références de la section I du chapitre VII

[1] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Industrie des métaux non ferreux, décembre 2001.

[2] Évaluation des évolutions technologiques des MTD et des valeurs limite dans l'industrie de transformation des métaux non ferreux, projet de document de référence.

[3] UK fine particulate emissions from industrial processes, AEAT, août 2000.

[4] AP 42, Fifth edition, volume 1 chapter I2: metallurgical industry, EPA, janvier 1995.

[5] Characterization of particulate emissions from non-ferrous smelters, R. L. Bennet et K. T. Knapp, JAPCA − février 1989.

[6] Commentaires de Lynette Chung, EUROMETAUX, février 2009.

[7] «Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc», Groupe d'experts des questions technico-économiques, février 2009.

[8] Commentaires de Aldo Zucca, PORTOVESME, mars 2009.

[9] Commentaires de Thomas Krutzler, UBA Autriche, mars 2009.

[10] Commentaires de Ines Flügel, UBA Allemagne, mars 2009.

[11] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: produits organiques fabriqués en grands volumes − Ammoniac, acides et engrais.

[12] «EGTEI-State of progress.doc», établi pour le Groupe de travail des stratégies et de l'examen, mars 2009.

[13] Commentaires de Lynette Chung, EUROMETAUX, mai 2009.

[14] Commentaires d'André Peteers Weem, InfoMil, mai 2009.

[15] PNUE/OMM − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[16] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone. Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

[17] Kupiainen, K. et Klimont, Z., 2004. «Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control». IASA, rapport intermédiaire IR-04-79, Schlossplatz 1 A-2361 Laxenburg (Autriche).

J. Production de ciment

1. Objet

484. Les cimenteries dégagent principalement des oxydes d'azote (NO_x) et des poussières. Les émissions de dioxyde de soufre (SO_2) sont plus faibles, mais elles sont malgré tout examinées dans le présent document d'orientation. La présente section décrit des installations de production du clinker dans des fours rotatifs d'une capacité de production supérieure à 500 t par jour, ou dans d'autres types de fours dont la capacité de production est supérieure à 50 t par jour [comme dans le BREF] [12].

2. Sources d'émissions

485. Le procédé de fabrication de ciment se divise en trois étapes. La première, c'est-à-dire la calcination, consiste à décomposer le carbonate de calcium ($CaCO_3$) en oxyde de calcium (CaO) à environ 900 °C. L'étape suivante est la cuisson du clinker, dans laquelle l'oxyde de calcium réagit avec de la silice, de l'alumine et des oxydes de fer à une température comprise entre 1 400 °C et 1 500 °C environ, pour former le clinker, qui est ensuite refroidi avant d'être broyé et mélangé à du gypse et à d'autres constituants afin d'obtenir du ciment.

486. La clinkérisation, qui englobe la calcination et la fabrication du clinker proprement dite, est la principale source d'émissions de NO_x, de SO_2 et de poussières. Ce procédé se déroule dans un four. La plupart des fours utilisés sont des fours rotatifs. La fabrication du clinker se fait selon quatre grands procédés: par voie sèche, semi-sèche, semi-humide ou humide. Un préchauffeur ou un précalcinateur peut être utilisé avec ces procédés.

487. Plus de 75 % du clinker produit en Europe est produit par voie sèche.

488. Dans la cuisson du clinker, le cru est introduit dans le four rotatif, où il est séché, préchauffé, décarbonaté et clinkérisé pour donner le clinker, qui est refroidi, puis stocké avant d'être mélangé à du gypse pour donner du ciment [12].

489. Il existe différentes techniques de préchauffage:

a) Le *préchauffage à grilles* se déroule à l'extérieur du four. Ce procédé a permis de raccourcir les fours rotatifs et donc de réduire les déperditions de chaleur tout en augmentant le rendement énergétique du four;

b) Le *préchauffage à suspension* consiste à maintenir le cru en suspension dans les gaz chauds qui s'échappent du four rotatif. La surface de contact augmente considérablement, ce qui permet, théoriquement, du moins, un échange de chaleur presque total;

c) La technique de *précalcination* consiste à diviser la combustion en deux étapes. La combustion primaire se déroule dans le foyer du four et la cuisson secondaire dans une chambre de combustion spéciale, située entre le four et le préchauffeur.

490. Les gaz d'échappement traversent ensuite divers dispositifs où ils sont dépoussiérés ou désulfurisés, voire les deux à la fois [12].

491. Les cimenteries peuvent désormais produire de l'électricité (cogénération) grâce au surplus de chaleur engendré par la production de ciment [12].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

492. Sauf indication contraire, les niveaux d'émission donnés dans la présente section sont des moyennes journalières basées sur la surveillance en continu et la condition standard de 273 K, 101,3 kPa, avec une teneur en oxygène mesurée et sur gaz sec.

a) *SO_2*

493. Dans la production de ciment, les émissions de SO_2 sont principalement tributaires de la teneur en soufre volatil des matières premières. Par conséquent, la principale mesure d'atténuation consiste à utiliser un combustible à teneur faible ou nulle en soufre. Il arrive que les fours des cimenteries dégagent de très faibles quantités de SO_2, sans qu'aucun traitement des gaz résiduaires ne soit nécessaire: cela est dû à l'utilisation de matières premières et de combustibles peu soufrés [10].

494. Toutefois, différents systèmes d'épuration des effluents gazeux peuvent être mis en œuvre lorsque les niveaux d'émission initiales de SO_2 ne sont pas très faibles.

495. Des absorbants comme la chaux éteinte ($Ca(OH)_2$), la chaux vive (CaO) ou des cendres volantes activées à haute teneur en CaO, ajoutés au passage des gaz résiduaires et qui absorbent une partie du SO_2, constituent une MTD. Cette injection peut se faire par voie sèche ou humide. Il est recommandé d'utiliser un absorbant à base de $Ca(OH)_2$ à grande surface spécifique et fortement poreux. Compte tenu de la faible réactivité de ces absorbants, il est conseillé d'utiliser un rapport molaire Ca/S compris entre 3 et 6.

496. L'épuration par voie humide est considérée comme une MTD pour la désulfuration. Cette technique consiste à dépoussiérer tout d'abord les effluents gazeux, puis à les laver par vaporisation d'une solution alcaline. La réaction du SO_2 avec la solution aboutit à la formation de différents sous-produits, qui peuvent ensuite être enrichis et donner de l'acide sulfurique, du soufre, du gypse ou un agent de nettoyage. On peut tabler sur une réduction de plus de 90 % du SO_2 grâce à cette technique [12].

497. Les niveaux d'émission obtenus grâce à ces MTD passent par l'ajout d'un absorbant ou par l'utilisation d'un épurateur par voie humide.

498. Il convient de tenir compte du fait que le coût de l'absorbant se répercute sur les coûts d'exploitation du fait des concentrations croissantes de SO_2, de telle sorte que cette mesure risque de ne pas être rentable lorsque les émissions de SO_2 dépassent 1 200 mg/m^3.

499. Dans les cimenteries, on peut tabler sur des émissions de l'ordre de 50 mg/Nm^3 à 400 mg/Nm^3 avec la mise en œuvre de techniques adaptées. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de SO_2 réalisables dans les cimenteries.

Tableau 48
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans les cimenteries [12]

Paramètres	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD[a] (mg/Nm^3) (moyenne journalière)*
Présence de soufre dans le combustible	Ajout d'un absorbant Épuration par voie humide	SO_2: <50-<400

[a] Ces valeurs sont des moyennes quotidiennes; la plage de valeurs tient compte de la teneur en soufre de la matière première.

b) *NO_x*

500. Dans la production de ciment, les émissions de NO_x dépendent de différents paramètres: type de combustible, type de combustion, rapport combustible-comburant et température de la flamme. Par conséquent, diverses mesures peuvent réduire les émissions de NO_x.

501. Parmi les mesures primaires, le refroidissement de la flamme, l'utilisation de brûleurs dégageant peu de NO_x, la combustion étagée, la cuisson en milieu de four et l'ajout de minéralisateurs au cru sont les principales mesures techniques mises en œuvre:

a) Le *refroidissement de la flamme* s'obtient en ajoutant de l'eau au combustible ou directement sur la flamme. Cette mesure fait baisser la température et limite par conséquent la formation de NO_x;

b) *L'apport de minéralisateurs*, comme le fluor, abaisse aussi la température dans la zone de clinkérisation et, par conséquent, la formation de NO_x;

c) Les *brûleurs dégageant peu de NO_x* permettent de réduire les émissions de NO_x en cours de combustion. Il s'agit d'une combustion étagée permettant le recyclage interne ou externe des gaz résiduaires. Une réduction des NO_x pouvant atteindre 30 % est réalisable dans les installations où cette technique a été mise en œuvre avec succès, tandis que des niveaux d'émission compris entre 600 mg/Nm^3 et 1 000 mg/Nm^3 sont signalés, grâce à cette technique [12];

d) Dans la *combustion étagée*, le premier étage de la combustion est le four rotatif. Le deuxième étage est un brûleur situé à l'entrée du four, qui décompose les oxydes d'azote formés dans la zone précédente. Au troisième étage, le combustible est introduit dans le calcinateur avec une certaine quantité d'air tertiaire. Ce procédé diminue la formation de NO_x combustible et de NO_x provenant du four. Au quatrième et dernier étage de la combustion, le reste d'air tertiaire est introduit dans l'installation en tant qu'«air final», utilisé pour la combustion résiduelle. En général, la combustion étagée ne peut être mise en œuvre qu'avec des fours équipés d'un précalcinateur [12];

e) La *chauffe en milieu de four* s'applique dans les fours longs, en voie humide et sèche. Dans ce procédé, une zone réductrice est créée par l'injection de combustible en milieu de four. Dans certaines installations qui font appel à cette technique, une diminution des NO_x de 20 % à 40 % a été constatée.

502. Bien que les mesures primaires soient efficaces, des mesures secondaires peuvent réduire encore davantage les émissions. La réduction catalytique sélective (RCS) et la réduction non catalytique sélective (RNCS) sont les principales techniques envisagées dans les cimenteries [6]. Dans la réduction non catalytique sélective, le taux de conversion est toutefois plus bas, puisqu'il est compris entre 10 % et 50 %.

503. Les mesures primaires combinées à une combustion étagée ou à une réduction non catalytique sélective sont considérées comme des MTD pour les émissions de NO_x. Ces techniques permettent en effet de réaliser des émissions de l'ordre de 200 mg/Nm^3 à 500 mg/Nm^3.

504. La réduction catalytique sélective est considérée comme une MTD, sous réserve de la mise au point de catalyseurs appropriés et du développement du procédé dans l'industrie du ciment. Une réduction importante (85 % à 95 %) des émissions est possible. Deux fournisseurs européens au moins garantissent des émissions de l'ordre de 100 mg/Nm^3 à 200 mg/Nm^3 au moyen de cette technique. Toutefois, les investissements correspondants restent bien plus élevés que ceux relatifs à la réduction non catalytique sélective [12].

505. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la cimenterie [12].

506. En cas de coïncinération des déchets, il convient de respecter les exigences de la directive relative à l'incinération des déchets [12].

Tableau 49
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans les cimenteries [12]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Fours avec préchauffeur	Combinaison de mesures primaires (refroidissement de la flamme, brûleurs dégageant peu de NO_x, cuisson en milieu de four, apport de minéralisateurs, etc.), Combustion étagée (combinée à un précalcinateur et emploi d'un mélange combustible optimisé), RCS, RNCS sous réserve de la mise au point de catalyseurs appropriés et du développement du procédé dans l'industrie du ciment	<200-450[a, b]
Fours Lepol et fours longs rotatifs		400-800[c]

[a] Le niveau d'émission associé à la MTD est de 500 mg/Nm^3, lorsqu'après les mesures techniques primaires, le niveau initial de NO_x est <1 000 mg/Nm^3.

[b] La conception du four, les propriétés du mélange de combustible incluant les déchets et la capacité à cuire les matières premières peuvent avoir un effet sur la capacité à demeurer dans cette plage. Dans des conditions favorables, il est possible d'obtenir des émissions inférieures à 350 mg/Nm^3 avec certains fours. La valeur la plus basse, de 200 mg/Nm^3, n'a été signalée en tant que moyenne mensuelle que dans trois cimenteries (utilisation d'un mélange facile à brûler).

[c] En fonction des niveaux initiaux et de la présence résiduelle d'ammoniac.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

507. Dans la production de ciment, la poussière de cheminée provient principalement de trois sources: le four, le refroidisseur à clinker et les stations de broyage. La manutention et le stockage des matériaux sont à l'origine d'émissions diffuses. Le concassage et le broyage des matières premières, ainsi que la manutention des combustibles, sont également des sources importantes d'émissions, dans certains cas.

508. Les cimenteries ne sont pas considérées comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [17], [18] et [20]. Toutefois, les données sur ces émissions sont rares.

509. Des précipitateurs électrostatiques et des filtres en tissu atténuent les émissions de poussières dans les cimenteries. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites ci-dessous pour la poussière, sous réserve qu'elles agissent sur les particules concernées. Un filtre à manches doit avoir plusieurs compartiments isolés les uns des autres en cas de rupture d'une manche; les manches doivent être suffisamment nombreuses pour que le filtre conserve son efficacité si l'une d'elles est percée. Au fur et à mesure que la couche de poussière s'épaissit, la résistance au passage des gaz augmente; c'est pourquoi chaque compartiment doit être muni d'un «détecteur de manche percée» indiquant qu'il faut la remplacer, le cas échéant.

510. Il est possible d'obtenir des émissions inférieures à 5 mg/m^3 avec des filtres en tissu bien conçus et entretenus.

511. Des filtres électrostatiques de dimensions suffisantes, combinés à un système de conditionnement de l'air de bonne qualité et à une optimisation du nettoyage des précipitateurs électrostatiques, réduisent les émissions à moins de 10 mg/Nm^3 (valeur moyenne journalière).

512. Il est indispensable de maîtriser les niveaux de CO lorsque l'on utilise des précipitateurs électrostatiques. Il faut s'assurer que les concentrations restent inférieures à la limite inférieure d'explosivité afin d'éviter des problèmes graves.

513. Les routes utilisées par les camions sont revêtues et nettoyées périodiquement afin d'éviter les émissions de poussières diffuses. De plus, de l'eau est aspergée sur le site des installations. Des agents chimiques peuvent être ajoutés à l'eau afin d'améliorer l'efficacité de l'agglomération de la poussière. Dans la mesure du possible, la manutention des matériaux se fait en zone fermée, l'air étant recueilli et épuré par des filtres en tissu [12].

514. Dans les cimenteries, les précipitateurs électrostatiques et les filtres en tissu constituent la MTD de réduction des poussières. Des concentrations de poussières de l'ordre de 5 mg/Nm^3 à 50 mg/Nm^3 sont réalisables au moyen de ces techniques. Avec des filtres hybrides (associant filtre en tissu et précipitateur électrostatique), les émissions de poussières sont de l'ordre de 10 mg/Nm^3 à 30 mg/Nm^3. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans les cimenteries.

Tableau 50
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans les cimenteries [4], [12]

Source d'émissions	*Technique*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*
Tous systèmes de fours Refroidisseur de clinker Stations de broyage	Filtre en tissu ou précipitateur électrostatique	Poussières: <10-20
Opérations dégageant de la poussière[a]	Nettoyage à sec des effluents gazeux à l'aide d'un filtre	Poussières: <10[b]

[a] Une approche prioritaire doit être prise en compte pour les petites sources (<10 000 Nm^3/h).
[b] Mesure ponctuelle pendant au moins une demi-heure.

4. Nouvelles techniques

515. Comme dans la production de ciment, les émissions les plus inquiétantes sont celles de NO_x. Les nouvelles techniques présentées ci-après portent sur la réduction des NO_x.

516. La combustion en lit fluidisé et la combustion étagée associée à la réduction non catalytique sélective sont les nouvelles techniques de réduction des NO_x.

517. Dans la combustion en lit fluidisé, les émissions de NO_x varient de 115 mg/Nm^3 à 190 mg/Nm^3 lorsque du fioul lourd est utilisé, et de 440 mg/Nm^3 à 515 mg/Nm^3 lorsque le combustible est du charbon pulvérisé.

518. En théorie, la combinaison de la combustion étagée et de la réduction non catalytique sélective donne les mêmes résultats que la réduction catalytique sélective en ce qui concerne les niveaux d'émission de NO_x.

5. Coût des méthodes de réduction

519. Le tableau suivant présente les coûts de différentes techniques de réduction de la pollution dans la production de ciment [12], [2].

Tableau 51
Coût des techniques de réduction des NO_x dans les cimenteries [12]

			Coûts rapportés[a]	
Technique	*Fours concernés*	*Efficacité*	*Coûts d'investissement (en millions d'euros)*	*Coûts d'exploitation (€/t de clinker)*
Refroidissement de la flamme	Tous	0 %-35 %	0,2 maximum	0,5 maximum
Brûleur dégageant peu de NO_x	Tous	0 %-35 %	0,45 maximum	0,07
Combustion étagée	Avec précalcinateur		0,1-2	0
	Avec préchauffeur	10 %-50 %	1-4	0
RNCS	Avec préchauffeur et précalcinateur	30 %-90 %	0,5-1,2	0,1-1,7
	Avec précalcinateur à grilles	35 %	0,5	0,84
RCS[b]	Probablement tous	43 %-95 %	2,2-4,5	0,33-3,0

[a] Coûts d'investissement et d'exploitation pour une capacité de production du four de 3 000 t de clinker/jour et pour des émissions initiales de 2 000 mg NO_x/m^3 au maximum.
[b] Coûts calculés à partir d'une capacité de clinkérisation de 1 500 t par jour.

Tableau 52
Coût des techniques de réduction du SO_2 dans les cimenteries

			Coûts rapportés	
Technique	*Fours concernés*	*Efficacité*	*Coûts d'investissement (en millions d'euros)*	*Coûts d'exploitation (€/t de clinker)*
Apport d'absorbant	Tous	60-80 %	0,2-0,3	0,1-0,4
Épurateur par voie humide	Tous	>90 %	5,8-23	0,5-2
Charbon actif	Par voie sèche	Jusqu'à 95 %	15[a]	Pas d'information

[a] Ces coûts englobent une unité de réduction non catalytique sélective pour un four produisant 2 000 t de clinker/jour et un niveau initial d'émissions de 50 à 600 mg de SO_2/m^3.

Tableau 53
Coût des techniques d'atténuation des poussières dans les cimenteries [12]

		Coûts[a]	
Technique	*Applicabilité*	*Coûts d'investissement (en millions d'euros)*	*Coûts d'exploitation (€/t de clinker)*
Précipitateur électrostatique	Tous les fours	2,1-6,0	0,1-0,2
	Refroidisseurs de clinker	0,8-1,2	0,09-0,18
	Stations de broyage	0,8-1,2	0,09-0,18

Technique	*Applicabilité*	*Coûts*[a]	
		Coûts d'investissement (en millions d'euros)	*Coûts d'exploitation (€/t de clinker)*
Filtre en tissu	Tous les fours	2,1-6,0	0,15-0,35
	Refroidisseurs de clinker	1,0-1,4	0,1-0,15
	Stations de broyage	0,3-0,5	0,03-0,04

[a] Coût d'investissement et d'exploitation pour une réduction des émissions comprise entre 10 et 50 mg/m^3, pour une capacité de production du four de 3 000 t de clinker par jour et des émissions initiales allant jusqu'à 500 g poussières/m^3.

Références de la section J du chapitre VII

[1] Aerosol size distribution determination from stack emissions: the case of a cement plant, Fraboulet, 2007. Conférence sur les poussières, Maastricht. Avril 2007.

[2] Document d'orientation «Cement production», EGTEI, 2003.

[3] Assements of technological developments BAT and limit value, cement industry, projet de document d'orientation.

[4] Options for updating BAT from a technical point of view and implications for other annexes, M. Suhr, FEA Allemagne, Équipe spéciale sur les métaux lourds, juin 2008.

[5] Ministère français de l'écologie, arrêté du 3 mai 1993, Journal officiel du 15 juin 1993.

[6] Commentaires d'André Peeters Weem, Cees Braams, InfoMil, Ministère néerlandais de l'environnement, décembre 2008.

[7] Commentaires de Maja Bernicke, Agence fédérale allemande de l'environnement, décembre 2008.

[8] Commentaires de Gaston Theis, Office fédéral pour l'environnement de la Suisse, novembre 2008.

[9] «Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI.doc», Groupe d'experts des questions technico-économiques, février 2009.

[10] Commentaires de Thomas Krutzler, UBA, Autriche, mars 2009.

[11] «EGTEI-State of progress.doc», établi pour le Groupe de travail des stratégies et de l'examen, mars 2009.

[12] Commission européenne − Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: industries du ciment, de la chaux et de la magnésie, mai 2010.

[13] Commentaires de CEMBUREAU, mai 2010.

[14] Commentaires d'EULA, mai 2009.

[15] Commentaires d'Andre Peteers Weem, InfoMil, mai 2009.

[16] Commentaires de Maja Bernicke, UBA, mai 2009.

[17] Programme des Nations Unies pour l'environnement/OMM − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[18] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone. Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

[19] Kupiainen, K. et Klimont, Z., 2004. Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control. International Institute for Applied Systems Analysis (IASA), Rapport intermédiaire IR-04-79, Schlossplatz 1 A-2361 Laxenburg (Autriche).

[20] EPA, rapport au Congrès sur le noir de carbone, mars 2012.

K. Production de chaux

1. Objet

520. La présente partie porte sur la production de chaux et les fours à chaux. Elle ne concerne pas les fours à chaux intégrés dans d'autres procédés industriels comme la fabrication du papier.

521. Les émissions les plus préoccupantes des usines à chaux sont les poussières (particules totales en suspension). La production de chaux est également une source d'oxydes d'azote (NO_x) et de dioxyde de soufre (SO_2). Ces émissions sont principalement dégagées par la calcination du calcaire [7].

2. Sources d'émissions

522. La chaux est produite par chauffage. Du carbonate de calcium ou de magnésium est chauffé, de façon à produire du dioxyde de carbone et de la chaux. La réaction dégage aussi des NO_x, du SO_2 et des poussières.

523. Différentes techniques sont utilisées, le choix dépendant de la qualité de la chaux à produire et de la taille des pierres d'alimentation.

524. Les fours utilisés sont, pour la plupart, de type vertical ou rotatif. Tous suivent le principe des trois zones: une zone de *préchauffage*, où le calcaire est chauffé à 800 °C, une zone de *calcination*, où se déroule la combustion qui donne lieu à la formation de chaux à plus de 900 °C, et la zone de *refroidissement*, où la chaux est refroidie. La chaux obtenue après refroidissement est de la chaux vive (CaO).

525. Certains fours rotatifs et à lit fluidisé fonctionnent avec des préchauffeurs séparés.

526. La chaux vive obtenue après refroidissement est ensuite criblée et les particules fines, moins pures, sont éliminées. Ensuite, la chaux vive est concassée et triée à des fins de vérification de la qualité des produits.

527. De la chaux éteinte est produite, sous forme de chaux hydratée, de lait de chaux et de chaux en pâte. La chaux hydratée est produite à partir de chaux vive, au moyen d'un hydrateur. Le lait de chaux et la chaux en pâte sont obtenus par extinction de la chaux avec un excès d'eau, dans des unités fonctionnant par lot ou en continu [7].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

528. Sauf indication contraire, les niveaux d'émission donnés dans le présent chapitre sont des moyennes journalières basées sur la surveillance en continu et la condition standard de 273 K, 101,3 kPa, à 11 % d'oxygène et sur gaz sec.

a) SO_2

529. Dans la production de chaux, les émissions de SO_2 dépendent de la teneur en soufre du combustible utilisé, mais aussi de la conception du four et de la teneur en soufre nécessaire. La principale mesure de réduction des émissions consiste à utiliser un combustible à teneur faible ou nulle en soufre. Aucune mesure secondaire n'est envisagée dans les MTD de réduction des émissions de SO_2. L'apport d'absorbant est une technique disponible, mais qui n'est pas appliquée actuellement.

530. Le SO_2 dégagé par les gaz de chauffe du four peut être réduit par des mesures ou des techniques d'optimisation du procédé qui assurent une absorption efficace du dioxyde de soufre, c'est-à-dire par un contact efficace entre les gaz du four et la chaux vive.

531. Le tableau suivant montre les niveaux habituels d'émissions de SO_2 liés aux MTD dans la production de chaux [7].

Tableau 54
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de chaux [7]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*[a, b]
Four vertical à cycles alternés (PFRK), four vertical annulaire (ASK), four vertical à alimentation mixte (MFSK), autre four vertical (OSK), four rotatif avec préchauffeur (PRK)	Combinaison d'une optimisation des procédés pour garantir une absorption efficace du SO_2, de l'utilisation de combustible à faible teneur en soufre et de l'ajout d'absorbants	<50-200
Four long rotatif (LRK)		<50-400

[a] Le niveau dépend du niveau initial de SO_x dans les gaz d'exhaure et de la mesure/technique de réduction utilisée.

[b] Pour la production de dolimie en «double passe», des émissions de SO_x supérieures à la valeur maximale de la plage sont possibles.

b) NO_x

532. Dans la production de chaux, les émissions de NO_x dépendent de différents paramètres: type de combustible, type de combustion, rapport combustible-comburant et température de la flamme. Ces paramètres sont fonction de la qualité de la chaux que l'on cherche à obtenir et de la conception du four.

533. Des mesures primaires et secondaires peuvent être employées.

534. Les mesures primaires sont notamment les suivantes:

a) Optimisation du procédé: stabilisation et optimisation des conditions de fonctionnement de l'unité, et homogénéisation des alimentations en combustible et en matières premières;

b) Conception, des brûleurs: les émissions de NO_x peuvent être minimisées par la mise en œuvre de brûleurs spéciaux dégageant peu de NO_x. Ces brûleurs servent à réduire la température de la flamme et donc les NO_x thermiques et (dans une certaine mesure) les NO_x dérivés du combustible. La réduction des NO_x est obtenue en fournissant de l'air de rinçage pour abaisser la température de la flamme ou au moyen de brûleurs à régime pulsé. À savoir que ces brûleurs ne s'appliquent qu'aux fours rotatifs.

535. Une mesure envisageable est la réduction non catalytique sélective (RNCS): dans ce cas, les oxydes d'azote (NO et NO_2) des gaz résiduaires sont éliminés par une réduction non catalytique sélective et convertis en azote et en eau par injection dans le four d'un agent réducteur qui réagit avec les oxydes d'azote. Les réactions se produisent à des températures comprises entre 850 °C et 1 020 °C, la plage optimale étant située généralement entre 900 °C et 920 °C. Dans la fabrication de chaux, la RNCS est applicable aux fours rotatifs avec préchauffeur (grille Lepol). Pour les fours verticaux, il n'est pas encore techniquement faisable de procéder à un traitement RNCS, car la température des gaz résiduaires est bien inférieure à 200 °C. Dans les fours longs rotatifs, la RNCS n'est pas pratique, car la zone présentant la fenêtre de température optimale est située dans la partie rotative du four. Étant donné qu'il s'agit d'une nouvelle technique dans l'industrie de la chaux, elle n'est actuellement mise en œuvre que dans une seule usine en Europe.

536. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la production de chaux [7].

Tableau 55
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la production de chaux [7]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*
Four vertical annulaire (ASK), four vertical à cycles alternés (PFRK), four vertical à alimentation mixte (MFSK), autre four vertical (OSK)	Combinaison de mesures primaires (combustible à teneur réduite en azote, optimisation du procédé, conception de brûleurs (dégageant peu de NO_x), étagement de l'air (PRK)) et RNCS (four rotatif Lepol)	100-<350[a, b]
Four long rotatif (LRK) Four rotatif avec préchauffeur (PRK)		<200-<500[a, c]

[a] Les valeurs hautes correspondent à la production de dolimie et de chaux fortement calcinée.

[b] Pour les LRK et PRK verticaux produisant de la chaux fortement calcinée, la valeur supérieure atteint 800 mg/Nm^3.

[c] Les mesures/techniques primaires ne sont pas suffisantes et il n'existe pas de mesures/techniques secondaires pour réduire les émissions de NO_x à 350 mg/Nm^3; la valeur supérieure est de 500 mg/Nm^3, en particulier pour la chaux fortement calcinée.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

537. Dans la production de chaux, le four et les procédés postrefroidissement sont les principales sources d'émissions de poussières. Les émissions fugaces liées à la manutention et au stockage des matières sont également importantes.

538. Les fours rotatifs sont généralement équipés d'un précipitateur électrostatique tandis que les fours annulaires et les installations de broyage sont équipés de filtres en tissu. Ces derniers doivent être équipés de détecteurs de manche percée pour signaler qu'une opération d'entretien est nécessaire.

539. Des cyclones peuvent servir au prénettoyage des gaz d'exhaure. Ils sont relativement simples d'utilisation et peu onéreux, mais ne capturent pas efficacement les microparticules et ne dispensent pas de l'utilisation d'un précipitateur électrostatique ou d'un filtre en tissu.

540. Les gaz dégagés par l'hydratation de la chaux sont dépoussiérés par des épurateurs par voie humide ou des filtres en tissu tandis que ceux provenant du broyage de la chaux sont traités par des cyclones et des filtres en tissu.

541. La production de chaux n'est pas considérée comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [11], [10] et [13]. Toutefois, les données sur ces émissions sont rares.

542. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites dans le présent chapitre et dans le tableau ci-dessous pour la poussière, sous réserve qu'elles agissent sur les particules fines, qui contiennent du noir de carbone.

543. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de poussières réalisables dans la production de chaux.

Tableau 56
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans la production de chaux [7]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*
Fours	Précipitateur électrostatique	Poussières: <20[c, d]
	Filtre en tissu	Poussières: <10[d]
Opérations dégageant de la poussière[a]	Filtre en tissu	Poussières: <10[b]
	Épurateur par voie humide (utilisé principalement dans les installations d'hydratation)	Poussières: <10-20[b]

[a] Une approche prioritaire doit être prise en compte pour les petites sources (<10 000 Nm^3/h).
[b] Les valeurs indiquées sont une moyenne sur la période d'échantillonnage (mesures ponctuelles pendant au moins une demi-heure).
[c] Exceptionnellement, en cas de forte résistivité des poussières, les niveaux d'émission réalisables pourraient être plus élevés et atteindre 30 mg/Nm^3 en valeur moyenne journalière.
[d] Valeur moyenne journalière.

4. Nouvelles techniques

544. Dans la production de chaux, les nouvelles techniques de réduction des émissions sont les suivantes:

a) Calcination en lit fluidisé en vue de réduire les émissions de SO_2 et de NO_x;

b) Ajout d'un absorbant (chaux éteinte ou bicarbonate de sodium) en vue de réduire les émissions de SO_2. Pour être efficace, ce procédé nécessite une optimisation du temps de séjour;

c) Filtres en céramique pour les poussières. Ils ne sont pas mis en œuvre actuellement, mais leur capacité à réduire les poussières à haute température signifie que cette technique est disponible.

5. Coûts des méthodes d'atténuation

545. Les émissions de poussières étant les plus préoccupantes, les coûts des techniques d'atténuation portent uniquement sur ces émissions [7], [2]. Trois principales méthodes de dépoussiérage sont utilisées pour les fours à chaux: les filtres en tissu, les précipitateurs électrostatiques et les épurateurs par voie humide.

546. Les coûts d'investissement sont liés à la taille du filtre et aux conditions d'exploitation. Par conséquent, ils sont très variables. Les principaux facteurs de coût sont les investissements, l'entretien et l'énergie.

547. Les coûts des méthodes d'atténuation des poussières sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 57
Coût des techniques d'atténuation des poussières dans la production de chaux

		Niveau d'émission		*Coût*[c]	
Technique	*Applicabilité*	*mg/m*[c, a]	*kg/t*[b]	*d'investissement*	*d'exploitation*
Précipitateur électrostatique	Tous les types de fours, installations de broyage, procédés annexes	<10-<20	0,015-0,1	0,6-3,9	>1,5
Filtre en tissu	Tous les types de fours	<10-<20	0,015-0,15	0,25-1,7	>1,5
	Installations de broyage, procédés annexes	<10-<20	0,015-0,05		
Épurateur par voie humide	Tous les types de fours, installations d'hydratation	10-30	0,06-0,25	−	−

[a] Moyennes journalières, gaz sec, 273 K, 101,3 kPa et 11 % d'O_2, sauf pour les installations d'hydratation, pour lesquelles les conditions sont en l'état d'émission.

[b] Kg/t de chaux, sur la base de 3 700 Nm^3/t de chaux pour les PRK, 3 000 Nm^3/t de chaux pour les ASK et les PFRK, et 5 000 Nm^3/t pour les fours longs rotatifs

[c] Investissements en millions d'euros et coûts d'exploitation en €/t, différentes capacités de four.

Références de la section K du chapitre VII

[1] Auswertung von staub − und Feinstaubemissionsdaten der Datenbank nordrhein-westfälisher Emissionserklärungen, LUA NRW, 2003.

[2] Document d'orientation sur la production de chaux, Groupe d'experts des questions technico-économiques, 2003.

[3] Commentaires d'André Peeters Weem, Cees Braams, InfoMil, Ministère néerlandais de l'environnement, décembre 2008.

[4] Commentaires de Maja Bernicke, Agence fédérale allemande de l'environnement, décembre 2008.

[5] Commentaires de Gaston Theis, Office fédéral pour l'environnement de la Suisse, novembre 2008.

[6] «Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc», Groupe d'experts des questions technico-économiques, février 2009.

[7] Commission européenne − Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: industries du ciment, de la chaux et de la magnésie, mai 2010.

[8] «EGTEI-State of progress.doc», établi pour le Groupe de travail des stratégies et de l'examen, mars 2009.

[9] Commentaires de Mira Tayah, IMA, mai 2009.

[10] Programme des Nations Unies pour l'environnement/OMM − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[11] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone. Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

[12] Kupiainen, K. et Klimont, Z., 2004. Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control. International Institute for Applied Systems Analysis (IASA), Rapport intermédiaire IR-04-79, Schlossplatz 1 A-2361 Laxenbourg (Autriche).

[13] EPA, rapport au Congrès sur le noir de carbone, mars 2012.

L. Production de verre

1. Objet

548. L'industrie du verre couvre les installations d'une capacité de fusion supérieure à 20 t par jour. La production de fibres de verre et de fibres minérales est traitée au chapitre «Fibres synthétiques» (chap. VII, sect. M). Cette industrie comprend la fabrication de verre plat et de verre creux, mais aussi de verres spéciaux (écrans de téléviseurs, éclairage), de verre à usage domestique et de verre soluble. La production de verre plat, creux et à usage domestique est essentiellement effectuée par de grandes sociétés multinationales, tandis que la production de verre de vaisselle et de décoration est dominée par les petites et moyennes entreprises. Contrairement à la production de verre technique, celle de verre à usage domestique se caractérise par une grande diversité de produits et de procédés, dont le soufflage de verre artisanal [1], [2], [3].

2. Sources d'émissions

549. La production de verre étant une activité qui consomme une quantité importante d'énergie, le choix de la source d'énergie, de la technique de fusion et de la récupération de la chaleur sont des composantes essentielles de l'efficacité écologique d'une installation. Les principales sources d'énergie sont le gaz naturel, le fioul et l'électricité. Alors que, au cours des dernières décennies, le fioul a été le principal combustible employé, le gaz naturel est de plus en plus utilisé parce qu'il est facile à maîtriser et qu'il émet peu de SO_2 et de CO_2, même si son coût est toutefois plus élevé en général. Aujourd'hui, de nombreux fours peuvent fonctionner aussi bien au gaz naturel qu'au fioul, le changement de carburant ne nécessitant qu'un changement de brûleur. L'électricité (chauffage par effet Joule, le verre fondu est traversé par un courant électrique) est la troisième source d'énergie dans la fabrication du verre. Elle est utilisée de façon exclusive ou combinée à d'autres combustibles [1].

550. Les techniques de fabrication varient, allant de petits fours électriques aux fours à régénération et à brûleurs transversaux employés dans la production de verre plat, d'une capacité de production allant jusqu'à 900 t par jour [4]. La liste suivante énumère les principales techniques de fusion pour différentes catégories de capacités:

a) Installations de grande capacité (>500 t/j): presque toujours fours à régénération et à brûleurs transversaux;

b) Installations de capacité moyenne (100 à 500 t/j): les fours à régénération à boucle sont privilégiés, mais des fours à brûleurs transversaux et à régénération, des cuves uniques à récupération et des cuves alimentées par oxycombustion et à l'électricité peuvent aussi être utilisés;

c) Installations de petite capacité (25 à 100 t/j): fours à régénération à boucle, fours électriques et à oxycombustion [1].

551. Les *fours à régénération* font appel à des systèmes de récupération de la chaleur et, en général à des brûleurs situés au niveau ou en dessous de l'air de combustion et à des évents. La chaleur dégagée par les gaz brûlés sert à préchauffer l'air de combustion. Pour cela, on fait traverser aux gaz une chambre qui absorbe la chaleur. La combustion dans le four se fait d'un côté; au bout de vingt minutes environ, la combustion est inversée et l'air de combustion traverse la chambre précédemment chauffée. La température de préchauffage peut atteindre 1 400 °C et le rendement thermique être très élevé. Les fours à régénération font soit appel à des brûleurs transversaux (orifices de combustion et brûleurs le long du four, chambres de chaque côté) lorsque les installations sont d'assez grandes dimensions, soit il s'agit de fours à boucle (brûleurs et chambres d'un seul côté).

552. Dans les *fours à récupération*, des échangeurs de chaleur récupèrent la chaleur des gaz brûlés afin d'assurer un préchauffage continu de l'air comburant. Les températures ne dépassent pas 750 °C environ pour les récupérateurs métalliques, et la capacité de fusion spécifique de ce type de four est inférieure d'environ 30 % à celle des fours à régénération. Les brûleurs se trouvent de chaque côté du four et fonctionnent en continu, des deux côtés. Ce type de four est surtout utilisé en cas d'exploitation nécessitant une grande souplesse, un investissement initial minimum, et lorsque la régénération n'est pas économiquement viable en raison de la capacité réduite de l'installation.

553. La *fusion par oxycombustion* consiste à remplacer l'air comburant par de l'oxygène (pureté >90 %), ce qui permet de réduire le volume des effluents gazeux d'environ deux tiers. Étant donné que l'azote atmosphérique ne doit pas être chauffé à la température de la flamme, des économies d'énergie sont possibles, tout comme une diminution de la formation de NO_x. Ce type de four est généralement conçu comme une cuve à four unique (brûleurs latéraux multiples et évent unique pour les gaz résiduaires), mais sans que l'oxygène apporté ne soit préchauffé par un système de récupération de chaleur.

554. Dans la *fusion électrique*, on utilise une cuve à garnissage réfractaire, des électrodes étant insérés soit par le haut ou les côtés, soit, plus généralement, au niveau de la sole du four. La chaleur est produite par un chauffage par effet Joule, le verre fondu étant traversé par le courant. Cette technique est habituellement appliquée aux petits fours (surtout pour les verres spéciaux), la dimension maximale de viabilité économique étant déterminée par le coût de l'électricité par rapport à celui des combustibles fossiles. Le remplacement de ces derniers dans le four évite la formation de produits de combustion.

555. La *fusion combinée, aux combustibles fossiles et à l'électricité*, peut démarrer à l'électricité puis être alimentée par un combustible fossile ou encore (ce qui est moins fréquent), être principalement alimentée à l'électricité avec un apport d'appoint en combustibles fossiles.

556. La *fusion discontinue par lot* s'applique aux quantités plus modestes de verre, en particulier lorsque la formulation du verre est régulièrement modifiée. Des fours à creuset ou à pot servent à fondre des lots particuliers de matières premières; la plupart de ces fours se situent sous le seuil de production de 20 t/j. Dans un four à creuset, l'air comburant est préchauffé dans la partie basse, tandis que la combustion s'effectue dans la partie haute du four, où se trouve le creuset. Les fours à pots sont plus grands et ressemblent à des fours classiques, mais ils sont remplis chaque jour de mélange vitrifiable.

557. Des *fours de fusion spéciaux* ont été conçus pour améliorer le rendement énergétique et les performances en matière d'environnement [1].

558. Les principales contraintes qui pèsent sur l'industrie du verre en matière d'environnement sont les émissions atmosphériques et la consommation d'énergie. La fabrication de verre se fait à des températures élevées et consomme beaucoup d'énergie, ce qui entraîne l'émission de produits de combustion, tandis que l'oxydation d'azote atmosphérique à température élevée entraîne en particulier la formation de dioxyde de

soufre, de dioxyde de carbone et d'oxydes d'azote. Les émissions contiennent aussi des poussières, provenant principalement de la volatilisation, suivie de la condensation de matières premières volatiles [4].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

a) SO_2

559. Les principales méthodes de réduction des émissions de SO_2 sont le choix du combustible, la formulation des matières premières et le lavage des gaz acides. Dans les fours alimentés au fioul, le SO_2 provient principalement de l'oxydation du soufre contenu dans le combustible. La quantité de SO_2 émise par les matières premières dépend notamment de la quantité de sulfate de sodium utilisée pour l'oxydation du verre et, dans certains cas, de la présence de sulfites ou de sulfures dans les matières premières; quoi qu'il en soit, ces émissions sont plus faibles que celles provenant du combustible fioul. La façon la plus évidente de réduire les émissions de SO_2 est, par conséquent, de réduire la teneur en soufre du combustible ou de passer au gaz naturel (qui ne contient pas de soufre en général). Si l'emploi d'un combustible à teneur plus réduite en soufre n'accroît pas forcément les coûts (à l'exception du prix du combustible lui même), le passage au gaz nécessite des brûleurs différents ainsi que plusieurs autres modifications. L'utilisation d'un gaz ou d'un fioul contenant 1 % de soufre au maximum est considérée comme une MTD; l'utilisation d'un combustible plus chargé en soufre peut aussi constituer une MTD sous réserve que des mesures d'atténuation aboutissant à un niveau équivalent d'émissions soient prises [1], [9].

560. Pour le mélange de vitrification, les sulfates sont la principale source de pollution dans la fabrication traditionnelle de verre, étant donné qu'ils sont les agents d'affinage les plus répandus, mais qu'ils ont aussi un important effet oxydant. Dans la plupart des fours modernes de verrerie, les sulfates contenus dans les mélanges ont été réduits au minimum possible.

561. En ce qui concerne le lavage, les principes du lavage par voie sèche et semi-humide sont les mêmes: un absorbant est introduit et dispersé dans l'effluent gazeux. Les produits d'absorption choisis pour le SO_2 sont également efficaces sur d'autres gaz acides. L'absorbant peut être une poudre sèche (voie sèche), une suspension ou une solution, l'eau refroidissant dans le même temps l'effluent gazeux (voie semi-humide). Le recyclage des poussières contenues dans le filtre (notamment des résidus sulfatés) est souvent considéré comme une mesure raisonnable sous réserve d'être justifiée sur le plan technique. Cette mesure réduit les émissions globales de soufre à concurrence de la solution de remplacement techniquement envisageable au niveau du mélange; il est parfois nécessaire de trouver des moyens supplémentaires d'éliminer les poussières retenues dans le filtre. Par conséquent, parmi les solutions propres à chaque site, il convient de trouver un compromis entre les objectifs divergents de la minimisation des déchets et de la réduction des émissions de soufre. Dans ce cas, il est essentiel de procéder à un arbitrage par rapport au soufre dégagé par le procédé.

562. La majorité des épurateurs de SO_2 installés fonctionnent à la chaux solide, à environ 400 °C; à cette température, il est possible d'obtenir une réduction du SO_2 d'environ 50 % (des réductions plus importantes sont possibles à environ 200 °C et en atmosphère humide) [1], [5].

563. Pour *le verre creux, le verre plat, le verre à usage domestique et les verres spéciaux,* des mesures secondaires d'atténuation de la poussière par lavage des gaz acides par voie sèche ou semi-humide sont considérées comme des MTD, le cas échéant. Différentes valeurs sont données pour les MTD, en fonction du combustible et (pour le verre creux et le verre plat**)** sur la priorité de réduction des émissions de l'installation, étant donné que la réduction des déchets par le recyclage de la poussière retenue sur les filtres et du calcin peut accroître les émissions de SO_2.

564. En ce qui concerne *la fritte*, le choix du combustible (lorsque cela est réalisable) et le contrôle de la composition du mélange sont considérés comme des MTD de réduction du SO_2 [1].

Tableau 58
Émissions de SO_2 correspondant aux MTD pour les fours de verrerie [1]

	Niveaux d'émission correspondant aux MTD[a] *mg de SO_2/Nm^3 (ou kg/t)*		
Source d'émissions	*Gaz*	*Fioul*	*Commentaires*
Verre creux, priorité à la réduction du SO_2	200-500 (0,3-0,75)	500-1 200 (0,75-1,8)	
Verre creux, priorité à la réduction des déchets	<800 (1,2)	<1 500 (2,25)	Le bilan massique ne permet pas d'atteindre les résultats ci-contre.
Verre plat, priorité à la réduction du SO_2	200-500 (0,5-1,25)	500-1 200 (1,25-3)	
Verre plat, priorité à la réduction des déchets	<800 (2)	<1 500 (3,75)	Le bilan massique ne permet pas d'atteindre les résultats ci-contre.
Verre à usage domestique	200-500 (0,5-1,25)	500-1 300 (1,25-3,25)	Si les matières premières sont peu sulfatées, <200 pour une combustion au gaz. Les chiffres du haut de la fourchette correspondent au recyclage des poussières.
Verres spéciaux (y compris le verre soluble)	200-500	500-1 200	Les chiffres du haut de la fourchette correspondent au recyclage des poussières.
Frittes	<200 (0,1-0,5)	500-1 000	Le fioul est rarement utilisé.

Note: Pour les gaz résiduaires: secs, teneur en oxygène de 8 % en volume (fusion continue), teneur en oxygène de 13 % en volume (fusion discontinue). Pour les systèmes à oxycombustion, l'expression des émissions corrigées à 8 % d'oxygène n'a que peu de valeur, les émissions provenant de ces systèmes devant être abordées en termes de masse.

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

b) NO_x

565. Dans la production de verre, la plupart des oxydes d'azote sont d'origine thermique et proviennent de la température élevée des fours. Ils sont issus de la décomposition du mélange et du combustible. Par conséquent, plusieurs paramètres jouent un rôle important sur les niveaux d'émission de NO_x, à savoir le type et la quantité de combustible utilisé (gaz naturel, fioul lourd), le type de four (à brûleurs transversaux, à boucle, à préchauffage de l'air par régénération ou récupération), la température de fusion et le type de verre produit [1], [2]. Les techniques de réduction les plus adaptées sont en général les suivantes: mesures primaires, oxycombustion, réduction chimique par le combustible, réduction catalytique sélective (RCS) et réduction non catalytique sélective (RNCS). Avec l'oxycombustion, il convient de prêter une attention particulière au rendement énergétique, de façon à ne pas atténuer le potentiel d'atténuation des émissions de NO_x [1], [6].

566. Les modifications primaires reposent sur les techniques ou les combinaisons de techniques suivantes: diminution du rapport air-carburant (pour se rapprocher d'une combustion stœchiométrique), combustion étagée[6], brûleurs étanches et dégageant peu de NO_x, et changement de combustible. Parmi les autres mesures, on peut citer l'instauration de conditions légèrement réductrices dans les fours et la minimisation de l'apport en air comburant. Cette dernière mesure accroît le rendement énergétique et évite la formation de NO_x. Il est généralement recommandé de maintenir une teneur en oxygène de 0,7 % à 1 % dans les cuves uniques, et de 1 % à 2 % dans les fours à boucle (mesurée à la sortie de la chambre de combustion), mais aussi de maintenir le niveau de CO le plus bas possible (200-300 à 1 000 ppm au maximum) [8], [9].

567. Les techniques secondaires sont indiquées lorsque les mesures primaires ne permettent pas d'atteindre les niveaux requis de NO_x. Parmi ces techniques, citons la réduction chimique par le combustible, la réduction catalytique sélective et, une méthode peu répandue, la réduction non catalytique sélective [9].

568. Pour *le verre creux*, les principales techniques constituant des MTD sont les mesures primaires (modifications de la combustion), l'oxycombustion, la réduction non catalytique sélective et la réduction catalytique sélective (d'autres techniques donnant des résultats équivalents peuvent aussi être considérées comme des MTD). Techniquement, il est possible d'atténuer les niveaux de NO_x au moyen, par exemple, de systèmes spéciaux de fusion ou grâce à des fours électriques. Toutefois, ces méthodes ne sont économiquement justifiées que dans certains cas. L'oxycombustion et le préchauffage du mélange et du calcin sont plus faciles à appliquer, mais elles ne sont pas toujours les plus adaptées à toutes les situations.

569. Alors que ces mesures secondaires ne peuvent être mises en œuvre qu'à la reconstruction suivante, de nombreux fours alimentés au fioul peuvent atteindre des niveaux d'émission de 600 mg/Nm^3 à 850 mg/Nm^3 uniquement grâce à des mesures primaires.

570. Pour le *verre plat*, les mesures primaires constituent des MTD. Lorsque d'autres techniques (comme la réduction catalytique sélective) permettent d'atteindre le niveau requis, elles peuvent alors aussi être considérées des MTD. Lorsqu'elles ne peuvent être mises en œuvre qu'à la reconstruction suivante, il faut savoir que de nombreux fours alimentés au fioul peuvent atteindre des niveaux d'émission inférieurs à 850 mg/Nm^3 uniquement grâce à une modification de la combustion.

571. Pour le *verre à usage domestique*, il est plus difficile de définir les MTD, étant donné que les exigences supérieures de qualité qui prévalent dans ce secteur, les faibles volumes de production et les conditions plus favorables à l'oxydation (quantités plus importantes de nitrate) accroissent les émissions de NO_x. Dans les installations plus petites, des fours électriques sont envisageables. Ils constituent des MTD pour le cristal au plomb, le verre de cristal et le verre opale.

572. À court terme, une réduction des émissions de 40 % au maximum par rapport aux niveaux actuels est attendue, avec la mise en œuvre de mesures primaires au niveau de la combustion. À moyen terme, des valeurs de l'ordre de 500 mg/Nm^3 à 700 mg/Nm^3 sont possibles grâce aux mesures suivantes (seules ou combinées), qui sont considérées comme des MTD: mesures primaires, oxycombustion ou réduction catalytique sélective (sous réserve que les coûts en soient acceptables).

573. Pour les *verres spéciaux*, les MTD reposent principalement sur l'oxycombustion et la réduction non catalytique sélective ou sur la réduction catalytique sélective. Ce secteur se caractérise par une grande diversité des procédés. La technique adaptée dépendra donc des problématiques propres à chaque site.

[6] Cette mesure devrait être progressivement abandonnée compte tenu de l'installation de nouveaux brûleurs dégageant peu de NO_x.

574. Pour les frittes, la MTD est la fusion par oxycombustion ou, sinon, les systèmes à mélange air-gaz, ou toute mesure primaire ou secondaire capable de réaliser les niveaux requis [1].

Tableau 59
Émissions de NO_x correspondant aux MTD pour les fours de verrerie [1]

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission correspondant aux MTD*[a] *mg/Nm³ (ou kg/t)*	*Commentaires*
Verre plat	Techniques constituant des MTD (voir texte)	500-700 (1,5-1,75)	Transition jusqu'à la reconstruction suivante ou utilisation importante de composés de nitrate: <850 (2,2)
Verre creux	Techniques constituant des MTD (voir texte)	500-700 (0,5-1,1)	Transition jusqu'à la reconstruction suivante: 500-850 (0,9-1,3)
Verres spéciaux	Techniques constituant des MTD (voir texte)	500-700	
Verre à usage domestique (cristal de plomb, verre de cristal, verre opale)	Chauffage électrique	(0,2-1,0)	
	Modifications à court terme: alimentation à l'air et au gaz	1 000-1 500 (2,5-3,5)	
	Valeurs limite à moyen terme: mesures primaires, oxycombustion, RNCS, RCS	500-700 (0,5-1,75)	
Frittes	Oxycombustion	(0,5-1,5)	
	Systèmes air-gaz et mesures primaires/secondaires	500-700	

Note: Pour les gaz résiduaires: secs, teneur en oxygène de 8 % en volume (fusion continue), teneur en oxygène de 13 % en volume (fusion discontinue). Pour les systèmes à oxycombustion, l'expression des émissions corrigées à 8 % d'oxygène n'a que peu de valeur, les émissions provenant de ces systèmes devant être abordées en termes de masse.

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

575. La fabrication du verre émet des poussières à différentes étapes du procédé. Cette poussière vient principalement des fours et, dans une moindre mesure, du mélange des matières premières (utilisation de matières poudreuses, granuleuses ou poussiéreuses), de la finition et du soufflage des produits. Des poussières sont émises dans les installations de mélangeage, sous forme de composants volatils qui s'évaporent et se condensent, à partir du mélange vitrifiable et du verre fondu (principalement du sulfate de sodium); d'autres proviennent de la combustion de certains combustibles fossiles, d'autres encore, en faibles quantités, du transport, de la manutention, du stockage et du malaxage du mélange. Les émissions de poussières dépendent dans une large mesure du type de combustible brûlé, du type de four et du type de verre fabriqué. En dehors de mesures de fin de chaîne, les moyens de réduire légèrement les émissions de poussières sont les suivants: granulation du mélange, remplacement des systèmes de chauffe au fioul ou au gaz par des systèmes électriques, incorporation d'une quantité plus importante de calcin de retour dans le mélange et utilisation d'une meilleure gamme de matière première (répartition granulométrique) [2].

576. La poussière émise au cours du transport, du stockage et du malaxage est généralement plus grossière que celle provenant des procédés à haute température, qui est constituée de particules mesurant généralement moins de 1 µm. Pour diminuer les émissions liées au stockage, il convient d'utiliser des silos fermés et munis d'un évent relié à un équipement de dépoussiérage adapté. Durant le transport au jour, il convient de prévoir un confinement, afin de protéger les matières premières du vent et éviter des pertes importantes. Ce type de confinement peut s'appliquer à tous les côtés du système de transport. En cas de transport pneumatique, il est important de prévoir un système hermétique doté d'un filtre destiné à purifier l'air transporté avant ouverture. Pour réduire la poussière émise au cours du transport et le dégagement de particules fines à la sortie du four, une certaine humidité, généralement de l'ordre de 3 % à 4 %, est maintenue dans le mélange [2].

577. Dans les fours à pot, les émissions de poussières varient considérablement pendant le cycle de fusion. Les cuves à cristal émettent davantage de poussières (<5 kg/t de verre fondu) que les autres cuves (<1 kg/t de verre obtenu par fusion de carbonate de sodium ou de potassium). Les brûleurs d'oxycombustion réduisent le volume de gaz et de poussières résiduaires de 60 %. Le moyen le plus important de réduire la poussière dégagée par les fours est soit un précipitateur électrostatique, soit un filtre en tissu, le cas échéant combiné à un système de lavage des gaz acides par voie sèche ou semi-humide. L'installation d'un précipitateur électrostatique permet d'abaisser les émissions à moins de 10 mg/m^3. Le niveau d'émission correspondant à la MTD pour ces techniques est de 5 mg/Nm^3 à 30 mg/Nm^3 (soit 0,1 kg/t de verre fondu), si l'on se fonde sur une période moyenne typique comprise entre trente minutes et vingt-quatre heures. Dans certains cas, les MTD pour les émissions de métaux diminuent les émissions de poussières [1], [2].

578. Pour le *verre creux, le verre plat, le verre à usage domestique, les verres spéciaux et les frittes*, est considérée comme une MTD d'atténuation des poussières l'utilisation d'un précipitateur électrostatique ou d'un filtre en tissu fonctionnant, si nécessaire, en combinaison avec un système de lavage des gaz acides par voie sèche ou semi-humide. L'application d'une MTD pour les métaux agit parfois aussi sur les niveaux d'émission de poussières [1].

579. La production de verre n'est pas considérée comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [12], [13] et [15]. Toutefois, les données sur ces émissions sont rares. Ces dernières sont liées à une combustion incomplète. Or ce type de situation ne se produit pas dans la production de verre, qui est un procédé continu à rendement énergétique élevé. Le document de référence [14] donne un facteur d'émission de particules totales en suspension de 0,06 %. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait, au moins en partie, au moyen des MTD décrites ci-dessus pour la poussière, sous réserve qu'elles soient efficaces sur les particules fines.

Tableau 60
Émissions de poussières correspondant aux MTD pour les fours de verrerie [1]

Source d'émissions	*Niveaux d'émission correspondant aux MTD*[a] *mg/Nm³ (ou kg/t)*
Verre creux	5-30 (<0,1)
Verre plat	5-30 (<0,1)
Verre à usage domestique	5-30 (<0,1)
Verres spéciaux	5-30
Frittes	5-30 (<0,1)

Note: Pour les gaz résiduaires: secs, teneur en oxygène de 8 % en volume (fusion continue), teneur en oxygène de 13 % en volume (fusion discontinue). Pour les systèmes à oxycombustion, l'expression des émissions corrigées à 8 % d'oxygène n'a que peu de valeur, les émissions provenant de ces systèmes devant être abordées en termes de masse.

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

d) COV

580. Les COV provenant de la production de fibres minérales sont abordés dans la partie sur les fibres synthétiques (chap. VII, sect. M). Pour les autres opérations de production de verre, des émissions mineures de COV sont possibles, par exemple dans les opérations de revêtement à froid. Ces émissions n'étant pas considérées comme très importantes, elles ne sont pas décrites plus avant.

e) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre

581. Pour toutes les techniques de réduction ou d'atténuation des émissions mentionnées, il convient d'examiner le transfert de la pollution d'un milieu à un autre et tous les effets sur l'environnement et les améliorations possibles dans ce domaine. Ainsi, tout effort individuel visant à prévenir, à réduire ou à empêcher la production de substances polluantes entraîne parfois une augmentation de la consommation d'énergie ou de la production de résidus du traitement des déchets ou des eaux usées.

582. Dans l'industrie du verre, le recyclage de la poussière émanant des filtres (y compris les sulfates résiduaires) peut accroître les émissions de SO_x; par conséquent, la réduction des déchets et celle des émissions de soufre risquent de devenir des objectifs contradictoires (chap. VII, sect. L-3(a)).

4. Nouvelles techniques

583. Aucune grande innovation technique n'est attendue à moyen terme. Les techniques qui ont déjà dépassé le stade de **nouvelles techniques**, mais qui sont susceptibles d'évoluer encore sont les brûleurs dégageant peu de NO_x, l'oxycombustion, le préchauffage du calcin et du mélange, de nouvelles formulations du mélange et l'intégration de procédés de fritte. Les techniques novatrices à long terme, encore au stade de projets pilotes, sont les filtres en céramique et les catalyseurs qui associent l'élimination des NO_x, des SO_x et de la poussière en une seule opération (CERCAT®) et le précipitateur électrostatique à gouttelettes d'eau chargées (TRI-MER®) [1], [10].

5. Coût des méthodes de réduction

Tableau 61
Coût des différentes techniques antipollution [1]

Technique	*Coût d'investissement (k€) à 100/300/600 (t/j)*	*Coûts annuels d'exploitation (k€) à 100/300/600 (t/j)*	*Coûts spécifique (€/t de verre fondu) à 100/300/600 (t/j)*
RCS	615/1 000/1 800	64/123/330	4,98/2,83/2,99
RNCS	280/450/1 350	28/73/225	2,35/1,49/2,16
Brûleurs dégageant peu de NO_x	100/180/550	21/35/72	1,34/0,72/0,83
Oxycombustion	-300/-1 350/-4 800	190/530/1 900	4,06/5,05/5,16
3R réparations comprises, etc.	-/270/680	-/185/285	2,87/2,28/1,91
3R hors réparations	-/140/260	-/106/267	2,20/1,35/1,50
RCS + filtre	1 500/2 420/4 550	108/200/470	10,2/5,75/5,78
Filtre + épurateur	875/1 420/2 750	53/89/186	5,52/3,01/3,06

584. Valeurs pour une capacité de 100 [t/j] verre creux (11 120 m^3 d'effluents/h), 300 [t/j] verre creux (23 000 m^3 d'effluents/h), 600 [t/j] verre flotté (70 000 m^3 d'effluents/h).

Tableau 62
Efficacité de différentes techniques de réduction des NO_x en verrerie [5]

	Réduction obtenue	*Mesures secondaires*	*Réduction obtenue*
Brûleur dégageant peu de NO_x	40 %	Procédé 3R	85 %
Combustion étagée	35 %	RCS	>70 %
Oxycombustion	<1 kg NO_x/t de verre	RNCS	70 % maximum

Tableau 63
Coûts spécifiques de différentes combinaisons de filtres (à poussières) et d'épurateurs (à SO_x) dans les fours à verre [11]

Type de verre	*Production (t fondues par jour)*	*Précipitateur électrostatique et épurateur par voie sèche $(CaOH)_2$ Recyclage de la poussière du filtre (€/t)*	*Précipitateur électrostatique et épurateur par voie sèche $(CaOH)_2$ Élimination de la poussière du filtre (€/t)*	*Précipitateur électrostatique et épurateur par voie sèche $(NaHC0_3)$ Recyclage de la poussière du filtre (€/t)*	*Précipitateur électrostatique et épurateur par voie sèche $(NaHC0_3)$ Élimination de la poussière du filtre (€/t)*	*Filtres en tissu et épurateur par voie sèche Recyclage de la poussière du filtre (€/t)*	*Filtres en tissu et épurateur par voie sèche Élimination de la poussière du filtre (€/t)*	*Filtres en tissu et épurateur par voie semi-humide Recyclage de la poussière du filtre (€/t)*	*Filtres en tissu et épurateur par voie semi-humide Élimination de la poussière du filtre (€/t)*	*Épurateur par voie humide (€/t)*
Flotté	500	4,8	6,51				6	7-7,35	9,6 (gaz)-13 (fioul)	
Flotté	700	4,27	5,87	4,39	7,75	6,98				
Flotté	900	3,88	5,44					5,82	8,33	
Creux	100-150	11	14							
Creux	200		6,7			4,63-5,9	4,8-7			
Creux (fioul)	200					6,4	9,25			
Creux (fioul)	300-350	4,52-6	6,31-7,5		7,38-8,33	3,86-5	4,11-7,3	5,3	6,54	
Creux	450	3,96-5,2	4,77-6,5			2,9	3,6			
Creux (fioul)	600	3,58	5,1			2,7	3,37			
Creux (gaz)	740	4	5,1							
Creux (gaz)	1 240	3,4	4,6							
Creux (fioul)	1 240	3,7	6,2							
À usage domestique	30-35	15,65	16,7			12,85	13,84			
À usage domestique	180-200		7,66			3,75-4,35				
Verre E (oxy-combustion)	100-120						11			14,4-21,5*
Verre E (combustion à l'air)	100-120									15,7-20,5*

* Valeur supérieure pour l'élimination de la poussière du filtre, 400 €/t.

Tableau 64
Coûts spécifiques de différentes méthodes d'atténuation des NO_x dans les fours à verre [11]

Type de verre	*Production (t fondues par jour)*	*RCS (€/t)*	*3R (€/t)*	*RNCS (récupération) (€/t)*	*Mesures de base d'atténuation des NO_x** (€/t)*	*Mesures étendues d'atténuation des NO_x*** (€/t)*	*Combustion tout oxygène (€/Nm^3) avec voûte de silice* si (€/t)*	*Combustion tout oxygène (€/Nm^3) avec voûte de brique en réfractaire électro-fondu* (idem) (€/t)*
Flotté	500	3,3	6-6,25		0,85-1,1		6,83 (0,06)	11,35 (0,06)
Flotté	700	2,6-2,9	5,25-5,6			2,33		
Flotté	900	2,6			0,58	1,82		
Creux	150						3,07 (0,06)	5,28 (0,06)
Creux	200-225	2,56	4,5	2,28	0,76	1,63	3,27 (0,06)	5,39 (0,06)
Creux	300	2,13	4	1,88	0,59	1,34		
Creux	450	1,84			0,47	1,09	5,18 (0,06)	7,16 (0,06)
Creux, brûleurs transversaux	450		3,73		1,02	1,5 (estimation)		

Type de verre	*Production (t fondues par jour)*	*RCS (€/t)*	*3R (€/t)*	*RNCS (récupération) (€/t)*	*Mesures de base d'atténuation des NO_x** (€/t)*	*Mesures étendues d'atténuation des NO_x*** (€/t)*	*Combustion tout oxygène (€/Nm^3) avec voûte de silice* si (€/t)*	*Combustion tout oxygène (€/Nm^3) avec voûte de brique en réfractaire électro-fondu* (idem) (€/t)*
À usage domestique (à récupération)	30-35	8					(à 0,10) -4,32	
À usage domestique (à régénération)	70						(à 0,10) +12,76	
À usage domestique (à régénération)	100	4,9						
À usage domestique (à régénération)	150					8 (avec forte suralimentation électrique)		
À usage domestique (à régénération)	190				0,7			
Verres spéciaux, oxycombustion	250			3,34				
Verres spéciaux, à régénération	700			2,8				
Verre E	100			4,1			6,20 (0,08)	

* Les coûts de l'oxygène en euros par Nm^3 sont indiqués entre crochets.

** Mesures de base d'atténuation des NO_x: brûleurs adaptables, capteurs d'oxygène, contrôle du mélange air-combustible.

*** Mesures étendues d'atténuation des NO_x: mesures de base + modifications au niveau des évents des brûleurs et de la chambre de combustion.

Références de la section L du chapitre VII

[1] Commission européenne. 2001: «Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry.» http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

[2] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies 2006. Projet de document d'orientation: «Assessment of technological developments: Best Available Techniques (BAT) and limit values», présenté à l'Équipe spéciale des métaux lourds de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.

[3] Documents techniques de travail pour l'actualisation et la mise à jour des protocoles de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies relatifs à la réduction des flux transfrontières d'oxydes d'azote provenant de sources fixes, DFIU, 1999.

[4] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies 2003. Document d'orientation sur l'industrie du verre, Genève (disponible dans la section EGTEI du site de la CITEPA, à l'adresse: http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm).

[5] DEFRA 2006: Sector Guidance Note IPPC SG2 − Secretary of State's Guidance for A2 Activities in the Glassmaking Sector. http://www.defra.gov.uk.

[6] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, 1999. Projet de documents d'orientation sur les techniques de réduction et les instruments économiques concernant le protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique.

[7] Bingham et Marshall: Reformulation of container glasses for environmental benefit through lower melting temperatures. Glass Technology, 2005, 46 (1), pp. 11-19.

[8] VDI 2578. Verein Deutscher Ingenieure: Emission control Glassworks, VDI/DIN Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3, 1999.

[9] SFI 2007. Société financière internationale (Groupe Banque mondiale): Environmental, Health, and Safety Guidelines for Glass Manufacturing.

[10] CPIV Expert communication, 5 mai 2009.

[11] Beerkens, 2007. Evaluation of costs associated with air pollution control for glass melting furnaces − A study to support the revision of the IPPC reference document on best available techniques in the glass manufacturing industry 2008, Ordered by CPIV, Bruxelles (Belgique).

[12] Programme des Nations Unies pour l'environnement/OMM − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[13] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

[14] Kupiainen, K. et Klimont, Z., 2004. Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particules in Europe and the Potential for their Control. International Institute for Applied Systems Analysis (IASA), Rapport intermédiaire IR-04-79, Schlossplatz 1 A-2361 Laxenbourg (Autriche).

[15] EPA, rapport au Congrès américain sur le noir de carbone, mars 2012.

Ouvrages généraux

US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)), 1995. «AP-42 Section 11.15, Glass Manufacturing», Washington.

US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)). Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart CC, Standards of Performance for Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 60, Washington.

EPA (États-Unis) 1995 Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart E, Float Glass Manufacturing Subcategory40 CFR Part 426, Washington.

M. Production de fibres synthétiques

1. Objet

585. Le secteur de la production de fibres minérales comprend les installations de fabrication de fibre de verre en filament, de laine de verre et de laines de verre isolantes à haute température, d'une capacité de production supérieure à 20 t par jour. Le terme «laine minérale» désigne la laine de verre et la laine de roche servant à l'isolation, à savoir un ensemble de fibres en matière minérale entrelacées de façon aléatoire et liées par un liant à base de résine [1], [2].

2. Sources d'émissions

586. Le secteur des fibres synthétiques et celui du verre ont en commun plusieurs étapes de production et problèmes liés à l'environnement. Par conséquent, la présente partie contient des informations supplémentaires correspondant aux procédés de base de production, aux MTD et autres du secteur de la production de verre.

587. La *fibre de verre en filament* est fondue dans des fours à récupération ou oxycombustion. Le verre est fondu dans le four avant de traverser des filières, où il est étiré

pour former du fil continu. Ces filaments sont ensuite recouverts d'une émulsion aqueuse, par contact avec un rouleau applicateur, puis elles sont enroulées sur un gâteau.

588. Les fours pour la *laine de verre* fonctionnent à l'électricité, au gaz ou à l'oxygène pur. À la sortie du four, le verre alimente des têtes de fibrage. Il passe à travers des trous d'une couronne métallique animée d'un mouvement de rotation, puis il est étiré verticalement par l'action d'une couronne de brûleurs. La fibre refroidie est pulvérisée d'une résine phénolique à l'eau avant d'être recueillie par aspiration, sur un tapis, puis elle traverse une étuve qui assure la polymérisation du produit avant son séchage.

589. La *laine de roche* est généralement fondue dans un cubilot à vent chaud alimenté au coke. La charge fondue se dépose au fond du four, puis est transformée en fibres par projection sur des rotors à grande vitesse. De l'air atténue le fibrage et dirige les fibres vers des tapis. Une résine phénolique à l'eau est pulvérisée sur les fibres, les autres étapes de la fabrication étant identiques à celle de la laine de verre.

590. La *fibre de céramique* est produite dans des fours électriques. La masse vitreuse fondue est transformée en fibres par un procédé rotatif ou par soufflage d'air, puis les fibres sont rassemblées pour former un matelas. Ce matelas peut soit être conditionné tel quel, soit être transformé en nappe ou en feutre aiguilleté.

591. Dans le secteur des *laines minérales*, ce sont principalement des fours électriques et à récupération qui sont utilisés, en plus des fours à oxycombustion pour la laine de verre.

592. Comme dans la verrerie, les principaux risques de pollution sont liés aux émissions dans l'atmosphère (fours alimentés aux combustibles fossiles et oxydation à température élevée de l'azote atmosphérique entraînant des émissions de SO_2, de NO_x, de CO_2 et de poussières) et à la consommation d'énergie.

593. En plus des émissions communes à la production du verre, deux autres sources importantes d'émissions se trouvent au niveau de la zone de formage (application du liant aux fibres) et de l'étuve de polymérisation (séchage et polymérisation du liant). La zone de formage dégage en effet de la poussière, du phénol, du formaldéhyde et de l'ammoniac; dans l'étuve de polymérisation, des composants volatils du liant et des produits de dégradation et de combustion sont émis.

594. La production à haute température des laines de verre d'isolation se fait uniquement dans des fours électriques. Par conséquent, ce procédé n'émet que des poussières et, dans une moindre mesure, certains composés organiques [1], [2].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

a) SO_2

595. Dans la *production de laine de verre*, des quantités importantes de SO_2 (en plus du coke) sont émises par le laitier de haut fourneau et l'aggloméré cimenté de la charge. La disponibilité de coke et de laitier à faible teneur en soufre est limitée par l'offre existante à distance économiquement raisonnable. En règle générale, il est possible d'éliminer le laitier de la plupart des charges (sauf, par exemple, de la fibre blanche, qui a des applications précises). L'utilisation d'un aggloméré cimenté de récupération nécessite de procéder à des arbitrages entre la nécessité de minimiser les déchets et celle de réduire les émissions de SO_2 [2].

596. Pour la *production de fibre de verre à filament continu*, est considérée comme une MTD toute mesure secondaire d'atténuation des poussières par épuration des gaz acides par voie sèche ou semi-humide, le cas échéant. Les chiffres du haut de la fourchette correspondent au recyclage des poussières (sinon, des valeurs plus basses sont attendues) [2].

597. En ce qui concerne la production *de laine de verre*, les émissions de SO_2 sont souvent faibles en l'absence de tout équipement antipollution, étant donné que la quasi totalité des fours sont alimentés à l'électricité ou au gaz et qu'une quantité très faible de sulfates est utilisée. Pour les fours au mazout, il est nécessaire d'épurer les gaz acides afin de protéger l'équipement de nettoyage des poussières [2].

598. Pour la production *de laine de roche*, les valeurs obtenues grâce à la mise en œuvre de MTD correspondent à une situation où l'on donne la priorité au recyclage des déchets de procédé. Lorsque ces valeurs ne sont pas réalisées, la MTD est d'épurer les gaz acides (l'épuration par voie sèche étant sans doute la plus économique) [2].

Tableau 65
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans les fours de production de fibres minérales [2]

	Niveaux d'émission de la MTD[a] (mg/Nm³ ou kg/t)		
Source d'émissions	*Alimentation au gaz*	*Alimentation au mazout*	*Commentaires*
Production de fibre de verre à filament continu	<200; (0,9)	500-1 000 (2,25-4,5)	Si le mélange contient des sulfates, le gaz permet d'atteindre 800 mg/Nm³ maximum (3,6 kg/t). Pour l'alimentation au mazout, le haut de la fourchette correspond au recyclage des poussières.
Laine de verre	En général <50 (0,1)	300-1 000 (0,6-2,0)	En général, verre à faible teneur en sulfates
Laine de roche (four à coke) avec priorité à la minimisation des déchets et le recyclage	<600 (1,5) <1 100 (2,7) <1 400 (3,4)		a) Charge de roche b) 45 % d'agglomeré cimenté c) Agglomeré cimenté, y compris la poussière des filtres
Laine de roche (four à coke) avec priorité à la réduction du SO_2	<200 (0,5) <350 (0,8) <400 (1,0)		a) Charge de roche b) 45 % d'agglomeré cimenté c) Agglomeré cimenté, y compris la poussière des filtres
Fibre de céramique (four électrique)	<0,5 kg/t de produits fondus		Four électrique uniquement, concentration différente (cas par cas)

Note: Pour les gaz résiduaires: secs, teneur en oxygène de 8 % en volume (fusion continue), teneur en oxygène de 13 % en volume (fusion discontinue). Pour les systèmes à oxycombustion, l'expression des émissions corrigées à 8 % d'oxygène n'a que peu de valeur, les émissions provenant de ces systèmes devant être abordées en termes de masse.

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

b) NO_x

599. En ce qui concerne la *fibre de verre à filament continu*, la MTD est sans doute l'oxycombustion, bien que cette technique ne donne lieu à aucune conclusion ferme. La réduction catalytique sélective est peu susceptible d'être mise en œuvre dans un avenir proche en raison du risque de condensation de borates dans le catalyseur. Avec l'oxycombustion, il convient de veiller tout particulièrement au rendement énergétique, afin de ne pas réduire les capacités de réduction des émissions de NO_x.

600. Pour la *production de laine de verre*, la MTD est l'oxycombustion ou le four électrique; la chauffe conventionnelle associée à des mesures primaires ou secondaires est également considérée comme une MTD si les émissions restent dans les valeurs limite.

601. Les fours à cubilot utilisés pour la laine de roche ne dégagent pas beaucoup de NO_x; toutefois, lorsque des fours à cuve sont employés, les MTD pour le NO_x sont ceux qui s'appliquent à la production de laine de verre [2].

Tableau 66
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans les fours de production de fibres minérales [2]

Source d'émissions	*Niveaux d'émission de la MTD[a] mg/Nm^3 (ou kg/t)*	*Commentaires*
Fibre de verre à filament continu, oxycombustion	(0,5-1,5)	
Fibre de verre à filament continu, autre type de combustion	500-700	Secteur en période de transition concernant le contrôle du NO_x, émissions généralement supérieures à 1 000 mg/Nm^3 (4,5 kg/t), contre 800 mg/Nm^3 (3,6 kg/t) par combustion conventionnelle
Laine de verre	500-700 (0,5-1,4)	
Laine de roche	(0,5)	Fours à cuve: niveau de la laine de verre
Fibre de céramique	(<0,1-0,5)	

Note: Pour les gaz résiduaires: secs, teneur en oxygène de 8 % en volume (fusion continue), teneur en oxygène de 13 % en volume (fusion discontinue). Pour les systèmes à oxycombustion, l'expression des émissions corrigées à 8 % d'oxygène n'a que peu de valeur, les émissions provenant de ces systèmes devant être abordées en termes de masse.

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

602. De nombreuses informations contenues dans la partie sur la production de verre (chap. VII, sect. L) s'appliquent à la production de fibres minérales, comme par exemple le fait que les brûleurs d'oxycombustion réduisent le dégagement de gaz et de poussières résiduaires de 60 %. Les techniques de prévention et de contrôle de fin de chaîne les plus répandues sont l'installation de précipitateurs électrostatiques, qui réduisent les émissions à 30 mg/m^3, et les filtres en tissu (à manches), qui les réduisent à moins de 10 mg/m^3 [1].

603. Pour les *fibres de verre à filament continu*, la MTD de réduction des poussières est le précipitateur électrostatique ou le filtre en tissu combiné, le cas échéant, à un système d'épuration des gaz acides par voie sèche ou semi-humide. Dans ce secteur, le refroidissement des gaz résiduaires et le positionnement du système antipollution sont très

importants pour optimiser l'efficacité. Si l'équipement existant permet d'abaisser les émissions à 50 mg/Nm^3, les coûts de remplacement avant la reconstruction suivante risquent d'être disproportionnés par rapport aux avantages procurés [2].

604. Pour la production de *laine minérale (laine de verre et de roche)*, l'utilisation d'un précipitateur électrostatique ou d'un filtre en tissu est considérée comme une MTD, les systèmes d'épuration des gaz acides n'étant pas considérés nécessaires parce que les fours fonctionnent presque tous à l'électricité ou au gaz. Pour les procédés d'aval, un épurateur électrostatique par tour d'épuration ou en laine de roche (uniquement pour les procédés de laine de roche) est considéré comme une MTD.

605. Dans la production de *laine de verre*, le refroidissement des gaz résiduaires et le positionnement du système antipollution sont un moyen très important d'optimiser le rendement. Si l'équipement existant permet d'obtenir des niveaux d'émission de 50 mg/Nm^3, les coûts de remplacement avant la reconstruction suivante risquent d'être disproportionnés au regard des avantages procurés.

606. Pour la production de *fibre en céramique*, est considéré comme une MTD un four électrique avec un système de filtre en tissu [1].

607. La production de fibres minérales n'est pas considérée comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [4], [5] et [6]. Toutefois, les informations dans ce domaine sont rares. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait grâce aux MTD décrites ci-dessus, sous réserve qu'elles soient efficaces sur les particules fines.

Tableau 67
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans les fours de production de fibres minérales [2]

Source d'émissions	*Niveaux d'émission de la MTD*[a] *mg/Nm^3 (ou kg/t)*	*Commentaires*
Fibre de verre à filament continu	5-30; (<0,14)	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu (plus épurateur de gaz acides par voie sèche ou semi-humide le cas échéant) Si l'équipement existant permet d'obtenir des niveaux d'émission de 50 mg/Nm^3, les coûts de remplacement avant la reconstruction suivante risquent d'être disproportionnés.
Laine de verre	5-30 (<0,1)	Précipitateur électrostatique ou filtre en tissu
Laine de roche		Si l'équipement existant permet d'obtenir des niveaux d'émission de 50 mg/Nm^3, les coûts de remplacement avant la reconstruction suivante risquent d'être disproportionnés
Opérations d'aval des usines de laine minérale	20-50 5-30	Formage et polymérisation combinée Fours de polymérisation pour la laine de roche
Fibres en céramique	<10	

Note: Pour les gaz résiduaires: secs, teneur en oxygène de 8 % en volume (fusion continue), teneur en oxygène de 13 % en volume (fusion discontinue). Pour les systèmes à oxycombustion, l'expression des émissions corrigées à 8 % d'oxygène n'a que peu de valeur, les émissions provenant de ces systèmes devant être abordées en termes de masse.

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

d) COV

608. Dans la production de fibres minérales, on réduit les émissions de COV en utilisant des agents liants à faible teneur en solvant organique, des systèmes d'adsorption et d'incinération, ou ces deux procédés à la fois.

609. Pour les procédés relatifs à la *laine de roche*, est considérée comme une MTD l'utilisation d'une unité d'incinération thermique qui réduit les émissions du four de polymérisation.

610. Le tableau 67 montre les niveaux d'émission réalisables grâce au remplacement des agents liants classiques par des agents de nouvelle formule et à la destruction des émissions provenant des processus de formation et de polymérisation (incinération catalytique ou adsorption précédée par la précipitation des poussières) [1].

Tableau 68
Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD dans la production de fibres minérales [2]

Source d'émissions	*Niveaux d'émission de la MTD*[a] *mg/Nm*^{3} *(ou kg/t)*	*Commentaires*
Laine de verre	10-50 (0,12) [1]	Zone de formage et émissions combinées de formation et de polymérisation
Laine de roche	<10	Fours de polymérisation: l'incinération thermique est une MTD
Fibre céramique	10-20	

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

e) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre

611. Pour toutes les techniques de réduction ou d'atténuation des émissions mentionnées, il convient d'examiner le transfert de la pollution d'un milieu à un autre et tous les effets sur l'environnement et les améliorations possibles dans ce domaine. Ainsi, des efforts individuels visant à prévenir, à réduire ou à empêcher la production de produits polluants peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie ou de la production de résidus du traitement des déchets ou des eaux usées.

4. Nouvelles techniques

612. Le procédé Plasma melter, qui utilise la conductivité électrique du verre fondu et n'émet que des quantités négligeables de poussières, est une nouvelle technique. Toutefois, ce procédé ne devrait pas constituer une technique de fusion viable dans un avenir proche.

5. Coût des techniques de réduction des émissions

613. Les données générales relatives aux coûts des méthodes d'atténuation se trouvent à la section L du chapitre VII (production de verre).

Tableau 69
Coût des techniques antipollution (production de fibres seulement) [1]

Technique	*Débit habituel Nm^3/h*	*NO_x mg/Nm^3 ou (kg/t)*	*Poussières mg/Nm^3 ou (kg/t)*	*COV mg/Nm^3 ou (kg/t)*	*Investissement dans un nouveau procédé (M€)*	*Investissement dans un procédé existant (M€)*	*Coûts d'exploitation (M€/an)*
Épurateur à impact + cyclone	150 000-300 000		50 (1,8)	30 (1,8)	1,3 + 30 %	1,6 + 40 %	0,1 + 0,02
Épurateur à impact + cyclone +WEP	150 000-300 000		20 (1,2)	30 (1,8)	3,8 + 30 %	4,6 + 40 %	0,12 + 0,02
Épurateur à impact + cyclone +PBS	150 000-300 000		50 (1,8)	25 (1,8)	3,5 + 30 %	4,2 + 40 %	0,21 + 0,02
Plaque filtrante pour laine de roche	150 000-250 000		20 (0,7)	25 (1,0)	1,3 + 30 %	1,5 + 30 %	0,2 + 0,1
Incinérateur	150 000-300 000	200 (0,6)	20 (0,1)	10 (0,04)	1,3 + 40 %	1,6 + 30 %	0,2 + 0,1
Cheminées, conduites et gaines d'évacuation	150 000-300 000				0,7 + 40 %	0,8 + 40 %	

Références de la section M du chapitre VII

[1] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies 2006. Projet de document d'orientation, «Assessment of technological developments: Best Available Techniques (BAT) and limit values», présenté à l'Équipe spéciale des métaux lourds de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies, Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance.

[2] Commission européenne. 2001: «Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Glass Manufacturing Industry», disponible à l'adresse http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

[3] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies. 2003, «Background document on the sector of glass industry», Genève (disponible dans la section EGTEI du site de la CITEPA, http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm).

[4] Programme des Nations Unies pour l'environnement/OMM − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[5] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

[6] EPA, rapport au Congrès américain sur le noir de carbone, mars 2012.

Ouvrages généraux

US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)). 1995. «AP-42 Section 11.15, Glass Manufacturing», Washington.

US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)). Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart CC − Standards of Performance for Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 60, Washington.

EPA (États-Unis). 1995 .Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart E − Float Glass Manufacturing Subcategory40 CFR Part 426, Washington.

Documents techniques de travail pour l'actualisation et la mise à jour des protocoles de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies relatifs à la réduction des flux transfrontières d'oxydes d'azote provenant de sources fixes, DFIU, 1999.

N. Céramique

1. Objet

614. Ce secteur recouvre les installations destinées à la fabrication de produits céramiques par cuisson − tuiles, briques, briques réfractaires, carrelage, grès ou porcelaines − ayant une capacité de production supérieure à 75 t par jour et/ou une capacité de four de plus de 4 m^3 et une densité d'enfournement de plus de 300 kg/m^3 par four [1].

2. Sources d'émissions

615. La fabrication de produits céramiques s'effectue dans différents types de fours, à partir d'un vaste éventail de matières premières. Globalement, le procédé de fabrication d'un produit céramique est toutefois relativement uniforme, en dehors du fait que la fabrication de certains produits nécessite souvent plusieurs étapes de cuisson [1].

616. Les principales étapes du procédé sont les suivantes:

a) Préparation des matières premières et mélange des composants;

b) Formage et façonnage des pièces, décoration;

c) Séchage;

d) Cuisson;

e) Finition;

f) Ajout de matériaux auxiliaires [2].

617. En général, les matières premières sont mélangées et coulées, pressées ou extrudées pour prendre forme. On emploie régulièrement de l'eau pour bien les malaxer et les façonner. Cette eau s'évapore dans des séchoirs et les produits sont placés dans le four soit manuellement (c'est le cas notamment des fours intermittents) soit sur des wagons qui sont acheminés à travers des fours continus ou à rouleaux. La fabrication de granulats d'argile expansée fait appel à des fours rotatifs. Il faut un gradient de température extrêmement précis pendant la cuisson pour garantir que les produits subissent la transformation adéquate. Aujourd'hui, la cuisson se fait au gaz naturel, au gaz de pétrole liquéfié et au fioul léger, tandis que le fioul lourd, le gaz naturel liquéfié, le biogaz/la biomasse, l'électricité et les combustibles solides sont encore utilisés dans les brûleurs. Les principaux problèmes de pollution sont les émissions atmosphériques de poussières et de gaz (oxydes de carbone, oxydes d'azote, oxydes de soufre, etc.) [1], [3].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

618. On peut réduire tous les polluants énumérés ci-après en diminuant la consommation d'énergie. Dans ce but, la démarche MTD consiste à mettre en œuvre une combinaison des techniques suivantes:

a) Amélioration de la conception des fours et des séchoirs;

b) Récupération de la chaleur provenant des fours, et notamment de leur zone de refroidissement;

c) Changement de combustible dans le procédé de cuisson (remplacement du fioul lourd et des combustibles solides);

d) Modification des pâtes céramiques.

619. Est en outre considéré comme une MTD le fait de diminuer la consommation d'énergie par la cogénération, en fonction de la demande en chaleur utile et dans le cadre de dispositifs réglementaires énergétiques économiquement viables [1].

a) SO_2

620. La quantité de SO_2 contenu dans les gaz d'échappement des fours de céramique dépend de la teneur en soufre du carburant et de certaines matières premières (gypse, pyrite, etc.). La présence de carbonates dans les matières premières réduit toutefois les émissions de soufre. En général, pour réduire les émissions de SO_2, il faut utiliser des combustibles à faible teneur en soufre (comme le gaz naturel ou le GPL) et des matières premières et des additifs pâteux à faible teneur en soufre. L'optimisation de la cuisson et l'abaissement de la température de cuisson, mais aussi l'utilisation d'épurateurs par voie sèche ou humide réduisent aussi les émissions [4].

Tableau 70
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de céramique [1]

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés à la MTD*[a] *mg/Nm³*	*Commentaires*
Gaz de combustion des fours	<500	Teneur en soufre des matières premières <0,25 %
	500-2 000	Teneur en soufre des matières premières >0,25 %; la valeur haute s'applique uniquement aux matières premières très chargées en soufre

Note: Conditions de référence − teneur en oxygène = 18 %.

Les directives de la SFI donnent une valeur générale de 400 mg/Nm³ pour les fours utilisés dans la fabrication de carreaux céramiques à 10 % d'O_2 ou de 110 mg/Nm³ à 18 % d'O_2.

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

b) *NO_x*

621. Les méthodes de réduction des émissions gazeuses dans l'industrie de la céramique se résument à une réduction de l'apport de précurseurs de polluants (matières premières et additifs) et à une optimisation de la courbe de chauffage (pic optimal des températures de flamme, commande automatique de la cuisson).

622. Pour les granulats d'argile expansée, est considérée comme une MTD toute combinaison de mesures ou techniques primaires visant à maintenir les émissions provenant des fours rotatifs en dessous de la valeur correspondant à la MTD [1], [4].

Tableau 71
Niveaux de NO_x correspondant aux MTD émis par les fours de céramique [1]

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés à la MTD*[a] *mg/Nm*^{3}	*Commentaires*
Gaz de combustion provenant du four de cuisson	<250	Valeur moyenne journalière en équivalent NO_2 pour des températures de four inférieures à 1 300 °C
	<500	Valeur moyenne journalière en équivalent NO_2 pour des températures de four supérieures ou égales à 1 300 °C
Gaz de combustion provenant du four de cuisson (granulats d'argile expansée)	<500	Valeur moyenne journalière

Note: Conditions de référence − teneur en oxygène = 18 %.

Les directives de la SFI donnent une valeur générale de 400 mg/Nm^3 pour les fours utilisés dans la fabrication de carreaux céramiques à 10 % d'O_2 ou de 164 mg/Nm^3 à 18 % d'O_2.

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

c) *Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)*

i) MTD générales

623. Le traitement des argiles et autres matières premières céramiques conduit inévitablement à la formation de poussières; le séchage, le concassage, le broyage, le criblage, le mélangeage et le convoyage en particulier soulèvent de fines poussières. Les combustibles utilisés contribuent aussi à ces dégagements. Alors qu'il convient de réduire les émissions de poussières diffuses par des mesures appropriées (utilisation de silos de stockage de toutes les matières poussiéreuses, de zones de stockage confinées dans des bâtiments ou de conteneurs ou d'emballages étanches), pour les émissions canalisées de poussières, la MTD consiste à utiliser des filtres en tissu.

624. Pour le séchage, on considère comme une MTD le fait de nettoyer le séchoir, d'éviter l'accumulation de résidus de poussières dans le séchoir et d'adopter des protocoles d'entretien adaptés.

625. Pour la cuisson au four, la MTD consiste à utiliser des combustibles à faible teneur en cendres, à minimiser la formation de poussière engendrée par le chargement des produits destinés à la cuisson au four et à utiliser des filtres ou des absorbeurs à lit à garnissage [1], [2].

626. La production de céramique n'est pas considérée comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [6] et [7]. Toutefois, les informations dans ce domaine sont rares. Comme cela est expliqué dans la section A du chapitre VI, le noir de carbone est émis lorsque la combustion est incomplète et en période de démarrage. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait grâce aux MTD décrites ci-dessus, sous réserve qu'elles soient efficaces sur les particules fines.

ii) MTD spécifiques au secteur

627. Pour le carrelage mural et de sol, les céramiques domestiques, les sanitaires, les céramiques techniques et les tuyaux en grès vitrifié, l'utilisation de filtres en tissu ou de filtres à lamelles en matériau fritté est considérée comme une MTD de réduction des émissions de poussières captées à la source, dues aux procédés de glaçure par pulvérisation.

628. Pour le carrelage mural et de sol, les céramiques domestiques et les céramiques techniques, l'utilisation de filtres en tissu ou de cyclones couplés à des dépoussiéreurs hydrauliques dans les installations existantes, si l'eau de rinçage peut être réutilisée, est considérée comme une MTD de réduction des émissions de poussières captées à la source, dues aux procédés d'atomisation par pulvérisation.

629. Pour les granulats d'argile expansée, l'utilisation de précipitateurs électrostatiques ou de dépoussiéreurs humides est considérée comme une MTD de réduction des émissions de poussières captées à la source et provenant des gaz d'évacuation chauds.

630. Pour le carrelage mural et de sol, le nettoyage des gaz d'évacuation des fours au moyen d'un filtre en tissu est considéré comme une MTD de réduction des émissions de poussières [1].

Tableau 72
Niveaux de poussières correspondant aux MTD émises dans la production de céramique [1]

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés à la MTD*[a] *mg/Nm*^{3}	*Commentaires*
MTD générales		
Émissions captées à la source provenant d'opérations autres que le séchage, l'atomisation par pulvérisation ou la cuisson	1-10	Valeur moyenne demi-horaire par application d'un filtre en tissu; dans certaines conditions, cette valeur peut être plus élevée.
Procédés de séchage	1-20	Moyenne journalière
Cuisson au four	1-20	Moyenne journalière; nettoyage des gaz d'évacuation par un filtre
	<50	Moyenne journalière; nettoyage des gaz d'évacuation par un absorbeur à lit à garnissage de type cascade.
MTD spécifiques au secteur		
Glaçure par pulvérisation (Carrelage mural et de sol, céramiques domestiques, sanitaires, céramiques techniques, tuyaux en grès vitrifié)	1-10	

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés à la MTD*[a] *mg/Nm*^{3}	*Commentaires*
Atomisation par pulvérisation (Carrelage mural et de sol, céramiques domestiques, sanitaires, céramiques techniques)	1-30 1-50	Valeur moyenne demi-horaire; filtres en tissu Cyclones combinés à des dépoussiéreurs hydrauliques pour les installations existantes si l'eau de rinçage peut être réutilisée
Granulats d'argile expansée	5-50	Moyenne journalière
Cuisson au four (carrelage mural et de sol)	1-5	Moyenne journalière

Note: Conditions de référence – teneur en oxygène = 18 %.

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

d) COV

631. Les émissions de composés organiques volatils (COV) proviennent d'une combustion incomplète et des matières organiques contenues dans les matières premières (liants, plastifiants, lubrifiants).

632. Pour les briques et les tuiles, les produits réfractaires, les céramiques techniques et les abrasifs agglomérés vitrifiés, est considérée comme une MTD une postcombustion thermique dans un réacteur thermique à une ou à trois chambres qui réduit les émissions provenant des gaz résultant de la cuisson (concentration dans les gaz bruts de l'ordre d'au moins 100 à 150 mg/m^3, suivant les caractéristiques du gaz brut, c'est-à-dire composition, température) à la valeur correspondant à la MTD.

633. Pour les produits réfractaires traités par des composés organiques, l'utilisation de filtres à charbon actif pour réduire les COV des dégagements gazeux de faible volume constitue une MTD. Pour les dégagements gazeux importants, tout système de postcombustion thermique qui réduit les émissions de COV résultant du traitement par des composés organiques constitue une MTD [1], [5].

Tableau 73
Niveaux de COV correspondant aux MTD émis dans la production de céramique [1]

Source d'émissions	*Niveaux d'émission associés à la MTD*[a] *mg/Nm*^{3}	*Commentaires*
Dégagements gazeux des procédés de cuisson des briques et tuiles, produits réfractaires, céramiques techniques et abrasifs agglomérés vitrifiés	5-20	Pour les concentrations dans les gaz bruts de plus de 100-150 mg/m^3; valeur journalière moyenne (C total); postcombustion thermique dans un réacteur à 1 ou à 3 chambres
Produits réfractaires	5-20	Postcombustion thermique

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

e) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre

634. Pour toutes les techniques de réduction ou d'atténuation des émissions mentionnées, il convient d'examiner le transfert de la pollution d'un milieu à un autre et tous les effets sur l'environnement et les améliorations possibles dans ce domaine. Ainsi, des efforts individuels visant à prévenir, à réduire ou à empêcher la production de produits polluants peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie ou de la production de résidus du traitement des déchets ou des eaux usées.

4. Nouvelles techniques

635. L'utilisation de brûleurs à tube radiant (flamme placée à l'intérieur d'un tube résistant à la chaleur, en cours de développement) peut réduire le HF et les émissions de SO_2. La cuisson assistée par micro-ondes et les séchoirs à micro-ondes visent à raccourcir les cycles de cuisson et à réduire les températures excessives. Les produits réfractaires de grande taille sont séchés plus efficacement si on place des feuilles d'acier ou des fibres de carbone comme élément chauffant dans le mélange réfractaire [1].

5. Coûts des techniques de réduction des émissions

Tableau 74
Coût des différentes méthodes antipollution dans la production de céramique [1]

Système ou type de nettoyage	*Domaine d'application*	*Absorbant/ adsorbant*	*Dimensions/débits courants dans l'industrie céramique (m^3 réels/h)*[a]	*Estimation brute de l'investissement (€)*	*Maintenance (€/an)*	*Coût du sorbant (€/t) (€/an)*	*Coût d'exploitation (€/t)*
Réduction des poussières							
Filtre en tissu/ Filtre à manches	Zones complètes de l'installation, préparation, convoyage, stockage, zone de façonnage, lieux de transfert, etc.		900 à 70 000	6 000-150 000 (selon la taille et le nombre de conduits)			0,03-0,1
Aspirateur central	Zones complètes de l'installation, préparation, convoyage, stockage, zone de façonnage, lieux de transfert, wagonnets de four, etc.		900 à 1 000	25 000-65 000 (selon le nombre de conduits/ canalisations)			
Système de nettoyage des wagonnets de four (différents modes d'exécution: buse fixe, buse mobile, levage et réglage du plateau)	Wagonnets de four		8 000 à 30 000	40 000-200 000 (selon la taille et le mode d'exécution)			
Précipitateur électrostatique	Traitement des poussières dans des flux d'effluents gazeux chauds et de gros volume		Jusqu'à 100 000	1 000 000-3 000 000			0,1-0,2
Traitement des composés inorganiques gazeux							
Système modulaire	Réduction de HF principalement	$Ca(OH)_2$ en nid d'abeille	Débits très bas	45 000-100 000	~500	~46 000 €/an	

Système ou type de nettoyage	*Domaine d'application*	*Absorbant/ adsorbant*	*Dimensions/débits courants dans l'industrie céramique (m^3 réels/h)*[a]	*Estimation brute de l'investissement (€)*	*Maintenance (€/an)*	*Coût du sorbant (€/t) (€/an)*	*Coût d'exploitation (€/t)*
Absorbeur à lit à garnissage de type cascade	Réduction de HF principalement	$CaCO_3$	2 500 à 140 000 (sans limite inférieure ou supérieure)	40 000-500 000	~2 000	30-55 €/t (livré) 4 000-30 000 €/an	23 400-4 800
Absorbeur à lit à garnissage de type cascade	Réduction de HF, HCl et SO_2 principalement	Absorbant modifié/ fabriqué	2 500 à 140 000 (sans limite inférieure ou supérieure)	40 000-500 000	~2 000	95-110 €/t (livré) jusqu'à 60 000 €/an	
Absorbeur à lit à garnissage de type à contrecourant/ modules série	Réduction de HF, HCl et SO_2 principalement	$CaCO_3$ et absorbant modifié/ fabriqué	2 500 à 140 000 (sans limite inférieure ou supérieure)	80 000-800 000	~2 500	30-55 €/t (livré) respectivement 95-110 €/t (livré)	
Sorption par voie sèche avec un filtre à manches (système de courant ascendant)	Réduction de HF, HCl et SO_2 et particules principalement	$Ca(OH)_2$ de différentes qualités	2 500 à 140 000 (sans limite inférieure ou supérieure)	80 000-1 000 000	~4 000	95-110 €/t (livré) 8 000-45 000 €/an	107 500-130 700
Sorption par voie sèche avec un filtre à manches (système de courant ascendant) avec conditionnement du produit de réaction	Réduction de HF, HCl et SO_2 et particules principalement	$Ca(OH)_2$ de différentes qualités (avec ajout d'eau en faible quantité)	2 500 à 140 000 (sans limite inférieure ou supérieure)	200 000-1 600 000	~6 500	95-110 €/t (livré) 8 000-45 000 €/an	107 500-130 700
Épurateur par voie humide	Réduction des hydrocarbures et du SO_2 principalement	Eau alcaline	2 500 à 140 000 (sans limite inférieure ou supérieure)	400 000–2 000 000	Jusqu'à 8 000	95-110 €/t (livré) 8 000-45 000 €/an + eau	
Traitement des COV							
Postcombustion thermique dans un thermoréacteur (externe)	Réduction des COV		10 000-50 000	180 000-420 000	500- 4 500		
Combustion interne du gaz de carbonisation	Réduction des COV			42 000-300 000	500-8 000		

Note: La colonne «dimensions/débits courants» et la colonne «estimation brute de l'investissement» affichent des plages. On peut raisonnablement supposer que les chiffres bas en m^3 réel/h correspondent au chiffre bas en termes d'investissement en euros et que le chiffre haut en m^3 réel correspond au chiffre haut en termes d'investissement en euros. Entre les deux, l'augmentation n'est pas linéaire car normalement, plus le volume en m^3 réel/h est élevé, moins l'investissement par m^3 réel est cher.

[a] Les débits sont exprimés en «m^3 réel» (par opposition au m^3 normal, à l'état normal) car ce sont les effluents gazeux réels qu'il faut traiter.

Références de la section N du chapitre VII

[1] Commission européenne. 2007: «Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Fabrication des céramiques», disponible à l'adresse http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

[2] DEFRA 2007: Sector Guidance Note IPPC SG7 − Secretary of State's Guidance for the A2 Ceramics Sector including Heavy Clay, Refractories, Calcining Clay and Whiteware, disponible à l'adresse http://www.defra.gov.uk.

[3] Rentz, O., A. Schmittinger, R. Jochum et F. Schultmann (2002): Exemplarische Untersuchung der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Keramischen Industrie unter Beachtung der IVU-Richtlinie und der Erstellung von BVT-Merkblättern, DFIU-IFARE Karlsruhe, rapport pour le Ministère allemand de l'environnement (Umweltbundesamt), Allemagne, 221 pages.

[4] SFI 2007. Société financière internationale (Groupe Banque mondiale): Environmental, Health, and Safety Guidelines for Ceramic Tile and Sanitary Ware Manufacturing.

[5] US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)). 1995. «AP-42 Section 11.15, Glass Manufacturing», Washington.

[6] Programme des Nations Unies pour l'environnement/OMM – Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[7] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

Ouvrages généraux

US Environmental Protection Agency (EPA (États-Unis)). Standards of Performance for New Stationary Sources. Subpart CC − Standards of Performance for Glass Manufacturing Plants, 40 CFR Part 60, Washington.

EPA (États-Unis) 1995.Glass Manufacturing Point Source Category. Subpart E − Float Glass Manufacturing Subcategory40 CFR Part 426, Washington.

Beerkens 2007, «Evaluation of costs associated with air pollution control for glass melting furnaces − A study to support the revision of the IPPC reference document on best available techniques in the glass manufacturing industry 2008», commandé par le CPIV, Bruxelles (Belgique).

Commission européenne. 2007, Proposition de directive du Parlement européen et du Conseil relative aux émissions industrielles (prévention et réduction intégrées de la pollution) (refonte).

O. Production de pâte à papier[7]

1. Objet

636. La présente section couvre les procédés de fabrication de pâtes au sulfate (pâte kraft) et au bisulfite, qui sont les plus répandus. La production de pâte à papier [5] émet des oxydes d'azote (NO_x), du dioxyde de soufre (SO_2) et des poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone).

2. Sources d'émissions

637. Pour les procédés chimiques de fabrication, comme c'est le cas de la pâte kraft et de la pâte au bisulfite, il faut du bois, qui est d'abord écorcé, puis détaillé en copeaux criblés par la suite. La matière enlevée lors de cette opération peut être utilisée comme combustible solide ou être vendue pour d'autres utilisations.

638. La matière criblée est ensuite cuite dans un lessiveur, en présence de différents produits chimiques, en fonction du procédé utilisé. Le lessivage peut se faire en continu ou en discontinu.

639. Le *procédé au sulfate (papier kraft)* est le plus courant, en raison de la qualité de la pâte obtenue et de la possibilité de traiter toutes les essences de bois.

640. Dans le procédé au sulfate, le lessivage consiste à séparer la fibre des copeaux calibrés au moyen d'une solution de liqueur blanche qui dissout la lignine. La liqueur blanche se compose d'hydroxyde de sodium et de sulfure de sodium.

641. La pâte qui s'est formée dans le lessiveur contient des fibres et de la liqueur résiduaire de cuisson, la liqueur noire. Celle-ci est éliminée de la pâte durant le lavage, puis envoyée vers le circuit de récupération des produits chimiques et de l'énergie. Le système de récupération permet normalement d'assurer l'autonomie des usines en chaleur et en énergie.

642. Après la cuisson, la délignification se poursuit par un procédé à l'oxygène, puis la pâte est épurée.

643. L'étape suivante est le blanchiment, qui sert uniquement à obtenir une pâte plus brillante. Cette opération se fait en plusieurs étapes, généralement de quatre à cinq. Les agents blanchissants les plus utilisés dans ces étapes sont le dioxyde de chlore, l'oxygène, l'ozone et le peroxyde.

644. Après blanchiment, la pâte est épurée.

645. Selon le type d'usine − usine de pâte ou usine intégrée de pâte et de papier −, au stade final, la pâte est séchée pour être acheminée ailleurs ou être directement utilisée telle quelle [1], [5].

646. Après la cuisson, la liqueur noire est séparée de la pâte et traitée pour récupération. Pour devenir un combustible performant, la liqueur noire récupérée doit être concentrée. Elle est concentrée par évaporation, jusqu'à ce que sa teneur en solides secs soit comprise entre 65 % et 75 %. Au cours de l'évaporation, des gaz non condensables et des condensats sont récupérés. Les gaz non condensables sont brûlés avec les gaz malodorants, tandis que les condensats sont épurés et utilisés comme produits de lessivage des copeaux.

[7] Les informations contenues dans cette partie sont proviennent du BREF sur l'industrie papetière [1], actuellement en cours de révision à l'Institut des études de prospective technologique, à Séville (IPTS).

647. La liqueur noire concentrée est brûlée dans une chaudière de récupération, pour récupérer le sodium et le soufre qu'elle contient sous une forme chimique adaptée, permettant de régénérer les produits chimiques de cuisson et de récupérer l'énergie provenant de la combustion [1], [5].

648. Ce système de récupération permet aussi la reformation des produits chimiques. Les matières fondues dans la chaudière sont récupérées et dissoutes dans de l'eau ou de la liqueur blanche. La solution est ensuite clarifiée et caustifiée au moyen de chaux, avec conversion de la chaux en hydroxyde de sodium, qui fournit la liqueur blanche.

649. Le carbonate de calcium résultant de la caustification est calciné dans un four à chaux, pour régénérer la chaux.

650. Les émissions dans l'atmosphère liées à ce procédé proviennent essentiellement du four de récupération, du four à chaux, des chaudières auxiliaires et du séchage de la pâte.

651. La chaudière de récupération est la principale source d'émissions dans le procédé au sulfate. En effet, elle est alimentée en liqueur noire concentrée, ce qui entraîne des émissions de NO_x, de SO_2 et de poussières, dont l'importance est influencée par l'efficacité de la combustion et la teneur en soufre de la liqueur noire. Le *four à chaux* produit également des émissions (voir la section K-2 du chapitre VII).

652. La chaudière à écorces et d'autres types de chaudières servent de chaudières auxiliaires dans le procédé kraft, en produisant l'énergie nécessaire à la production de pâte. Ces chaudières sont alimentées avec des combustibles solides, liquides ou gazeux [1].

653. Le procédé au *bisulfite* est moins répandu que le procédé au sulfate, en raison de la qualité moindre de la pâte obtenue et du fait que toutes les essences de bois ne peuvent être traitées.

654. Ce procédé est le même que celui au sulfate, mais les produits chimiques employés sont différents. Par conséquent, la récupération et la régénération varient légèrement.

655. La liqueur blanche utilisée dans le lessiveur se compose d'un mélange de sulfite et de bisulfite de magnésium. La plupart du temps, la cuisson se fait de façon discontinue.

656. Comme dans le processus au sulfate, les produits chimiques et l'énergie sont récupérés pour permettre à l'usine d'être autonome en production de chaleur et d'énergie.

657. Les émissions dans l'atmosphère liées à ce procédé proviennent des mêmes sources que dans le procédé au sulfate, la chaudière de récupération étant la principale source d'émissions [1].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

658. Sauf indication contraire, les chiffres correspondent à des moyennes annuelles, dans des conditions standard et pour une teneur en oxygène de référence de:

a) 6 % pour un combustible solide ou un biocarburant;

b) 3 % pour un combustible liquide ou gazeux.

a) SO_2

i) Procédé au sulfate

659. La chaudière de récupération est à l'origine de la plupart des émissions de SO_2. Par conséquent, toute MTD visant à réduire les émissions de ce gaz dans l'industrie de la pâte à papier doit porter sur les chaudières de récupération.

660. Les gaz malodorants dégagés au stade de la cuisson, de la délignification et de l'évaporation de la liqueur noire doivent être recueillis et incinérés dans le four à chaux, la chaudière de récupération ou les chaudières auxiliaires. Les émissions provenant de l'incinération doivent être maîtrisées.

661. Dans la chaudière de récupération, l'utilisation d'une liqueur noire à forte teneur en matière sèche est une mesure primaire de réduction des émissions de SO_2. Une teneur élevée en matières sèches, supérieure à 75 %, réduit considérablement ces émissions.

662. Afin de réduire les émissions de SO_2 provenant de la chaudière de récupération, une mesure secondaire consiste à mettre en place un épurateur par voie humide des effluents gazeux. Ce dispositif élimine le SO_2 et les poussières. Le pH est contrôlé et régulé par ajout de liqueur ou d'hydroxyde de sodium. Le SO_2 réagit avec le liquide de lavage pour donner du sulfite de sodium (Na_2SO_3) ou du sulfate de sodium (Na_2SO_4). En général, le rendement de ce dispositif est supérieur à 90 %. À partir de concentrations initiales de 50 à 200 mg/Mm^3, on peut obtenir des concentrations de 10 à 50 mg/m^3.

663. La diminution du SO_2 dégagé par d'autres chaudières passe par l'utilisation de combustibles à faible teneur en soufre ou d'un épurateur [1].

664. Le tableau suivant offre un aperçu des niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux différentes MTD dans le procédé de production de pâte à papier au sulfate.

Tableau 75
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au sulfate [1]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg S/Nm^3)*
Chaudière de récupération (5 % O_2)	Épurateur de SO_2 *Si* liqueur noire à teneur élevée de matière sèche (>75 %)	10-50 *Avec la MTD*, 5-10
Chaudières auxiliaires	Combustible à faible teneur en soufre	100-200[a] 25-50[b] <5[c] <15[d]
	Épurateur de SO_2	50-100[a]

[a] Alimentation au charbon ou au fioul lourd.
[b] Alimentation au gazole.
[c] Alimentation au gaz.
[d] Alimentation à un biocarburant.

ii) Procédé au bisulfite

665. Comme dans le procédé au sulfate, la chaudière de récupération est à l'origine de la plupart des émissions de SO_2.

666. Des mesures primaires similaires peuvent être employées pour réduire les émissions.

667. Afin de réduire le SO_2 émis par la chaudière de récupération, un laveur de gaz de combustion multiétagé peut être utilisé. Les mesures s'appliquant au procédé au sulfate s'appliquent aux émissions des autres chaudières, dans le procédé au bisulfite.

668. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans l'industrie de la pâte à papier au bisulfite.

Tableau 76
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au bisulfite [1]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg S/Nm^3)*
Chaudière de récupération (5 % d'O_2)	Laveur de gaz de combustion multiétagé	50-150
Autres chaudières	Combustible à faible teneur en soufre	100-200[a] 25-50[b] <5[c] <15[d]
	Épurateur de SO_2	50-100[a]

[a] Alimentation au charbon ou au fioul lourd.
[b] Alimentation au gazole.
[c] Alimentation au gaz.
[d] Alimentation à un biocarburant.

b) NO_x

i) Procédé au sulfate

669. La chaudière de récupération et le four à chaux sont à l'origine de la plupart des émissions de NO_x. La chaudière de récupération émet l'essentiel des NO_x en raison des quantités importantes de liqueur noire brûlée. Les niveaux d'émission peuvent être réduits par l'utilisation de brûleurs dégageant peu de NO_x et d'une modification des conditions de combustion, c'est-à-dire par l'utilisation d'un système d'alimentation étagée de l'air.

670. La température élevée de combustion dans le four à chaux est également à l'origine de dégagements de NO_x. Le niveau des émissions est fonction du type de combustible utilisé. Le réglage de certains paramètres de fonctionnement, tels que la forme de la flamme ou la répartition de l'air, sont indiquées (mesures primaires).

671. Dans l'industrie de la pâte à papier, les chaudières auxiliaires ont des capacités très différentes (de 10 à plus de 200 MW). Par conséquent, elles font l'objet de mesures différentes. Dans les petites chaudières, des mesures structurelles et primaires sont rentables, tandis que les chaudières de grande taille se prêtent à l'application de mesures secondaires [1].

672. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans le procédé de fabrication de pâte à papier au sulfate.

Tableau 77
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la fabrication de pâte à papier au sulfate [1]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Chaudière de récupération (5 % O_2)	Brûleurs dégageant peu de NO_x, Alimentation étagée de l'air	80-120

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant à la MTD (mg/Nm^3)*
Four à chaux	Réglage de certains paramètres:	
	Alimentation au pétrole	80-180[e]
	Alimentation au gaz	300-540[e]
Chaudières auxiliaires	Mesures structurelles et primaires	80-110[a]
		45-60[b]
		30-60[c]
		60-100[d]
	RNCS	50-80[a]
		40-70[d]

[a] Alimentation au charbon ou au fioul lourd.
[b] Alimentation au gazole.
[c] Alimentation au gaz.
[d] Alimentation à un biocarburant.
[e] Niveaux d'émission reproduits à l'identique du BREF [1]. Toutefois, 300-540 correspond à une alimentation au pétrole et 80-180 à une alimentation au gaz.

ii) Procédé au bisulfite

673. La chaudière de récupération est à l'origine de la plupart des émissions de NO_x. Par conséquent, les émissions provenant de ces chaudières peuvent être réduites grâce aux méthodes qui s'appliquent au procédé au sulfate.

674. Le tableau suivant offre un aperçu des niveaux d'émission de NO_x correspondant aux différentes MTD dans le procédé de production de pâte à papier au bisulfite.

Tableau 78
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au bisulfite [1]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*
Chaudière de récupération (5 % O_2)	Brûleurs dégageant peu de NO_x, alimentation étagée en air	200-300
Chaudières auxiliaires	Mesures structurelles et primaires	80-110[a]
		45-60[b]
		30-60[c]
		60-100[d]
	RNCS	50-80[a]
		40-70[d]

[a] Alimentation au charbon ou au fioul lourd.
[b] Alimentation au gazole.
[c] Alimentation au gaz.
[d] Alimentation à un biocarburant.

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

i) Procédé au sulfate

675. Dans les fabriques de pâte kraft, les poussières proviennent principalement du four à chaux, de la chaudière auxiliaire et de la chaudière à récupération. Les émissions sont contrôlées par un précipitateur électrostatique ou des épurateurs de SO_2, en fonction de la source d'émissions. Des filtres en tissu sont aussi utilisables [7].

676. Les épurateurs de SO_2 utilisés dans les chaudières permettent aussi de maîtriser les émissions de poussières.

677. Pour les nouvelles chaudières, seul le précipitateur électrostatique est considéré comme une MTD pour les poussières. Pour les chaudières existantes, il est nécessaire de combiner précipitateur électrostatique et épurateurs. La combinaison de ces deux techniques permet d'obtenir des émissions d'environ 15 mg/Nm^3.

678. Le tableau suivant offre un aperçu des niveaux d'émission de poussières correspondant aux différentes MTD dans le procédé de production de pâte à papier au sulfate.

679. La production de pâte à papier n'est pas considérée comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [9], [10] et [12]. Toutefois, les informations dans ce domaine sont rares. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait grâce aux MTD décrites ci-dessus, qui sont efficaces sur les particules fines.

Tableau 79
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au sulfate [1], [2]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*
Four à chaux	Précipitateur électrostatique	Poussières: 30-50
Chaudières de récupération (5 % O_2)	Précipitateur électrostatique et épurateurs de SO_2	Poussières: 30-50
Chaudières auxiliaires	Précipitateur électrostatique	Poussières: 10-30[a] Poussières: 10-40[b] Poussières: <5[c]

[a] Alimentation au charbon, à un biocarburant ou au gazole.
[b] Alimentation au fioul lourd.
[c] Alimentation au gaz.

ii) Procédé au bisulfite

680. Dans les fabriques de pâte au bisulfite, les poussières proviennent principalement du four à chaux, de la chaudière auxiliaire et de la chaudière à récupération. Les émissions sont contrôlées au moyen des mêmes dispositifs que ceux du procédé au sulfate.

681. Le tableau suivant offre un aperçu des niveaux d'émission de poussières correspondant aux différentes MTD dans le procédé de production de pâte à papier au bisulfite.

682. La production de pâte à papier n'est pas considérée comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [9], [10] et [12]. Toutefois, les données sur ces émissions sont rares. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait grâce aux MTD décrites ci-dessus, qui sont efficaces sur les particules fines.

Tableau 80
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans la production de pâte à papier au bisulfite [1], [2]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*
Chaudières de récupération (5 % O_2)	Précipitateur électrostatique et épurateurs de SO_2	Poussières: 5-20
Chaudières auxiliaires	Précipitateur électrostatique	Poussières: 10-30[a] Poussières: 10-40[b] Poussières: <5[c]

[a] Alimentation au charbon ou à un biocarburant.
[b] Alimentation au fioul lourd.
[c] Alimentation au gaz.

4. Nouvelles techniques

683. L'installation de dispositifs de réduction non catalytique sélective sur les chaudières de récupération, qui sont les principales sources de NO_x, est considérée comme une nouvelle technique antipollution dans l'industrie de la pâte à papier. Il s'agit d'une nouvelle application d'une technique répandue.

684. L'investissement correspondant à une installation complète de réduction non catalytique sélective (procédé NO_xOUT) sur une chaudière de récupération (charge en liqueur noire de 1 600 t de matières sèches par jour) est compris entre 2,2 et 2,8 millions d'euros environ.

685. En raison d'un faible taux d'utilisation, aucune nouvelle technique n'a été identifiée pour la réduction des émissions dans le procédé au bisulfite [1].

5. Coût des méthodes de réduction

686. L'épurateur de SO_2 au niveau de la chaudière de récupération est généralement fourni au complet par le fournisseur. L'investissement pour une usine de pâte kraft blanchie avec une capacité de production de 250 000 à 500 000 t/an s'élève respectivement à 7,2 et 10,4 millions d'euros. Ce coût englobe l'épurateur, les pompes de l'épurateur, les pompes de circulation les équipements électriques et l'instrumentation. Les coûts d'exploitation se chiffrent respectivement à 0,58 et 0,92 million d'euros par an [1].

687. L'investissement requis pour ajouter une installation de réduction non catalytique sélective à la chaudière à écorce dans une usine présentant la même capacité de production est compris entre 0,7 et 1,15 million d'euros. Ce coût englobe le matériel d'injection, la tuyauterie, les pompes, les réservoirs et la reconstruction/adaptation de la chaudière. Les coûts d'exploitation concernent essentiellement l'urée, dont 1 à 2 kg sont nécessaires par kg de NO_x éliminé [1].

688. L'installation d'un précipitateur électrostatique coûte entre 3 et 4 millions d'euros pour la chaudière à écorce (chaudière auxiliaire) et entre 5 et 6 millions d'euros pour le four à chaux. Dans les deux cas, les coûts d'exploitation sont inférieurs à 0,3 million d'euros par an [1].

689. L'investissement dans une technique dégageant peu de NO_x mise en œuvre dans une chaudière auxiliaire ou un four à chaux est de 0,5 à 0,8 million d'euros.

Références de la section O du chapitre VII

[1] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Industrie papetière, décembre 2001.

[2] EPA 42 − volume 1 chapter I, septembre 1998.

[3] Auswertung von staub − und Feinstaubemissionsdaten der Datenbank nordrhein-westfälisher Emissionserklärungen, LUA NRW, 2003.

[4] Arrêté du 3 avril 2000 relatif à l'industrie papetière, Journal officiel 17 juin 2000.

[5] Commentaires d'Almut Reichart, UBA, décembre 2008.

[6] «Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc», Groupe d'experts des questions technico-économiques, février 2009.

[7] Commentaires de Thomas Krutzler, UBA Autriche, mars 2009.

[8] «EGTEI-State of progress.doc», élaboré pour le Groupe de travail des stratégies et de l'examen, mars 2009.

[9] Programme des Nations Unies pour l'environnement/OMM − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[10] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

[11] Kupiainen, K. et Klimont, Z., 2004. Primary Emissions of Submicron and Carbonaceous Particles in Europe and the Potential for their Control. International Institute for Applied Systems Analysis (IASA), Rapport intermédiaire IR-04-79, Schlossplatz 1 A-2361 Laxenbourg (Autriche).

[12] EPA, rapport au Congrès américain sur le noir de carbone, mars 2012.

P. Production d'acide nitrique

1. Objet

690. L'acide nitrique (HNO_3) est l'un des produits chimiques les plus fabriqués. Les émissions dans l'atmosphère provenant de la production d'acide nitrique les plus préoccupantes sont celles d'hémioxyde d'azote (N_2O) et d'oxydes d'azote (NO_x). Le Protocole de Göteborg traite de la pollution atmosphérique transfrontière, en particulier de l'acidification et de l'eutrophisation. Ce protocole fixe des plafonds d'émissions de soufre, d'oxyde d'azote, de COV, d'ammoniac et de poussières, mais il ne couvre pas le N_2O, un gaz à effet de serre ayant un fort potentiel de réchauffement de la planète. Par conséquent, la présente partie est principalement axée sur les réductions des émissions de NO_x.

2. Sources d'émissions

691. Le HNO_3 est produit à partir d'ammoniac (NH_3) évaporé, filtré et oxydé pour former du monoxyde d'azote (NO). Il est nécessaire de filtrer l'ammoniac pour éliminer toutes les poussières. Cette opération évite les échanges entre les particules de poussières et les catalyseurs qui participent à l'oxydation de l'ammoniac.

692. Le NO formé par oxydation est oxydé une seconde fois pour donner du dioxyde d'azote (NO_2). Le NO_2 est ensuite absorbé par le H_2O pour donner de l'acide nitrique et du monoxyde d'azote. L'absorption dégage des quantités importantes de NO_x; par conséquent, il faut contrôler et réduire le NO_x à ce stade. Différentes techniques permettent d'en réduire les émissions.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

a) Mesures primaires

693. Les principales émissions de NO_x se produisent à l'étape de la formation du HNO_3. L'une des techniques de réduction des émissions de NO_x consiste à optimiser l'absorption. Plus cette dernière est efficace, plus il se forme de HNO_3 et moins il se forme de NO_x [1].

694. Le gain d'efficacité offert par ce procédé repose sur l'optimisation de trois paramètres: la *température*, la *pression* et le *contact entre NO_x, O_2 et H_2O*:

a) En raison du dégagement de chaleur provoqué par la réaction, il est nécessaire d'évacuer la chaleur afin d'optimiser les conditions de température. L'absorption a lieu dans le premier tiers de la colonne. Par conséquent, l'évacuation de la chaleur se fait en amont;

b) Une pression élevée accroît l'efficacité de l'absorption, puis de la formation de l'acide nitrique. Elle réduit également la formation de NO_x;

c) Pour optimiser le contact dans la tour d'absorption, il faut en modifier la conception. Le volume, le nombre de plateaux et les temps de séjour sont les principaux paramètres sur lesquels jouer pour optimiser l'absorption. Plus le temps de séjour est long, plus on récupère de NO_x et plus on obtient d'acide nitrique. L'augmentation du nombre de plateaux et du volume améliore également la formation d'acide nitrique.

695. Techniquement, il est possible d'obtenir une concentration des gaz résiduaires de 82 à 103 mg/Nm^3 grâce à une absorption entièrement optimisée (évacuation de la chaleur, pression élevée, optimisation du contact).

696. Le rendement en HNO_3 s'améliore aussi par ajout de H_2O_2 à la dernière étape d'absorption. Cela évite la mise en œuvre d'une réduction catalytique sélective [1].

b) Mesures secondaires

697. Il est possible de réduire les NO_x par un traitement des gaz résiduaires, comme la combinaison de techniques d'atténuation du N_2O et des NO_x ou par une réduction catalytique sélective.

698. La technique combinée d'atténuation du N_2O et des NO_x fait appel à deux couches de catalyseurs. Dans la première couche, le N_2O est réduit en N_2 et O_2. Dans la seconde couche, le, NO_x est réduit par apport de NH_3 (un procédé comparable à celui de la réduction catalytique sélective), accompagné d'une nouvelle décomposition du N_2O. Grâce à ce procédé, on peut réduire les NO_x de 99 %. Il s'applique aux usines d'acide nitrique dont la température des gaz résiduaires dépasse 400 °C [1].

699. Pour les installations dont la température des gaz résiduaires dépasse 340 °C, les émissions de N_2O et de NO_x peuvent être réduites grâce à système d'atténuation par ajout d'hydrocarbures [4]. Comme dans le procédé combiné N_2O-NO_x, on trouve deux couches de catalyseurs. Dans la première, le NO_x est éliminé en réagissant avec du NH_3, puis le N_2O est détruit par réduction catalytique en présence d'un hydrocarbure (gaz naturel ou propane) dans la seconde étape. Les niveaux d'émission sont identiques à ceux obtenus par la technique combinée N_2O-NO_x [1].

700. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de NO_x correspondant aux différentes MTD dans la production d'acide nitrique.

Tableau 81
Niveaux d'émission de NO_x correspondant aux MTD dans la production d'acide nitrique

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*[a]
Production d'acide nitrique	Optimisation de l'absorption, Technique combinée d'atténuation des NO_x et du N_2O, RCS, ajout de H_2O_2 à la dernière étape d'absorption	Installations nouvelles 10-154 Installations existantes 10-185[b]

[a] Les émissions ont été converties de ppmv en mg/Nm^3 sur la base de 1 ppmv = 2,05 mg NO_2/Nm^3.

[b] Jusqu'à 307 mg/Nm^3 à partir de cette valeur, les dépôts d'acrylonitrile posent un problème de sécurité, que l'on résout en limitant l'effet de la RCS. L'ajout de H_2O_2 en remplacement de la RCS donne le même résultat.

4. Nouvelles techniques

701. Aucune nouvelle technique ne permet de réduire les émissions de NO_x dans la production de HNO_3 [1].

5. Coût des méthodes de réduction

702. Le coût d'investissement dans une installation de traitement combiné N_2O-NO_x est d'environ 1,7 million d'euros. La comparaison de diverses stratégies de réduction du N_2O ne fait pas apparaître de différence significative de rentabilité et de coût par tonne de HNO_3. Les coûts d'exploitation sont compris entre 0,71 et 0,87 euro par tonne d'équivalent CO_2 réduit, et entre 0,98 et 1,20 euro par tonne de HNO_3 produit.

703. Aucune information n'existe concernant le coût lié à l'apport d'hydrocarbures.

704. Le coût total d'une réduction catalytique sélective est d'environ 1,3 dollar par tonne de HNO_3 produit. Cette estimation a été faite en 1998, à partir d'un prix donné pour le catalyseur et le combustible, prix qui a considérablement évolué [1].

705. Le coût propre à l'apport de H_2O_2 à la dernière étape d'absorption est de 2,5 dollars par tonne de HNO_3.

Références de la section P du chapitre VII

[1] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Grands volumes de produits chimiques inorganiques − ammoniac, acides et engrais, août 2007.

[2] Commentaires de Birgit Brahner, Agence fédérale allemande de l'environnement, décembre 2008.

[3] «Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc», Groupe d'experts des questions technico-économiques, février 2009.

[4] Commentaires de Thomas Krutzler, UBA Autriche, mars 2009.

[5] «EGTEI-State of progress.doc», élaboré pour le Groupe de travail des stratégies et de l'examen, mars 2009.

Q. Production d'acide sulfurique[8]

1. Objet

706. La production d'acide sulfurique (H_2SO_4) est, en volume, la principale production de l'industrie chimique. Cette production varie, selon la source de SO_2.

707. Les émissions dans l'atmosphère les plus inquiétantes provenant de la production d'acide sulfurique sont celles de dioxyde de soufre (SO_2). La présente partie recouvre la production industrielle d'acide sulfurique.

2. Sources d'émissions

708. Le H_2SO_4 est produit à partir de dioxyde de soufre ou de soufre élémentaire. Ce dernier est issu de la désulfuration du gaz naturel ou du pétrole brut. Le SO_2 est extrait des effluents gazeux, c'est-à-dire des gaz soufrés provenant du soufre, de la fusion du zinc ou de minéraux renfermant du plomb, de la régénération d'acides épuisés, de la production de métaux non ferreux, de l'incinération de gaz résiduaires, etc.

709. Le SO_2 est tout d'abord oxydé sur des catalyseurs pour former du SO_3. Les catalyseurs employés sont des composés à base d'oxydes de vanadium, de platine et de fer [6].

710. Le SO_3 est ensuite absorbé par du H_2SO_4 pour donner de l'acide sulfurique. C'est à ce stade du procédé que sont émises des quantités importantes de SO_2, d'où la nécessité de prendre des mesures de réduction des émissions.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

a) SO_2 [1]

711. Le SO_2 est principalement contenu dans les gaz résiduaires de l'absorption. Les émissions de SO_2 dépendent du taux de conversion correspondant au procédé. L'optimisation du procédé est considérée comme la meilleure technique disponible de réduction des émissions.

712. Il est possible de combiner différentes techniques pour accroître le taux de conversion du SO_2 et obtenir des niveaux d'émission correspondant à la MTD.

713. Un procédé à double contact ou à double absorption améliore le taux de conversion du SO_2 dégagé par les gaz résiduaires. Le remplacement des installations à une seule étape d'absorption par un système à double absorption réduit les émissions de SO_2 de façon importante.

[8] Les informations contenues dans cette partie proviennent du BREF sur les produits organiques fabriqués en grand volume [1]. Certaines nouvelles données provenant du BREF sur l'industrie des métaux non ferreux, actuellement en cours de révision à l'Institut des études de prospective technologique, à Séville (IPTS), devraient bientôt être disponibles.

714. Dans le procédé à double contact, l'ajout d'un cinquième lit de catalyseur permet de porter le taux de conversion à 99,9 %. Cette technique s'applique aux usines à double contact, sous réserve qu'il existe un espace suffisant [1]. Dans le procédé à double contact, le taux maximal de conversion est de 99,8 % dans des conditions normales de fonctionnement et de 99,6 % dans des conditions transitoires. Toutefois, la mise en œuvre de cette technique dans les usines existantes comporte des coûts d'investissement et d'exploitation élevés, du fait qu'il faut prévoir un chauffage extérieur en raison de la difficulté à atteindre les températures permettant le bon fonctionnement du catalyseur et des caractéristiques fluodynamiques des souffleurs installés [6].

715. L'utilisation d'un catalyseur au Cs accroît également le taux de conversion du SO_2. En effet, ce type de catalyseur peut être utilisé à température plus basse (380 °C-620 °C) que les catalyseurs traditionnels (420 °C-660 °C).

716. Le remplacement de convertisseurs en briques, trop poreux, peut améliorer l'efficacité de conversion du SO_2.

717. La catalysation par voie humide permet l'épuration des gaz humides contenant du SO_2.

718. Enfin, un entretien régulier des installations et le remplacement des catalyseurs sont nécessaires pour conserver un taux important de conversion.

719. Des mesures secondaires sont également envisageables.

720. Les gaz résiduaires peuvent être lavés dans une solution aqueuse de ZnO ou de NH_3, ou d'autres solutions alcalines, comme de la soude caustique (hydroxyde de sodium) ou du peroxyde d'hydrogène. Ces opérations donnent des sous-produits qui peuvent être utilisés sur le site ou commercialisés [4].

721. La MTD de réduction des émissions de SO_2 est une combinaison des procédés précédemment cités et des techniques de réduction permettant d'obtenir les niveaux d'émission détaillés dans le tableau suivant.

722. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux différentes MTD dans la production d'acide sulfurique.

Tableau 82
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD de réduction des émissions dans la production d'acide sulfurique

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*[a, b]
Production d'acide sulfurique	Combustion du soufre, double contact/double absorption	Installations existantes: 30-680 Installations nouvelles: 30-40
	Autres techniques de double contact/double absorption	200-680
	Contact simple/absorption simple	100-450
	Autres	14-170

[a] Ce niveau peut inclure l'effet de l'épuration des gaz résiduaires.
[b] Valeur moyenne journalière.

4. Nouvelles techniques

723. Aucune information disponible.

5. Coût des méthodes de réduction

724. L'ajout d'un cinquième lit à un procédé de double contact nécessite un investissement d'environ un million d'euros. Le coût de la réduction du SO_2 est de 629 euros par tonne de SO_2 éliminé [1].

725. L'investissement dans un catalyseur actif au césium intégré à un procédé à double contact coûte 21 700 €/an de plus que l'investissement dans un catalyseur traditionnel. Le coût de la réduction de SO_2 est de 12 euros par tonne de SO_2 éliminé. Ce coût passe à 930 euros par tonne de SO_2 éliminé dans un procédé à simple contact [1].

726. Le tableau suivant donne un aperçu des coûts et du taux de conversion du SO_2 correspondant à différentes MTD dans la production d'acide sulfurique [8].

Tableau 83
Coût et données opérationnelles relatives aux techniques utilisées pour contrôler les émissions de SO_2 dans la production d'acide sulfurique

Capacité ($t\ H_2SO_4/j$)	*Teneur en SO_2 (%)*	*Construction*		*Moyenne de la conversion de SO_2 (%)*		*Coûts*		*Formation de SO_2 évitée (t/an)*	*Coûts annualisés (€/an)*	*Émissions de SO_2 non réduites (t/an)*
		Avant	*Après*	*Avant*	*Après*	*€/t SO_2 Éliminé*	*€/t H_2SO_4 Ajouté*			
		SC/SA à 4 lits	Situation de référence A1	98,00	-	0	0	0	0	1 143
		SC/SA à 4 lits	+ Cs dans le 4e lit	98,00	99,10	3	0,02	628	1 763	
		SC/SA à 4 lits	DC/DA à 4 lits	98,00	99,60	1 317	13,76	914	1 203 985	
		SC/SA à 4 lits	DC/DA à 4 lits + Cs dans le 4e lit	98,00	99,70	1 159	12,87	971	1 125 848	
		SC/SA à 4 lits	+ TGS Peracidox	98,00	99,87	1 048	12,80	1 068	1 119 881	
	5-7	SC/SA à 4 lits	+ TGS (alcaline)	98,00	99,87	1 286	15,70	1 068	1 373 446	
		DC/DA à 4 lits	Scénario de base A2	99,60	-	0	0	0	0	228
		DC/DA à 4 lits	+ Cs dans le 4e lit	99,60	99,70	367	0,24	57	20 858	
		DC/DA à 4 lits	DC/DA à 5 lits + Cs dans le 5e lit	99,60	99,80	3 100	4,03	114	352 656	
		DC/DA à 4 lits	+ TGS Peracidox	99,60	99,94	3 910	8,68	194	759 562	
250	9-12	DC/DA à 4 lits	+ TGS (alcaline)	99,60	99,94	6 636	14,73	194	1 287 390	
500		SC/SA à 4 lits	Scénario de base B1	98,00	-	0	0	0	0	2 286
		SC/SA à 4 lits	+ Cs dans le 4e lit	98,00	99,10	5	0,04	1 257	6 285	
		SC/SA à 4 lits	DC/DA à 4 lits	98,00	99,60	867	9,06	1 829	1 584 685	
		SC/SA à 4 lits	DC/DA à 4 lits + Cs dans le 4e lit	98,00	99,70	835	9,27	1 943	1 622 590	

Capacité (t H_2SO_4/j)	*Teneur en SO_2 (%)*	*Construction*		*Moyenne de la conversion de SO_2 (%)*		*Coûts*		*Formation de SO_2 évitée (t/an)*	*Coûts annualisés (€/an)*	*Émissions de SO_2 non réduites (t/an)*
		Avant	*Après*	*Avant*	*Après*	*€/t SO_2 Éliminé*	*€/t H_2SO_4 Ajouté*			
		SC/SA à 4 lits	+ TGS Peracidox	98,00	99,87	718	8,77	2 137	1 535 220	
	5-7	SC/SA à 4 lits	+ TGS (alcaline)	98,00	99,87	883	10,78	2 137	1 886 839	
		DC/DA à 4 lits	Scénario de base C1	99,60	-	0	0	0	0	457
		DC/DA à 4 lits	+ Cs dans le 4e lit	99,60	99,70	363	0,24	114	41 278	
		DC/DA à 4 lits	DC/DA à 5 lits + Cs dans le 5e lit	99,60	99,80	1 559	2,03	228	354 762	
		DC/DA à 4 lits	+ TGS Peracidox	99,60	99,94	2 209	4,90	389	858 349	
		DC/DA à 4 lits	+ TGS (alcaline)	99,60	99,94	4 591	10,19	389	1 783 465	
		DC/DA à 4 lits	Scénario de base C2	99,60	-	0	0	0	0	914
		DC/DA à 4 lits	+ Cs dans le 4e lit	99,60	99,70	356	0,23	228	81 023	
		DC/DA à 4 lits	DC/DA à 5 lits + Cs dans le 5e lit	99,60	99,80	1 020	1,33	455	464 258	
		DC/DA à 4 lits	+ TGS Peracidox	99,60	99,94	1 359	3,02	777	1 055 922	
1 000	9-12	DC/DA à 4 lits	+ TGS (alcaline)	99,60	99,94	3 432	7,62	777	2 667 020	

Hypothèses:

- Le taux de conversion dépend des spécifications (conception, installations, concentration, source de SO_2). Précision de 0,1 %;
- Teneur en SO_2: de 5 % à 7 % si calculée avec 5 % et de 9 % à 12 % si calculée avec 10 %;
- Teneur en O_2: de 5 % à 7 % de SO_2 + 6 % à 9 % d'O_2 et de 9 % à 12 % de SO_2 + 8 % à 11 % d'O_2;
- Durée de vie de toutes les installations: dix ans;
- Frais fixes d'exploitation: 3 %;
- Taux d'intérêt: 4 %;
- Prix du H_2SO_4: 20 €/t hors travaux;
- Coûts de main d'œuvre: 37 000 €/année-personne;
- Services publics de distribution TGS Peracidox et absorption alcaline: +30 % du coût d'investissement;
- Teneur garantie en SO_2 après TGS: <200 mg SO_2/Nm^3 = <70 ppm SO_2;
- Prix de la vapeur: 10 €/t;
- SC = simple contact, SA = simple absorption, DC = double contact, DA = double absorption.

Références de la section Q du chapitre VII

[1] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Grands volumes de produits chimiques inorganiques − ammoniac, acides et engrais, août 2007.

[2] Commentaires de Birgit Brahner, Agence fédérale allemande de l'environnement, décembre 2008.

[3] «Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc», Groupe d'experts des questions technico-économiques, février 2009.

[4] Commentaires d'Erik Kiekens, PVS, ESA (Association européenne de producteurs d'acide sulfurique), mars 2009.

[5] Commentaires de Dawn Christensen, Ineos, ESA, mars 2009.

[6] Commentaires d'Aldo Zucca, Portovesme, ESA, mars 2009.

[7] Commentaires de Thomas Krutzler, UBA Autriche, mars 2009.

[8] Retrofitting of old plants, groupe d'experts de l'ESA, mai 2009.

R. Incinération des déchets urbains, des déchets médicaux et des déchets dangereux

1. Objet

727. La présente section traite de l'incinération des déchets urbains (ou des ordures ménagères), des déchets dangereux et des déchets médicaux, ainsi que de l'incinération des boues provenant du traitement des eaux usées.

728. Les déchets urbains solides se composent principalement de papier et de carton, de verre, de métal, de plastique, de caoutchouc, de cuir, de textiles, de bois, de déchets alimentaires, de déchets de jardin et d'autres déchets inorganiques [1].

729. Les déchets industriels proviennent principalement de la production industrielle (cendres, boues et autres déchets industriels), de la production d'énergie, des activités de génie civil et de construction (déchets de démolition et de construction, et déchets de construction routière) et de l'incinération des déchets (cendres volantes) [1].

2. Sources d'émissions

730. Les déchets urbains solides, les boues résiduaires et les déchets dangereux peuvent être traités dans des usines d'incinération. La plupart des déchets urbains solides sont incinérés dans des usines publiques d'incinération, bien qu'une certaine partie soit brûlée dans des incinérateurs industriels [1].

731. Différents types de traitement thermique sont appliqués aux différents types de déchets: tous les traitements thermiques ne conviennent pas à tous les déchets. La présente partie décrit les principales techniques de traitement thermique des déchets [1].

732. Les *déchets urbains solides* peuvent être incinérés dans plusieurs systèmes de combustion, y compris des fours à grille roulante ou à lit fluidisé [1]. Dans le procédé à lit fluidisé, les déchets doivent présenter un spectre granulométrique donné, ce qui nécessite en général un prétraitement ou une collecte sélective des déchets [3].

733. *Pour l'incinération de déchets dangereux* et médicaux, les fours rotatifs et les incinérateurs à grille sont les plus répandus. Les fours à lit fluidisé sont également utilisés.

734. L'*incinération des boues d'épuration* a lieu dans des incinérateurs à four rotatif, à foyer multiple ou à lit fluidisé, mais la cocombustion en grille, dans des centrales à charbon et dans certains incinérateurs industriels est également pratiquée [1], [2], [3]. Les boues d'épuration doivent être séchées ou déshydratées par voie mécanique avant d'être brûlées; souvent, il faut ajouter du combustible pour garantir la stabilité de la combustion.

735. *Incinérateurs à grilles*: Ils sont principalement utilisés sur les déchets urbains. Ils sont parfois conçus pour traiter des volumes importants de déchets [2]. En Europe, environ 90 % des incinérateurs à déchets urbains sont à grille.

736. Différents systèmes d'incinération à grille − grilles basculantes, grilles à va-et-vient, grilles passantes, grilles à rouleaux (de différents types, refroidies à l'eau ou non) − ont été développés et se distinguent par la façon dont les déchets sont transportés dans les différentes zones de la chambre de combustion. Les systèmes à grille doivent répondre à certains critères précis concernant l'alimentation en air primaire, la vitesse de transport et le ratissage, mais aussi le mélange des déchets. Certains de ces incinérateurs se distinguent parfois aussi par des dispositifs de commande supplémentaires et une construction solide, afin de résister aux conditions extrêmes qui règnent dans la chambre de combustion [1].

737. Les *incinérateurs à lit fluidisé* sont uniquement indiqués pour des matériaux raisonnablement homogènes et sont donc surtout adaptés à l'incinération de boues d'épuration, mais aussi au brûlage de déchets prétraités mécaniquement par voie biologique [2].

738. De l'air préchauffé est introduit dans la chambre de combustion par des ouvertures dans le plateau-lit formant un lit fluidisé avec le sable en suspension. Les déchets sont transportés vers le réacteur par une pompe, un distributeur rotatif ou un tube transporteur hélicoïdal. Sur le lit fluidisé ont lieu le séchage, la volatilisation, l'allumage et la combustion, à une température comprise entre 850 °C et 950 °C. Au-dessus du lit, une zone de postcombustion est créée afin de permettre la rétention des gaz pendant plus de deux secondes à une température supérieure à 850 °C. Lorsque l'air qui traverse le lit fluidisé est en conditions substœchiométriques (lambda <1), le lit est à température beaucoup plus basse, à savoir 650 °C. Dans ce cas, seule la gazéification se déroule sur le lit, l'essentiel de la chaleur étant produit dans la zone de postcombustion, c'est-à-dire au-dessus du lit fluidisé, par des réactions d'oxydation en phase gazeuse [1].

739. Les avantages de l'incinération sur lit fluidisé sont l'arrêt rapide et facile de l'apport en déchets, le démarrage à chaud et le fonctionnement à une température plus basse, ce qui réduit la formation de NO_x [1], [2]. Toutefois, en cas de fermeture complète (par exemple lorsqu'il faut remplacer le substrat du lit ou effectuer des travaux de maintenance) ou de démarrage à froid, il faut savoir qu'un incinérateur à lit fluidisé met beaucoup plus de temps à monter et descendre en température qu'un système à grille, car il faut refroidir ou réchauffer la charge de sable.

740. *Fours rotatifs*: Les fours rotatifs peuvent traiter les déchets de pratiquement tous les types et de toutes les compositions. Par ailleurs, les restrictions relatives à la température de fonctionnement ne sont pas aussi draconiennes que pour les incinérateurs à lit fluidisé ou à foyer multiple [1]. Ces fours présentent l'avantage d'offrir une bonne agitation des déchets et un bon brûlage, sous réserve de respecter le temps de séjour. Ils peuvent être combinés à d'autres dispositifs, pour le brûlage des cendres [2]. Un four rotatif se compose d'un vase cylindrique légèrement incliné sur son axe horizontal. Les déchets sont transportés par gravité au travers du four, qui est en rotation constante. Afin de permettre une destruction complète des composés toxiques, une chambre de postcombustion est nécessaire, en général [1].

741. *Les fours à foyers multiples* s'utilisent principalement pour l'incinération des boues. La boue est alimentée par le haut du four et se déplace vers le bas à travers les différents foyers, à contre-courant de l'air de combustion, qui pénètre par le bas du four. Dans

les foyers supérieurs, la boue sèche tout en refroidissant le gaz chaud de combustion. Dans les foyers centraux se produit l'incinération proprement dite, tandis que le brûlage s'achève dans les foyers inférieurs. La température d'incinération ne dépasse pas 980 °C, parce que, au-delà, on atteint la température de fusion des cendres de boue et que cela aboutit à la formation de mâchefer. Afin d'éviter les fuites de gaz de combustion chauds et toxiques, ces fours fonctionnent toujours sous léger vide d'air [8].

742. *D'autres procédés* ont été développés. Il s'agit du découplage des étapes successives de fonctionnement d'un incinérateur, à savoir séchage, volatilisation, pyrolyse, carbonisation et oxydation des déchets, et gazéification au moyen d'agents gazéifiants comme de la vapeur, de l'air, des oxydes de carbone ou de l'oxygène.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

a) SO_2

743. Du dioxyde de soufre, ainsi que du HCl et du HF se forment durant la combustion des déchets, qui contiennent des composés de (chlorure et de fluorure de) soufre. La concentration de soufre est principalement déterminée par la quantité de composés à base de (chlorure et de fluorure de) soufre des déchets. Toutefois, les conditions de fonctionnement et la technique d'incinération peuvent aussi avoir un impact mineur sur les émanations de SO_2.

744. Les concentrations de SO_2 dans les gaz bruts sont comprises entre 400 et 1 000 mg/Nm^3, tandis que les concentrations dans les gaz propres doivent être beaucoup plus basses [1], [3]. Par conséquent, une dépollution des gaz de combustion est indispensable.

745. En règle générale, on élimine le SO_2 des gaz de combustion grâce à des épurateurs par voie humide, par pulvérisation ou par voie sèche.

746. La mise en œuvre de mesures primaires comme le choix des combustibles et les techniques de sélection ou de séparation des déchets est considérée comme une MTD [2].

747. Les trois principaux procédés − épuration par voie humide, semi-humide ou sèche − sont considérés comme des MTD pour l'élimination du SO_2 dans l'incinération de boues d'épurations et de déchets urbains et médicaux [2].

748. Pour les épurateurs par voie humide et les épurateurs par voie semi-humide, on peut atteindre une concentration inférieure à 20 mg/m^3 bien que de l'eau soit nécessaire (ce qui donne lieu à la production d'effluents liquides). Une réduction de 96 % à 98,4 % est réalisable. Pour les épurateurs par voie sèche, la concentration réalisée peut être inférieure à 20 ou à 40 mg/m^3, selon le réactif utilisé.

Tableau 84
Sources d'émissions et MTD de réduction des SO_x dans l'incinération des déchets

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de SO_x associé à la MTD[a, b] (mg/Nm^3)*
Incinération des déchets urbains ou des ordures ménagères		
Incinérateur à grille	Épurateur par voie sèche	1-40 [3]
Four rotatif	Épurateur par pulvérisation	1-40
Combustion à lit fluidisé	Épurateur par voie humide	1-40

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de SO_x associé à la MTD[a, b] (mg/Nm^3)*
Incinération industrielle (déchets dangereux et médicaux)		
Incinérateur à grille	Épurateur par voie sèche	1-40
Four rotatif	Épurateur par pulvérisation	1-40
Combustion à lit fluidisé	Épurateur par voie humide	1-40
Incinération de boues provenant du traitement des eaux usées		
Four rotatif	Épurateur par voie sèche	1-40
Four à foyers multiples	Épurateur par pulvérisation	1-40
Combustion à lit fluidisé	Épurateur par voie humide	1-40

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] La valeur limite d'émission définie dans la directive européenne relative à l'incinération des déchets est de 50 mg/m^3 pour le SO_2.

b) NO_x

749. Les usines d'incinération émettent des oxydes d'azote. Ces derniers sont souvent mesurés au moyen de systèmes de surveillance continue des émissions. Dans les usines modernes, des émissions comprises entre 30 et 200 mg/Nm^3 sont souvent signalées (gaz propre, moyenne journalière, 11 % d'O_2 [3]).

750. Les principaux oxydes d'azote formés sont du NO et du NO_2. La plupart des oxydes d'azote qui se forment durant l'incinération des déchets (température du four comprise entre 800 °C et 1 200 °C) proviennent de l'azote contenu dans les déchets (NO_x combustible) [1]. Les concentrations en NO_x thermique sont plus faibles que celles en NO_x combustible. Par conséquent, l'efficacité des mesures primaires qui agissent sur le NO_x combustible est généralement limitée, étant donné qu'une majorité des NO_x provient de l'azote lié au combustible et que la quantité d'azote combustible convertie en oxydes d'azote n'est pas très dépendante de changements dans la conception et le fonctionnement de l'usine [1]. Toutefois, les mesures primaires sont d'une grande importance pour réduire la formation de NO_x au stade de la combustion. Elles portent principalement sur la gestion et la préparation des déchets, et en particulier sur le traitement thermique mis en œuvre [3].

751. Des mesures primaires (qui limitent les émissions à la source, à l'opposé des mesures secondaires, qui agissent en fin de chaîne) ont été élaborées pour agir sur les émissions de NO_x à la source au cours de la combustion, par une régulation des caractéristiques de la flamme telles que la température et le mélange combustible-air. Les mesures secondaires interviennent en aval de la combustion en éliminant les NO_x du gaz de combustion.

752. En ce qui concerne l'incinération des boues d'épuration et des déchets urbains et médicaux, les mesures primaires telles que le recyclage des effluents gazeux, la combustion à étagement d'air, la sélection du combustible et l'utilisation de brûleurs dégageant peu de NO_x, combinées à des mesures secondaires (réduction catalytique sélective, réduction non catalytique sélective) sont considérées comme des MTD.

753. En règle générale, la réduction catalytique sélective est considérée comme une MTD lorsqu'une atténuation plus importante des NO_x est nécessaire (les gaz de combustion bruts contiennent plus de NO_x) et que l'on souhaite faire baisser les concentrations de NO_x dans les effluents gazeux. En fait, la réduction catalytique sélective est une technique qui a fait ses preuves dans le secteur de l'incinération des déchets et qui permet d'obtenir une réduction importante des NO_x (plus de 90 % en règle générale) [1], [3] et des émissions de NO_x de moins de 50 mg/m^3 [11].

754. Pour la réduction non catalytique sélective, l'apport d'ammoniac et d'urée est considéré comme une MTD. Pour abaisser les NO_x à 75 % grâce à la RNCS, l'agent réducteur doit être apporté en quantité plus importante. La RNCS permet d'atteindre des concentrations de NO_x de 70 mg/m^3 (moyenne journalière) [1], [3].

755. Un contrôle efficace des émissions de NO_x par la RCS ou la RNCS peut accroître les émissions de NH_3 (rejets de NH_3), cette molécule pouvant ensuite être convertie en NO_x. Pour réduire autant que possible les émissions totales d'azote, il faut également contrôler les émissions de NH_3 (on peut obtenir des émissions de NH_3 de moins de 10 mg/m^3) [3].

Tableau 85
Sources d'émissions, MTD de réduction des NO_x et niveaux d'émission correspondants dans l'incinération des déchets

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de NO_x correspondant à la MTD[a, b] (mg/Nm^3)*
Incinération des déchets	RCS	40-100
	Sans RCS	120-180

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] La valeur limite d'émission définie dans la directive européenne relative à l'incinération des déchets est de 200-400 mg/m^3 pour le NO_x (selon la capacité de l'usine et de son statut (installation nouvelle ou existante)).

Un contrôle efficace des systèmes d'atténuation des NO_x, notamment le dosage du réactif, contribue à la réduction des émissions de NH_3. Les épurateurs par voie humide absorbent le NH_3 et le transfèrent vers le flux des eaux usées. Une réduction des émissions de NH_3 à moins de 10 mg/m^3 est considérée comme une MTD (avis divergent dans le BREF: <5).

c) Poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

756. Les poussières émises par les usines d'incinération sont principalement des cendres fines produites par l'incinération et transportées dans l'effluent gazeux [3]. En général, la poussière est mesurée en continu; des émissions après traitement comprises entre moins de 0,05 mg/Nm^3 et 15 mg/Nm^3 (à 11 % d'O_2) ont été signalées [3].

757. Les techniques de dépoussiérage se divisent en deux catégories, selon qu'elles sont exécutées en amont ou en aval. Alors que l'objectif principal d'un dépoussiérage en amont est de recueillir des résidus de composition différente et d'éviter tout problème de fonctionnement du matériel en aval, le principal objectif d'un dépoussiérage en aval est de limiter les émissions finales de poussières.

758. Le précipitateur électrostatique par voie sèche, le dépoussiéreur par voie humide et le filtre en tissu sont les trois principaux procédés d'élimination des particules contenues dans les effluents gazeux. Les précipitateurs électrostatiques sont efficaces sur les particules de 0,1 µm à 10 µm, et leur rendement global est compris entre 95 % et 99 % [1].

759. Les filtres en tissu sont considérés comme des MTD pour l'incinération des boues d'épuration et des déchets urbains et médicaux. Ils correspondent à une technique éprouvée. Lorsqu'ils sont correctement utilisés et entretenus, ils sont fiables sur les particules de moins de 5 mg/m^3. Ces dispositifs sont très efficaces sur une gamme importante de dimensions de particules.

760. En règle générale, les précipitateurs électrostatiques, qu'ils utilisent un procédé par voie humide ou par voie sèche, ne sont pas aussi efficaces que les filtres en tissu [2]. Combinés à des épurateurs par voie humide, ils sont toutefois considérés comme une MTD. En fonction de leur type et de l'emplacement du système de traitement des effluents gazeux (en amont ou en aval), ils permettent d'obtenir une concentration de particules comprise entre 5 mg/m^3 et 25 mg/m^3 [3]. Lorsqu'on utilise un précipitateur électrostatique par voie humide, qui est une version spécifique du précipitateur électrostatique, le nettoyage se fait en continu, dans un flux d'eau. Ce procédé s'utilise en fin de chaîne, en aval du dépoussiéreur par voie humide. Il est efficace sur les particules très fines, de moins de 5 mg/m^3 [3].

761. L'incinération des déchets n'est pas considérée comme une source importante de noir de carbone selon les documents de référence [12], [13] et [14]. Toutefois, les données sur ces émissions sont rares. Lorsqu'il est présent dans les poussières, le noir de carbone peut être extrait grâce aux MTD décrites ci-dessus, sous réserve qu'elles soient efficaces sur les particules fines.

Tableau 86
Sources d'émissions, MTD de réduction des poussières et niveaux d'émission correspondants dans l'incinération des déchets

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveau d'émission de poussières correspondant à la MTD[a, b] (mg/m^3)*
Incinération des déchets	Filtre en tissu Précipitateur électrostatique, En général, les filtres en tissu sont plus efficaces sur ces émissions	1-5

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[b] La valeur limite d'émission définie dans la directive européenne relative à l'incinération des déchets est de 10 mg/m^3 pour les poussières.

4. Coûts des techniques de réduction des émissions

Tableau 87
Coût des différentes méthodes antipollution [1], [3]

Options	*Coûts d'investissement (€)*			*Coûts de maintenance (€/t)*		
	Débit par ligne (t/an)			*Débit par ligne (t/an)*		
	75 000	*100 000*	*150 000*	*75 000*	*100 000*	*150 000*
RCS	1 200 000	1 500 000	2 000 000	0,30	0,30	0,30
RNCS	700 000	800 000	1 000 000	0,19	0,16	0,13
Dépoussiérage par voie humide	1 500 000	2 000 000	2 500 000	0,30	0,30	0,30

Options	*Coûts d'investissement (€)*			*Coûts de maintenance (€/t)*		
	Débit par ligne (t/an)			*Débit par ligne (t/an)*		
	75 000	*100 000*	*150 000*	*75 000*	*100 000*	*150 000*
Nettoyage des effluents gazeux secs par absorption	1 725 000	2 175 000	3 000 000	0,23	0,22	0,20
Précipitateur électrostatique	1 000 000	1 200 000	1 600 000	0,27	0,24	0,21
Nettoyage des effluents gazeux secs par un filtre en tissu	1 150 000	1 450 000	2 000 000	0,15	0,15	0,13

Références de la section R du chapitre VII

[1] DFIU/IFARE: Draft Background document on the sector Waste Incineration, dans le cadre de la préparation de la première réunion du Groupe d'experts des questions technico-économiques, Paris, juin 2002.

[2] UK Environment Agency: Guidance for the incineration of waste and fuel manufactured from or Including Waste, UK Technical Guidance: S5.01, juillet 2004.

[3] Commission européenne: Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Incinération des déchets, août 2006.

[4] Donnelly, J. R.: Waste Incineration Sources − Refuse, in: Buonicore, A. J.; Davis, T. W. (eds.): Air Pollution Engineering Manual, New York, 1992.

[5] Brunner, R. C.: Waste Incineration Sources − Sewage Sludge, in: Buonicore, A. J.; Davis, T. W. (eds.): Air Pollution Engineering Manual, New York, 1992.

[6] N.N.: Mitverbrennung von Klärschlamm im Kohlekraftwerk, in: Abfallwirtschaftsjournal, 6 (1994) 12.

[7] Stäubli, B.; Keller, C.: Stoffflußanalyse bei zwei Klärschlammverbrennungsanlagen, in: Müll und Abfall, 25 (1993) 2.

[8] Rentz, O; Schleef, H.-J.; Dorn, R.; Sasse, H.; Karl, U.: Emission Control at Stationary Sources in the Federal Republic of Germany, Sulphur Oxide and Nitrogen Oxide Emission Control, UFOPLAN-Ref. n° 104 02 360, Karlsruhe, août 1996.

[9] Rentz, O; Ribeiro, J.: Operating experience with NO_x Abatement at Stationary Sources, NO_x Task Force, Karlsruhe, 1992.

[10] R. Meij, B. Winkel: The emissions and environmental impact of PM_{10} and trace elements from a modern coal-fired power plant equipped with ESP and wet FGD, Fuel Processing 85, p. 641 à 656.

[11] J. Stubenvoll, S. Böhmer, I. Szednyj: State of the Art for Waste Incineration Plants, Agence autrichienne de l'environnement, Vienne, novembre 2002.

[12] Programme des Nations Unies pour l'environnement/OMM − Integrated Assessment of Black Carbon and Tropospheric Ozone − 2011.

[13] Commission économique pour l'Europe des Nations Unies − Groupe d'experts du noir de carbone − Noir de carbone − Rapport des Coprésidents du Groupe d'experts du noir de carbone Organe exécutif de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance. Vingt-huitième session, Genève, 13-17 décembre 2010.

[14] EPA, rapport au Congrès américain sur le noir de carbone, mars 2012.

S. Industrie de la transformation du bois

1. Objet

762. L'industrie de la transformation du bois englobe de nombreuses activités: les scieries, la fabrication de revêtements de sols, de panneaux de bois et de meubles sont les principales filières de ce large secteur.

763. La transformation du bois dégage surtout de la poussière.

764. La présente section décrit les différentes activités de la transformation du bois. Bien que les chaudières utilisées dans cette filière soient des chaudières à bois, la combustion du bois n'est pas traitée dans la présente partie.

2. Sources d'émissions

765. La transformation du bois se décompose en transformation primaire et transformation secondaire. La transformation primaire recouvre les activités de transformation du bois brut, tandis que la transformation secondaire porte sur le traitement du bois après transformation primaire.

766. La transformation primaire consiste à couper, écorcer, tronçonner et presser le bois. Ensuite, le bois subit une transformation secondaire pour produire des planchers, des panneaux, des meubles, des jouets, etc.

767. Différents types de bois sont utilisés par l'industrie du bois, comme le montre le tableau suivant [1].

Tableau 88
Types de bois utilisés selon la transformation à effectuer (sources d'émissions de poussières)

Transformation	*Bois sec*	*Bois humide*	*Bois d'œuvre*	*Panneaux*
Débitage sur le lieu de récolte		X	X	
Tronçonnage		X	X	
Découpe primaire		X	X	
Stockage de sciure fine et de copeaux	X	X		
Défibrage, usinage et déchiquetage		X	X	X
Séchage de stratifiés, de panneaux de particules et de sciure		X	X	X
Classage				
Séchage de pièces et de panneaux			X	X
Pressage de panneaux	X			X
Découpe	X		X	X
Ponçage	X		X	X
Autres opérations d'usinage (délignage, rabotage, etc.)	X		X	X
Nettoyage de l'atelier	X	X	X	X

768. Les niveaux d'émission et leurs caractéristiques dépendent de deux principaux facteurs:

a) Le type de bois traité;

b) L'humidité contenue dans le bois traité.

769. C'est la raison pour laquelle le bois sec, le bois humide, le bois d'œuvre et les panneaux sont traités séparément dans le tableau ci-dessus.

3. Techniques antipollution et niveaux d'émission correspondants

770. Les techniques de réduction des émissions de poussières dépendent de la taille des particules, elle-même fonction du traitement appliqué et du bois utilisé. Il est donc nécessaire de faire la distinction entre transformation primaire et transformation secondaire.

a) Transformation primaire [1]

771. Les principales étapes de la transformation primaire sont l'écorçage, le tronçonnage, la découpe primaire, le défibrage, le déchiquetage et le pressage. Ces procédés ne sont pas à l'origine d'émissions importantes de particules fines, mais surtout de particules d'un diamètre supérieur à 700 µm, à l'exception du toupillage, qui entraîne l'émission de particules de moins de 100 µm de diamètre.

i) Écorçage, sciage, découpe primaire et toupillage

772. Ces opérations donnent surtout lieu à l'émission de particules grossières. Pour réduire les émissions, on peut considérer que l'arrosage de la grume avec de l'eau suffit durant l'écorçage, qui produit de faibles émissions, tandis que les cyclones peuvent limiter les poussières dégagées par le sciage, la découpe primaire et le toupillage, des opérations qui donnent lieu à des émissions plus importantes.

ii) Sciage et déchiquetage

773. Le plus souvent, le broyeur est à l'air libre et une quantité importante de poussière est émise. Toutefois, cette dernière peut être captée par un aspirateur. Les émissions de poussières peuvent donc être réduites par un filtre en tissu.

iii) Pressage

774. Un précipitateur électrostatique par voie humide permet de réduire les poussières émises durant le pressage.

b) Transformation secondaire [1]

775. La transformation secondaire du bois pose des difficultés importantes en matière d'émissions de particules fines. Des quantités plus importantes de PM_{10} et de $PM_{2,5}$ sont émises parce que le bois est sec.

776. Le séchage, le ponçage et le délignage dégagent des quantités importantes de poussières, principalement de particules fines. Par conséquent, il faudrait recueillir et traiter ces émissions. Des multicyclones ou une combinaison de cyclones et d'un dépoussiéreur par voie humide peuvent remédier aux émissions produites par les systèmes de séchage. Des filtres en tissu peuvent réduire les poussières émises par le ponçage et le délignage.

777. Étant donné que l'air chaud utilisé dans les séchoirs vient généralement de chaudières alimentées au bois, ces dernières dégagent également de la poussière. Il faut donc réduire les émissions avant que l'air ne pénètre dans le séchoir.

778. La poussière recueillie sur des filtres en tissu ou d'autres systèmes par voie sèche devrait être recyclée et, autant que possible, réintégrée au procédé, ou encore être utilisée comme combustible. La poussière ou la sciure recueillie devrait être transportée dans un transporteur fermé, équipé d'un système d'aspiration et d'un système de traitement des poussières.

779. Les émissions provenant de l'entreposage de la sciure sont principalement fugaces. Cet entreposage doit donc se faire à l'abri du vent et la matière doit être manipulée avec précaution. Une bonne organisation interne peut également contribuer à limiter les émissions.

780. Il est également possible d'atténuer les émissions grâce à des filtres électrostatiques, mais cette méthode est très coûteuse et ne semble pas rentable dans l'industrie du bois. Toutefois, elle peut être envisagée pour les nouvelles installations, tandis que les filtres en tissu seront réservés aux installations existantes, et notamment aux procédés les plus polluants de la transformation.

781. La production de panneaux de bois peut être isolée des autres activités de la filière. En effet, cette dernière se caractérise par la présence importante de petites entreprises de moins de 20 salariés alors que les établissements de production de panneaux sont de bien plus grande taille. Par conséquent, les mesures secondaires d'atténuation des émissions de poussières sont bien plus rentables dans la production de panneaux de bois que dans les autres entreprises, de taille plus modeste, de la filière.

Tableau 89
Niveaux d'émission de poussières obtenus avec les techniques antipollution mises en œuvre dans la production de panneaux [1]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission associé (mg/Nm^3)*
Séchoirs (production de panneaux de particules)	Cyclone	100-230
	Épurateur par voie humide	15-75
	Combinaison d'un cyclone et d'un système d'épuration par voie humide	25
Séchoirs (production de panneaux de fibres)	Cyclone	7
Usinage (production de panneaux de fibres)	Filtres à manche	0,03-0,6
Séchoirs (production de panneaux à particules orientées)	Filtre à cyclone	60-70

4. Nouvelles techniques

782. Aucune nouvelle technique n'est prévue.

5. Coûts des méthodes de réduction

783. Le tableau suivant donne un aperçu des coûts des différentes techniques antipollution dans la production de panneaux de particules.

Tableau 90
Coût des techniques de contrôle des émissions de particules dans la production de panneaux de particules [2]

Technique	*Investissement (€/1 000m² de panneaux)*[a]
Cyclone	5,4
Cyclone par voie humide	7,2
Filtres en tissu	21,6
Précipitateur électrostatique par voie sèche	28,8
Précipitateur électrostatique par voie humide	32,3

[a] Taux de conversion utilisé: 1 C$/1 000 m^2 = 7,19 €/1 000 m^2.

Références de la section S du chapitre VII

[1] Techniques de dépoussiérage utilisées dans l'industrie en 2006, ADEME, décembre 2007.

[2] Carte routière technologique − panneaux de particules, Strategis Canada, 1998.

[3] «EGTEI-State of progress.doc», établi pour le Groupe de travail des stratégies et de l'examen, avril 2009.

T. Distribution d'essence (depuis les centres d'expédition des raffineries de pétrole (essence) aux stations service (y compris transport et stockage dans des dépôts, pour l'essence))

1. Objet

784. Les activités concernées portent sur le transport et la distribution d'essence depuis les centres d'expédition ou les terminaux des raffineries de pétrole jusqu'aux stations-service, souvent avec stockage intermédiaire. On appelle terminal toute installation qui sert au stockage et au chargement de l'essence dans des camions-citerne, wagons-citerne ou citernes de transport maritime ou fluvial, y compris les installations de stockage sur le site lui-même. Certaines raffineries disposent d'un terminal alimenté par un oléoduc situé à proximité, mais à l'extérieur du site, ou d'une station d'expédition située dans la raffinerie elle-même. Une station-service est une installation dans laquelle l'essence contenue dans des cuves de stockage enterrées est distribuée dans les réservoirs d'essence des véhicules à moteur [1].

2. Sources d'émissions

785. Dans les terminaux, l'essence est stockée dans des réservoirs à toit flottant externe ou interne.

786. Le transport s'effectue par route, rail, voie d'eau et conduites, ces dernières étant très peu polluantes.

787. Dans les terminaux, il existe différentes méthodes de chargement des réservoirs mobiles (camions-citerne, wagons-citerne, péniches-citerne et navires-citerne). Les citernes sont remplies par le bas ou par le haut. Les émissions de COV dépendent du type de citerne en chargement, du degré de saturation de la vapeur dans la citerne [2] et du mode de chargement.

788. L'essence est livrée aux stations-service, où elle est transférée dans des cuves de stockage souterraines avant d'être distribuée dans les réservoirs à essence des véhicules automobiles. Dans les stations-service, le remplissage des cuves souterraines s'effectue

par une conduite verticale fixe montée dans la cuve et reliée au camion-citerne par un flexible. Le chargement et la respiration de la cuve émettent des COV, bien que ce second phénomène soit minime, puisque la cuve est enterrée et donc à l'abri des variations de température dues au réchauffement solaire diurne.

789. Dans les stations-service, outre les émissions provenant des livraisons de carburant, il faut compter les vapeurs dégagées lorsqu'on fait le plein des véhicules.

790. Les opérations de ravitaillement des véhicules en carburant sont considérées comme une source important d'émissions de COV. Ces émissions sont dues à la vapeur dégagée par l'essence versée dans le réservoir. Les principaux facteurs ayant une incidence dans la quantité d'émissions sont les suivants: volume d'essence distribuée, température de l'essence, température du réservoir, pression de la vapeur d'essence et vitesse de remplissage. Plus particulièrement, la température du réservoir d'essence est d'une grande importance de nos jours pour le ravitaillement des véhicules modernes à injection d'essence. Les émissions de COV peuvent toutefois être réduites au moyen de dispositifs d'aspiration de vapeurs, qui relèvent de la phase II et qui font l'objet d'une réglementation nationale dans de nombreux pays de l'Union européenne, ou au moyen de volumineux dispositifs embarqués avec cartouches de charbon, qui sont obligatoires aux États-Unis.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

791. Les options d'atténuation des émissions lors du ravitaillement des stations-service et des pleins des véhicules font généralement partie des mesures de phase I. Dans l'Union européenne, ces activités relèvent de la directive 94/63/CE du Parlement européen et du Conseil du 20 décembre 1994 relative à la lutte contre les émissions de composés organiques volatiles résultant du stockage de l'essence et de sa distribution des terminaux aux stations-service [1]. Les mesures d'atténuation concernant le ravitaillement des véhicules relèvent en général des mesures de phase II. Dans le cadre du programme d'élaboration d'une stratégie thématique sur la pollution de l'air, l'Union européenne a publié une proposition de directive relative à la récupération des vapeurs d'essence dégagées lors du ravitaillement des véhicules, une mesure de phase II [11]. Les MTD et les niveaux d'émission correspondants sont les suivants.

a) Stockage de l'essence

792. Les MTD sont décrites à la section E du chapitre VII.

b) Mesures de phase I

793. Ces mesures sont principalement des conduites d'aspiration de vapeurs et des unités de récupération des vapeurs d'essence. Le remplissage des camions-citerne par le bas réduit les pertes de vapeur par rapport au remplissage par le haut. Le remplissage par le bas réduit les émissions de COV par rapport au remplissage par le haut et, ce qui est important, permet une collecte plus efficace des vapeurs que l'utilisation d'un bras de remplissage par le haut modifié.

794. Les vapeurs aspirées dans les stations-service lors de la vidange des camions-citerne peuvent être reprises par ceux-ci et acheminées aux unités de récupération des terminaux. L'unité de récupération fait appel au procédé d'adsorption sur charbon actif, à l'absorption, à la séparation par membrane ou à des systèmes hybrides combinant refroidissement et absorption et compression-absorption-séparation par membrane [9]. Le rendement global de l'unité de récupération s'échelonne de 95 % à plus de 99 % [9]. Les mesures relevant de la phase I se traduisent aussi par des modifications aux camions, wagons et péniches-citerne, ainsi qu'aux navires utilisés à cette fin. Dans ces derniers cas, une attention particulière doit être apportée au respect des normes de sécurité, en particulier pour prévenir la propagation, l'allumage ou encore la sur ou sous-pressurisation des citernes.

c) Mesures de phase II

795. Les COV émis lors de l'approvisionnement des véhicules peuvent être réduits par un dispositif d'aspiration de vapeurs, qui relève de la phase II, ou au moyen de volumineux dispositifs embarqués avec des cartouches de charbon, qui captent les pertes pendant l'arrêt du véhicule moteur chaud. Les mesures de phase II permettent techniquement de récupérer de 85 % à 92 % des COV (selon le rendement). Les coûts relatifs à la phase II dépendent plutôt du lieu et sont très variables.

796. La réduction des COV émis lors de l'approvisionnement des véhicules peut être réalisée par des systèmes de récupération active des vapeurs, qui reposent sur le principe suivant: les vapeurs d'essence qui se dégagent de la cuve pendant le plein sont aspirées au niveau du pistolet et renvoyées vers la cuve. Le mélange air-vapeurs doit être récupéré proportionnellement au débit de l'essence fournie. Les composantes d'un système actif de récupération des vapeurs d'essence sont les suivantes:

a) Pistolet spécial;

b) Flexible de collecte des vapeurs et conduite de renvoi dans la cuve;

c) Pompe à vide et système de commande du rapport entre le volume de vapeur récupérée et le volume d'essence distribuée.

797. Le rapport vapeurs-essence (V/E) doit être compris entre 95 % et 105 %-110 % en volume. Il faut éviter un rapport plus élevé, car cela créerait une surpression dans la cuve et de nouveaux dégagements de COV au niveau des évents de la cuve.

798. Le contrôle du rapport V/E est effectué par une vanne à ouverture proportionnelle, à commande hydraulique ou électronique. Les systèmes électroniques sont les plus répandus. Il convient toutefois de faire la distinction entre deux systèmes: le système de récupération à boucle ouverte, à commande automatique (ECVR à commande électronique), et le système de récupération à autocalibrage et commande manuelle (ECVR-SCS).

799. Dans l'ECVR à commande électronique, le rendement ne peut rester constant sur la durée de vie du système. Si le dispositif n'est pas entretenu et vérifié périodiquement et soigneusement, le rendement diminue, tandis que le rapport V/E s'éloigne rapidement de sa valeur optimale. Une fuite sur le système réduira le volume de vapeur récupérée et donc le rendement.

800. Dans l'ECVR-SCS, la récupération est ajustée après chaque plein. Toute déviation par rapport à la valeur optimale est compensée de façon électronique. Par conséquent, le rendement est stable sur toute la durée de vie du dispositif.

801. Dans un cas comme dans l'autre, le rendement théorique de récupération est compris entre 85 % et 92 %, en masse. Toutefois, dans les conditions réelles de fonctionnement, l'efficacité de l'ECVR-SCS est constante et, par conséquent, plus importante que celle de l'ECVR à commande électronique. On peut détecter les pannes et installer des dispositifs d'alerte afin d'empêcher tout fonctionnement en dehors des valeurs optimales. Lorsque le système détecte un défaut de fonctionnement, il désactive la livraison d'essence jusqu'à correction de la panne [3]. Ce système est utilisé actuellement dans certains pays comme l'Allemagne, le Royaume-Uni et la Suisse.

802. Malgré le manque d'expérience dans les systèmes de phase II de première génération, si l'on combine essais à sec de routine (avec simulation électronique de la circulation du liquide et mesure de l'air aspiré), inspections visuelles régulières par le personnel de la station-service et installation d'un système de codes d'erreur (avec une vérification du bon fonctionnement du système, à savoir vérification de la pompe d'aspiration et respect des limites prescrites par les valves de commande), on parvient à des rendements importants et constants de la récupération, pour environ un dixième du coût du système de commande automatique.

803. Pour parvenir à un rendement global de récupération des COV d'environ 95 % en masse, le rapport V/E doit être multiplié par un facteur de 1,3 à 1,5 [4]. Toutefois, on ne peut utiliser de systèmes de récupération avec un rapport V/E supérieur à 100 % à 110 % qu'en présence de systèmes supplémentaires qui empêchent toute surpression et permettent le dégagement de COV par les évents des cuves. Ces systèmes reposent sur des membranes ou la compression et la condensation [4], [6]. Par exemple, une unité à membrane est installée parallèlement à la cheminée de l'évent de la cuve souterraine. La vapeur aspirée durant le plein est constamment renvoyée vers la cuve, ce qui fait augmenter le rapport V/E. L'excédent de vapeur crée une surpression dans la cuve. La jauge de pression de la pompe à vide de l'unité à membrane contrôle la pression. À partir d'un certain niveau de pression, la pompe se met en route et des vapeurs se dégagent dans l'atmosphère, par l'intermédiaire du module à membrane, ce qui réduit la pression dans la cuve. On obtient un rendement global de 95 % selon le document de référence [4].

804. D'autres systèmes de récupération peuvent être utilisés: ils consistent à récupérer les vapeurs à la pompe et à les réintégrer dans le circuit de distribution. L'équipement comprend un système d'aspiration des vapeurs au niveau de la pompe à vide, un échangeur de chaleur, un compresseur qui condense les vapeurs et un réservoir dans lequel l'eau est séparée de l'essence récupérée, cette dernière étant ensuite redirigée vers la pompe.

Tableau 91
Niveaux d'émission correspondant aux MTD de réduction des émissions de COV dans les centres de distribution d'essence des raffineries

Source d'émissions	*MTD et rendement de la réduction*	*Niveaux d'émission correspondant aux MTD*, kg COV/m^3/kPa [2], [9]*
Camion-citerne, remplissage par le bas ou par le haut, aspiration des vapeurs durant le déchargement précédent et unité de récupération des vapeurs	Unité de récupération des vapeurs, rendement de 95 % à 99 % [9]	0,0228 x 0,05 à 0,0228 x 0,01
Wagon-citerne, remplissage par le haut et unité de récupération des vapeurs		0,0108 x 0,05 à 0,0108 x 0,01
Navire-citerne, citerne de cargaison représentative		0,004 x 0,05 à 0,004 x 0,01
Péniche-citerne, citerne de cargaison représentative		0,007 x 0,05 à 0,007 x 0,01

* Non disponible dans le document de référence [9], calculé à partir du document de référence [2].

Tableau 92
Niveaux d'émission correspondant aux MTD de réduction des COV dans les réservoirs de stockage intermédiaire d'essence

Dépôts intermédiaires		
Source d'émissions	*MTD et efficacité de la réduction*	*Niveaux d'émission correspondant aux MTD, kg COV/m^3/kPa* [2], [9]*
Stockage de l'essence	Réservoir à toit flottant externe ou interne Autres types de réservoirs et couleurs adaptées, 97 % à 99,5 % par rapport à un réservoir à toit fixe sans mesure [12]	Voir rendement indiqué
Remplissage du camion-citerne, remplissage par le bas ou par le haut, contrôle de l'évaporation durant les déchargements précédents et unités de récupération des vapeurs	Unité de récupération des vapeurs, efficacité comprise entre 95 % et 99 % [9]	0,0228 x 0,01 à 0,0228 x 0,05

* Non disponible dans le document de référence [9], calculé à partir du document de référence [2].

Tableau 93
Niveaux d'émission correspondant aux techniques de réduction des COV dans les stations-service

	Stations-service		
Source de COV	*Techniques*	*Efficacité de la réduction*	*Niveau d'émission kg COV/m^3/kPa* [2] et [6]*
Remplissage des cuves enterrées	Retour des vapeurs vers le réservoir mobile (pertes de respiration non couvertes)	Efficacité du retour de la vapeur >95 %	0,0011
Plein des véhicules	Systèmes actifs bien contrôlés et entretenus, avec un rapport vapeurs/essence de 95 % à 105 % en volume	Efficacité du retour de la vapeur >85 % en masse	0,0367 x 0,15

* kPa est la pression réelle du produit livré (m^3 d'essence).

4. Coûts des méthodes de réduction

805. Les coûts des méthodes correspondant aux phases I et II ont été calculés pour les stations-service. Ces coûts dépendent de la taille de la station-service. Le tableau suivant donne une estimation de ces coûts. Les coûts d'investissement dans des mesures de phase I proviennent des statistiques du Groupe d'experts des questions technico-économiques [5]. Les coûts d'investissement dans un ECVR conventionnel à la pompe ont été fournis par les constructeurs [7] et les coûts des travaux sont tirés du document de référence [8]. Ces coûts ont été déterminés pour une étude de l'ADEME qui n'a pas encore été publiée, mais qui a été réalisée en 2007 par le CITEPA [6].

Tableau 94
Coûts des mesures des phases I et II dans les stations-service de différentes tailles

		Émissions kg COV/y	*Émissions évitées kg COV/y*	*Investissement (€)*	*Coût d'exploitation (€/an)*	*Coût annuel total (dix ans et 4 % d'intérêt) (€/an)*	*Coût par tonne de COV éliminés €/t COV éliminée*
RI01 <100 m^3/an	N° réduction	90					
	Phase I	59	32	6 400		789	24 955
	Phases I et II	16	74	14 300	100	1 863	25 194
RI02 100 à 500 m^3/an	N° réduction	588					
	Phase I	382	206	9 800		1 208	5 879
	Phases I et II	107	481	22 600	200	2 986	6 213
RI03 500 à 1 000 m^3/an	N° réduction	1 582	0				
	Phase I	1 028	553	12 600		1 553	2 807
	Phases I et II	288	1 294	30 200	400	4 123	3 186
RI04 1 000 à 2 000 m^3/an	N° réduction	4 067					
	Phase I	2 645	1 423	15 200		1 874	1 317
	Phases I et II	740	3 328	37 900	600	5 273	1 584
RI05 2 000 à 3 000 m^3/an	N° réduction	5 197					
	Phase I	3 379	1 818	17 500		2 158	1 187
	Phases I et II	945	4 252	45 000	800	6 348	1 493
RI06 3 000 à 4 500 m^3/an	N° réduction	7 909					
	Phase I	5 142	2 767	19 800		2 441	882
	Phases I et II	1 438	6 471	52 100	1 000	7 423	1 147
RI07 >4 500 m^3/an	N° réduction	19 208					
	Phase I	12 488	6 719	27 000		3 329	495
	Phases I et II	3 493	15 714	79 000	2 000	11 740	747

806. Pour les systèmes actifs, la rentabilité dépend de la taille de la station-service et diminue de façon proportionnelle à cette taille. Les coûts sont échelonnés entre 900 et 1 350 €/t de COV éliminée pour les stations distribuant plus de 3 000 m^3 de carburant par an, de 1 700 à 1 800 €/t de COV pour les stations-essence en fournissant 1 000 à 3 000 m^3 par an. Les chiffres augmentent pour les stations-essence plus petites: 3 500 €/t de COV pour les stations-essence distribuant de 500 à 1 000 m^3 par an, 6 500 €/t de COV pour les stations-essence dont le volume de distribution est compris entre 100 et 500 m^3 par an et 25 400 €/t de COV pour les stations-essence distribuant moins de 100 m^3 par an.

Références de la section T du chapitre VII

[1] Directive 94/63/CE du Parlement européen et du Conseil du 20 décembre 1994 relative à la lutte contre les émissions de composés organiques volatils (COV) résultant du stockage de l'essence et de sa distribution des terminaux aux stations-service.

[2] CONCAWE Air pollutant emission estimation methods for E-PRTR reporting by refineries. Rapport n° 1/2009, édition de 2009.

[3] VDI 4205 Part 5: Measurement and test methods for the assessment of vapour recovery systems on filling station. System test of automatic monitoring systems of active vapour recovery systems, septembre 2006.

[4] Klaus Ohlrogge et Jim Wind. Membrane based vapour recovery at petrol stations − GKSS Forchungszentrum.

[5] Groupe d'experts des questions technico-économiques − Distribution of gasoline − Service stations − 2003, disponible à l'adresse http://www.citepa.org/forums/egtei/egtei_doc-Fuel_distribution.htm.

[6] Émissions de COVNM des stations-service − ADEME 2007 − Non publié. Émissions de COV des stations-service − Synthèse − ADEME 2007.

[7] Chiffres fournis par la société TOKHEIM au CITEPA, juillet 2006.

[8] Chiffres fournis par Total, 2007.

[9] Commission européenne − Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Raffineries de pétrole et de gaz − BREF, février 2003, Commission européenne, disponible à l'adresse http://eipccb.jrc.es.

[10] EPA − Emission factor documentation for AP42 section 7.1 − Organic liquid storage tanks. Final report, septembre 2006.

[11] Projet de directive «Proposal for a European Parliament and Council Directive on Stage II petrol vapour recovery during refueling of passenger cars at service stations», {SEC(2008) 2937}, {SEC(2008) 2938} 4 décembre 2008, COM(2008) 812 final.

[12] Commission européenne, «Reference document on BAT on emissions from storage», février 2003, disponible à l'adresse http://eipccb.jrc.es.

U. Stockage et manipulation de composés organiques (à l'exception de l'essence, traitée dans les sections E et T du chapitre VII)

1. Objet

807. La présente partie porte sur le stockage et la manipulation des composés organiques (pression de vapeur supérieure à 10 Pa à 20 °C) dans des secteurs tels que la chimie organique, les solvants, la chimie fine, etc. Le stockage et la manipulation de l'essence sont traités dans les sections E et T du chapitre VII.

2. Sources d'émissions

808. Le stockage et la manipulation de composés organiques liquides (pression de vapeur supérieure à 10 Pa à 20 °C) peuvent être des sources d'émissions de COV.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

809. La description des MTD provient des documents de référence 1 et 2.

a) Stockage

i) Conception du réservoir

810. La MTD spécifique à la conception des réservoirs doit prendre en considération au moins les éléments suivants:

a) Les propriétés physico-chimiques de la substance stockée;

b) Le mode d'exploitation du dispositif de stockage, la sophistication des instruments nécessaires, le nombre d'opérateurs requis et la charge de travail de chacun d'entre eux;

c) Le mode d'information des opérateurs de tout écart par rapport aux conditions normales d'utilisation (alertes);

d) La façon de protéger les produits stockés en cas d'écart par rapport aux conditions normales de stockage (instructions de sécurité, systèmes de verrouillage, clapets de décharge, détection des fuites et confinement, etc.);

e) L'équipement à installer, en prenant en compte l'historique du produit (matériaux de construction, qualité des soupapes, etc.);

f) Les plans de maintenance et d'inspection à mettre en œuvre, et les moyens de faciliter les opérations de maintenance et d'inspection (accès, agencement, etc.);

g) La gestion des situations d'urgence (éloignement par rapport à d'autres réservoirs, installations et limite, protection anti-incendie, accès aux services d'urgence, notamment aux pompiers, etc.).

ii) Inspection et maintenance

811. La MTD consiste à utiliser un outil de détermination de la maintenance préventive et à élaborer des plans d'inspection centrés sur l'évaluation des risques, comme la maintenance centrée sur le risque et la fiabilité. Les opérations d'inspection se divisent en inspections de routine, inspections externes en service et inspections internes hors service.

iii) Couleur du réservoir

812. La MTD consiste à choisir une couleur de réservoir réfléchissant la chaleur ou le rayonnement lumineux d'au moins 70 %, ou un bouclier solaire sur les réservoirs aériens qui contiennent des substances volatiles.

iv) Principe de réduction maximale des émissions lors du stockage en réservoirs

813. La MTD consiste à réduire les émissions provenant du stockage en réservoir, du transport et de la manipulation.

v) Réservoirs à toit flottant

814. Le niveau de réduction des émissions associé à la MTD pour un grand réservoir est d'au moins 97 % (par rapport à réservoir à toit fixe sur lequel aucune mesure n'est prévue); pour ce faire, au moins 95 % de la circonférence de l'espace entre le toit et la paroi doit faire moins de 3,2 mm et les joints d'étanchéité doivent être de type hydraulique ou mécanique. L'installation de joints d'étanchéité primaires hydrauliques et de joints de bordure secondaires permet d'obtenir une réduction des émissions dans l'air pouvant atteindre 99,5 % (par rapport à un réservoir à toit fixe sur lequel aucune mesure n'est prévue). En revanche, le choix du joint d'étanchéité doit tenir compte de la fiabilité, les joints mécaniques étant privilégiés pour leur longévité et, donc, pour des renouvellements importants.

815. La MTD consiste à utiliser des toits flottant à contact direct (doubles ponts); néanmoins, les toits flottant existants sans contact (ponton) sont également une MTD.

816. D'autres mesures permettent de réduire les émissions, à savoir:

a) L'installation d'un toit flottant dans le pôle de guidage à rainure;

b) L'installation d'un manchon sur le pôle de guidage à rainure;

c) L'installation de protections sur les éléments de soutien du toit.

vi) Réservoirs à toit fixe

817. Les réservoirs à toit fixe sont utilisés pour le stockage de liquides inflammables et d'autres liquides, comme les produits pétroliers et chimiques, quel que soit leur niveau de toxicité.

818. Pour le stockage dans un réservoir à toit fixe de substances volatiles toxiques (T), très toxiques (T+) ou cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction (CMR) des catégories 1 et 2, la MTD consiste à installer un dispositif de traitement des vapeurs.

819. Pour d'autres substances, la MTD consiste à utiliser une installation de traitement des vapeurs ou à installer un toit flottant interne.

820. Le choix du procédé de traitement de la vapeur doit être basé sur des critères comme le coût, la toxicité du produit, l'efficacité de la réduction, les quantités d'émissions au repos et les possibilités de récupération du produit ou de l'énergie; ce choix est effectué au cas par cas. La réduction des émissions associée à la MTD est d'au moins 98 % (par rapport à un réservoir à toit fixe sur lequel aucune mesure n'est prévue).

821. La réduction des émissions réalisable pour un grand réservoir à toit flottant interne est d'au moins 97 % (par rapport à un réservoir à toit fixe sur lequel aucune mesure n'est prévue); pour ce faire, au moins 95 % de la circonférence de l'espace entre le toit et la paroi doit faire moins de 3,2 mm et les joints d'étanchéité doivent être de type hydraulique ou mécanique. L'installation de joints primaires hydrauliques et de joints de bordure secondaires permet d'obtenir des réductions d'émissions supérieures. En revanche, plus le réservoir est petit, plus le nombre de renouvellements est limité et moins le toit flottant est efficace.

b) Transport et manipulation

i) Inspection et maintenance

822. La MTD consiste à utiliser un outil de détermination de la maintenance préventive et à élaborer des plans d'inspection centrés sur l'évaluation des risques, comme la maintenance centrée sur le risque et la fiabilité.

ii) Programme de détection et de réparation des fuites

823. Sur les grandes installations de stockage, la MTD consiste à mettre en place un programme de détection et de réparation des fuites adapté aux propriétés des produits stockés. L'accent doit être mis sur les situations les plus susceptibles de provoquer des émissions (comme le stockage de gaz/liquides légers, l'utilisation de systèmes sous pression ou le fonctionnement à des températures très élevées).

iii) Principe de réduction maximale des émissions lors du stockage en réservoirs

824. La MTD consiste à réduire les émissions dues au stockage en réservoirs et au transfert et à la manipulation de produits ayant un impact négatif important sur l'environnement. Cette MTD s'applique aux grandes installations de stockage sur lesquelles un délai de mise en œuvre est autorisé.

iv) Procédures opérationnelles et formation

825. La MTD consiste à mettre en place et à respecter des mesures d'organisation adéquates, et à favoriser la formation et l'instruction du personnel pour un fonctionnement sûr et responsable de l'installation.

v) Canalisations

826. La MTD consiste à utiliser des canalisations aériennes fermées dans les nouvelles installations. Pour les canalisations enterrées existantes, la MTD consiste à utiliser une approche d'entretien fondée sur l'évaluation des risques et de la fiabilité.

827. Les brides boulonnées et les assemblages à joint sont des sources importantes d'émission fugaces. La MTD consiste à réduire au maximum le nombre de brides en les remplaçant par des raccords soudés, dans la limite des exigences opérationnelles pour l'entretien de l'équipement ou la flexibilité du système de transport.

828. La MTD pour les raccords avec bride boulonnée prévoit:

a) D'installer des brides pleines sur des accessoires rarement utilisés pour prévenir toute ouverture accidentelle;

b) De remplacer les soupapes par des bouchons ou des tampons sur les conduites ouvertes;

c) De vérifier que des joints adaptés à l'application du procédé sont utilisés;

d) De vérifier l'installation correcte du joint;

e) De vérifier l'assemblage et le chargement corrects du joint de bride;

f) D'installer, en cas de transport de substances toxiques, cancérigènes ou d'autres substances dangereuses, des joints très fiables, comme des joints spiralés, des joints kammprofile ou des joints annulaires.

829. La nature corrosive du produit transporté peut provoquer une corrosion interne. La MTD consiste à prévenir la corrosion en:

a) Choisissant des matériaux de construction qui résistent au produit;

b) Utilisant des méthodes de construction adaptées;

c) Effectuant de la maintenance préventive;

d) Appliquant, le cas échéant, un revêtement interne ou en ajoutant des inhibiteurs de corrosion.

830. Pour protéger la conduite de toute corrosion externe, la MTD consiste à appliquer un revêtement à une, deux ou trois couches selon les conditions spécifiques du site (par exemple, proximité de la mer). Le revêtement n'est généralement pas appliqué sur des conduites en plastique ou en acier inoxydable.

vi) Traitement de la vapeur

831. La MTD consiste à équilibrer ou traiter les vapeurs en cas d'émissions significatives lors du chargement et du déchargement de substances volatiles dans (ou depuis) des camions, des péniches ou des bateaux. L'importance de ces émissions dépend de la substance et du volume émis et doit être déterminée au cas par cas.

vii) Soupapes

832. La MTD pour les soupapes comprend les éléments suivants:

a) Sélection du matériau de conditionnement et de construction adapté à l'application du procédé;

b) Surveillance centrée sur les soupapes présentant le plus grand risque (par exemple vannes de régulation à tige montante utilisées en continu);

c) Utilisation de vannes de régulation rotatives ou de pompes à vitesse variable à la place des vannes de régulation à tige montante;

d) En présence de substances toxiques, cancérigènes ou d'autres substances dangereuses, installation de soupapes à diaphragme, à soufflet ou à double paroi;

e) Acheminement des clapets de décharge vers le système de transport, de stockage ou de traitement des vapeurs.

viii) Pompes et compresseurs

Installation et maintenance des pompes et des compresseurs

833. La conception, l'installation et le fonctionnement d'une pompe ou d'un compresseur ont un impact important sur la durée de vie et la fiabilité du dispositif d'étanchéité. Parmi les principaux éléments d'une MTD, on peut citer:

a) La fixation correcte de la pompe ou de l'unité de compression à sa plaque de base ou au châssis;

b) Des forces du tuyau de raccordement conformes aux recommandations du fabricant;

c) Une conception adéquate des canalisations d'aspiration pour réduire au maximum le déséquilibre hydraulique;

d) Un alignement de l'arbre et du boîtier conforme aux recommandations du fabricant;

e) Un alignement de l'entraînement/pompe ou du couplage du compresseur conforme aux recommandations du fabricant, lors du montage;

f) Un équilibre correct des pièces rotatives;

g) Un amorçage efficace des pompes et des compresseurs avant le démarrage et le fonctionnement de la pompe et du compresseur conformément à la plage de performances recommandée par le fabricant (les performances optimales sont atteintes au meilleur point de rendement);

h) La hauteur manométrique d'aspiration disponible (hauteur de charge nette absolue) devrait toujours être supérieure à celle qui est requise par la pompe ou le compresseur;

i) Une surveillance et un entretien réguliers de l'équipement rotatif et des dispositifs d'étanchéité, associés à un programme de réparation ou de remplacement.

ix) Dispositif d'étanchéité dans les pompes

834. La MTD consiste à choisir la pompe et les types de dispositifs d'étanchéité adaptés à l'application du procédé, de préférence des pompes conçues pour être étanches, comme les électropompes à stator chemisé, les pompes à couplage magnétique, les pompes à garnitures mécaniques multiples et système d'arrosage ou de butée, les pompes avec garnitures mécaniques multiples et joints étanches à l'atmosphère, les pompes à diaphragme ou les pompes à soufflet.

x) Dispositifs d'étanchéité dans les compresseurs

835. La MTD pour les compresseurs transportant des gaz non toxiques consiste à utiliser des joints mécaniques à lubrification par gaz. La MTD pour les compresseurs transportant des taz toxiques consiste à utiliser des joints doubles avec barrière liquide ou gazeuse et à purger le côté procédé du joint de confinement avec un gaz tampon inerte. En cas de fonctionnement à très haute pression, la MTD consiste à utiliser un système de joint tandem triple.

Tableau 95
Niveaux d'émission correspondant aux MTD de réduction des COV dans le stockage de composés organiques

Sources d'émissions	*Combinaison de MTD*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD*
Réservoirs de stockage de produits volatils	Toit flottant interne Toit flottant externe Autres conceptions de réservoirs et couleurs adaptées	97 % à 99,5 % par rapport à un réservoir à toit fixe sur lequel aucune mesure n'est prévue*

* Si ce rendement ne peut être atteint à cause des caractéristiques du réservoir de stockage (faible débit ou diamètre réduit), il convient de mettre en œuvre les meilleures mesures primaires ou secondaires d'étanchéité.

4. Coûts des techniques de réduction des émissions

836. Aucune information n'est disponible.

Références de la section U du chapitre VII

[1] Commission européenne, Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Émissions dues aux stockages de matières dangereuses ou en vrac, juillet 2006.

[2] Commission européenne, «Reference document on BAT on emissions from storage», février 2003, disponible à l'adresse http://eipccb.jrc.es.

V. Industrie chimique organique (hors chimie organique fine, traitée à la section W du chapitre VII)

1. Objet

837. La présente section est consacrée à l'industrie des composés organiques, un secteur qui fabrique des produits de type suivant:

a) Oléfines «inférieures» comme l'éthylène et propylène produits principalement par craquage;

b) Composés aromatiques, comme le benzène et le toluène;

c) Composés oxygénés;

d) Composés azotés;

e) Composés halogénés;

f) Polymères (polyéthylène, polypropylène, PVC, polyesters, polystyrène, etc.).

2. Sources d'émissions

838. Dans l'industrie chimique organique, les émissions diffèrent beaucoup selon les produits et les procédés de fabrication. Souvent, pour obtenir le même produit, on utilise différents procédés, chacun ayant ses propres caractéristiques d'émissions de COV.

839. Les émissions de COV proviennent principalement des sources suivantes:

a) Émissions fugaces: Les émissions fugaces de COV proviennent de fuites sur de l'équipement sous pression des unités de production, comme les vannes, les brides et les connecteurs, les lignes ouvertes ou les dispositifs d'échantillonnage contenant des liquides ou des gaz volatils. Selon la définition du CEN 15446 [7] et du document de référence [8], sont considérés comme des produits volatils tous les produits dont au moins 20 % de la masse possède une pression de vapeur supérieure à 0,3 kPa à 20 °C;

b) Émissions des colonnes de brûlage;

c) Circuits de torchère (pour l'élimination en toute sécurité des hydrocarbures ou de l'hydrogène qui ne peut être récupéré dans le procédé);

d) Stockage et manipulation de substances chimiques (traités à la section U du chapitre VII).

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

a) Nouvelles installations

840. En ce qui concerne les procédés mis en œuvre dans les nouvelles installations et les modifications importantes de procédés existants, la MTD consiste en une sélection appropriée des mesures suivantes:

a) Mettre en œuvre les réactions chimiques et les procédés de séparation en continu dans des appareils fermés;

b) Traiter les flux de purge continus provenant des appareils de fabrication dans l'ordre suivant: réutilisation, valorisation, combustion dans un équipement prévu pour réduire les rejets polluants dans l'air et combustion dans un équipement non spécialisé;

c) Réduire le plus possible la consommation d'énergie et valoriser au maximum;

d) Utiliser des composés ayant une pression de vapeur faible ou la plus faible possible.

841. Dans certains cas, la modification des opérations − par exemple par le remplacement des matières premières et des produits − peut contribuer à réduire les émissions de COV. Pour diminuer la quantité de produits indésirables, on peut mettre en œuvre de nouvelles réactions chimiques ou des principes nouveaux. Les améliorations de procédés doivent aussi viser, autant que possible, la récupération et le recyclage des sous-produits ainsi que le confinement du matériel de fabrication.

842. Pour réduire les débits d'effluents gazeux et les émissions de COV provenant des opérations d'oxydation et d'oxychloration (par exemple dans la production de chlorure de vinyle), une mesure efficace consiste à remplacer l'air par de l'oxygène pur. Les nouveaux ateliers d'oxydation et d'oxychloration n'utilisent généralement que de l'oxygène pur.

b) Émissions fugaces de COV

843. Les MTD de prévention et de contrôle des émissions fugaces de COV associent un programme de détection et de réparation des fuites (LDAR) et l'utilisation d'un équipement hautes performances.

844. Un programme LDAR consiste à mesurer la concentration en COV dans l'atmosphère à proximité d'un point de fuite potentiel, puis à sélectionner les appareils concernés en fonction d'un seuil d'intervention, et enfin à effectuer les réparations sur ces équipements. Le programme LDAR est élaboré en fonction des principes suivants [6]:

a) La définition de ce qu'est une fuite et la fixation des seuils correspondants;

b) La détermination de la fréquence des inspections;

c) L'inventaire et l'identification des équipements concernés;

d) Les procédures de réparation des composants qui fuient, en fonction de la catégorie de la fuite.

845. Les réparations mineures, comme le resserrage d'un appareil qui fuit, peuvent être effectuées immédiatement. Les opérations d'entretien et de réparation complexes doivent être programmées et peuvent être effectuées durant la fermeture programmée de l'installation.

846. Le resserrage peut se faire sur de l'équipement en service (à l'exception des vannes automatiques), comme le resserrage de boulons pour arrêter les fuites au niveau des tiges ou des brides de soupape, l'installation de capuchons sur des extrémités ouvertes, etc.

847. Les opérations d'entretien qui nécessitent la dépose ou l'échange d'équipements ne peuvent être effectuées que durant la fermeture des installations et nécessitent une isolation et un dégazage des circuits. Par conséquent, durant la fermeture de l'installation, deux programmes d'entretien peuvent être mis en œuvre, en fonction de la situation [6]:

a) Entretien de base: entretien sur l'équipement (brides + vannes) pour le démontage de certaines pièces ou le remplacement de l'ensemble de l'équipement par un nouvel équipement utilisant la même technique;

b) Entretien lourd: changement complet des vannes par des vannes de meilleure qualité et étanches. L'entretien de base est maintenu pour les brides.

848. Les équipements hautes performances se composent des éléments suivants [1]:

a) Vannes: vannes à faible taux de fuite avec double presse-étoupe. Vannes à soufflet d'étanchéité pour les services en atmosphère dangereuse;

b) Pompes: à double joint d'étanchéité avec barrière liquide ou gazeuse, ou pompes sans joint;

c) Compresseurs et pompes à vide: double joint d'étanchéité avec barrière liquide ou gazeuse, ou pompes sans joint, ou technologie joint simple offrant des niveaux d'émission équivalents;

d) Brides: réduction de leur nombre au maximum, utilisation de joints efficaces;

e) Bouts de ligne: montage de brides pleines, de capuchons ou de bouchons sur les raccords utilisés peu souvent. Utilisation d'un système de chasse en circuit fermé pour les points de prise d'échantillons liquides. Pour les systèmes d'échantillonnage et les analyseurs, optimisation du volume et/ou de la fréquence d'échantillonnage, réduction de la longueur des lignes de prélèvement au minimum ou montage d'enveloppes fermées;

f) Soupapes de sécurité: installation d'un disque de rupture en amont.

c) Émissions de COV dans les gaz de brûlage

849. La réduction des COV dans les gaz dégagés peut s'effectuer par les méthodes classiques appliquées aux polluants organiques provenant de sources fixes: adsorption, absorption, condensation, procédés membranaires, incinération thermique et catalytique, et modification des procédés. Ces techniques sont décrites dans la section C-2 du chapitre V.

d) Émissions provenant du brûlage en torchère

850. Les MTD pour le brûlage en torchère sont les suivantes:

a) Réduction maximale du besoin d'éliminer les hydrocarbures par le circuit de la torche grâce à une conception et une gestion de bonne qualité de l'unité de production;

b) Lorsque la torche haute est choisie, utilisation de brûleurs pilotes à flamme permanente avec contrôle de la veilleuse, réalisation d'un mélange efficace, contrôle automatique du débit d'hydrocarbures et prévision d'une télésurveillance par circuit fermé de télévision;

c) Les performances sont supérieures à 99 % pour les torches hautes et à 99,5 % pour les torches basses.

e) Émissions de COV provenant du stockage, de la manutention et du transport [1] et [2]

851. La MTD retenue pour le *stockage, la manutention et le transport* consiste, en plus des méthodes décrites à la section V du chapitre VII, en une combinaison ou une sélection appropriée des techniques suivantes notamment:

a) Des réservoirs à toit flottant extérieur avec joints secondaires (non utilisé pour les substances très dangereuses), des réservoirs à toit fixe;

b) Des réservoirs avec toit flottant interne et joint périphérique (pour les liquides volatils), des réservoirs à toit fixe;

c) Des réservoirs avec couverture de gaz inerte, un stockage sous pression (pour les substances très dangereuses ou très odorantes);

d) Des réservoirs de stockage d'interconnexion et des conteneurs mobiles dotés de dispositifs de récupération de vapeur;

e) Des températures de stockage réduites au minimum possible;

f) Une instrumentation et des procédures pour éviter les trop-pleins;

g) Un système de rétention secondaire étanche ayant une capacité égale à 110 % de celle du plus gros réservoir;

h) La récupération des COV rejetés par les purges (par condensation, absorption ou adsorption) avant recyclage ou la destruction par combustion dans une centrale de production d'énergie, dans un incinérateur ou par brûlage à la torche;

i) La surveillance continue des niveaux de liquide et de leurs variations;

j) Des tubulures de remplissage des réservoirs se prolongeant sous la surface du liquide;

k) Un remplissage par le bas afin d'éviter les projections;

l) Des bras de chargement instrumentés pour détecter les mouvements anormaux;

m) Des raccords de flexibles auto-obturants/coupleurs s'ouvrant uniquement à l'accouplement (type «dry-break»).

4. Coût des méthodes de réduction

852. Les coûts unitaires s'échelonnent entre -100 €/t et +180 €/t de COV éliminé, selon la mesure de réduction envisagée, d'après le Groupe d'experts des questions technico-économiques [9] pour la mise en œuvre d'un programme LDAR de réduction des émissions fugaces provenant d'unités de craquage à la vapeur. Le montant négatif signifie que les économies sont importantes et supérieures aux dépenses.

853. La plage des coûts unitaires peut toutefois être beaucoup plus étendue, comprise entre 310 €/t et 1 050 €/t de COV éliminé selon la mesure de réduction envisagée dans la production de PVC [10].

Références de la section V du chapitre VII

[1] Commission européenne, Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Produits organiques fabriqués en grand volume, février 2003.

[2] Commission européenne, Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Fabrication des polymères, 2006.

[3] Commission européenne, Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Produits de chimie organique fine, août 2006.

[4] Commission européenne, Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Systèmes communs de traitement des eaux et gaz résiduaires dans l'industrie chimique, février 2003.

[5] Commission européenne, Reference document BAT in storage (en cours d'achèvement), juillet 2006.

[6] EGTEI background document on the organic chemical industry.

[7] EN15446:2008 Fugitive and diffuse emissions of common concern to industry sectors − Measurement of fugitive emission of vapours generating from equipment and piping leaks.

[8] EPA − Protocol for equipment leak − Emission estimates EPA 453-95-017, 1995.

[9] EGTEI − Organic chemical industry − steam cracking − synopsis sheet − 15 octobre 2005, http://www.citepa.org/forums/egtei/10-Synopsis-sheet-steam-cracking-15-10-05.pdf.

[10] EGTEI − Organic chemical industry − Production of PVC − synopsis sheet − 3 octobre 2005, http://www.citepa.org/forums/egtei/11-synopsis-sheet-PVC-suspension-03-10-05.pdf.

W. Chimie organique fine

1. Objet

854. L'industrie de la chimie organique fine concerne différents types de produits chimiques fabriqués de façon ponctuelle, dans des installations polyvalentes et multiproduit (principes actifs des produits pharmaceutiques, produits biologiques, additifs alimentaires, produits chimiques pour photographie, colorants et produits intermédiaires, pesticides et autres produits de spécialité, etc.) [1].

855. La fabrication de produits pharmaceutiques fait partie du secteur de la chimie organique et couvre à la fois:

a) La fabrication de produits pharmaceutiques de base: fabrication de produits pharmaceutiques en vrac, de produits intermédiaires et de principes actifs par des procédés de synthèse, de fermentation, d'extraction ou autres, dans des installations polyvalentes et multiproduit, et de façon ponctuelle;

b) Les activités relatives à la formulation des médicaments et des traitements finis au moyen des principes actifs fournis par les installations de stockage en vrac (et qui se déroulent dans des installations de finition). Les principes actifs sont transformés en produits pouvant être administrés. Ces activités englobent aussi la formulation physique, la répartition et l'emballage.

856. Seules les émissions de COV sont abordées dans la présente section.

2. Sources d'émissions

857. Ce secteur industriel se caractérise par une grande hétérogénéité: les usines fabriquent une vaste gamme de produits au moyen de nombreux procédés, et elles sont en mesure de stocker et d'utiliser plusieurs centaines de matières premières brutes ou de produits intermédiaires. Les procédés sont généralement mis en œuvre de façon ponctuelle et dans des installations polyvalentes. Un principe actif subit plusieurs transformations. En règle générale, les procédés font intervenir de 1 à 40 étapes de transformation, en fonction de la molécule. Ces étapes recouvrent l'ensemble des opérations des installations, à savoir les réactions, l'extraction liquide-liquide, la séparation liquide-liquide, liquide-solide ou gaz-solide, la distillation, la cristallisation, le séchage, l'adsorption de gaz, etc.

La production se déroule de façon discontinue (ou par lots). L'équipement est rarement spécifique, mais sert le plus souvent à des applications multiples. Des solvants sont souvent utilisés dans les procédés. Toute matière première ayant subi des réactions peut être récupérée ou recyclée ou encore être libérée dans l'environnement en fin de chaîne, après un traitement adapté.

858. En raison de la diversité des procédés employés dans ce secteur, il est impossible d'en faire une description simple. En revanche, les caractéristiques des usines de fabrication de produits pharmaceutiques sont brièvement abordées.

a) Nombre important de points de rejets d'émissions de COV

859. Les rejets gazeux suivent des circuits complexes. En effet, pour le même équipement, il existe souvent plusieurs points de rejet, selon les opérations effectuées. Ce nombre important de points de rejet est dû aux facteurs suivants:

a) Contraintes qualitatives du secteur en vue d'éviter le risque d'une contamination croisée;

b) Contraintes de sécurité, en vue par exemple d'éviter le contact de gaz incompatibles.

860. Les installations dont la consommation annuelle de solvants est comprise entre 900 et 1 500 t sont équipées de 10 à 50 conduits d'évacuation qui dégagent des COV dans l'atmosphère.

861. Un grand nombre de points de rejets sont équipés de condensateurs chargés de piéger les COV. Pour piéger des gaz corrosifs ou toxiques, plusieurs conduits sont reliés à colonnes d'absorption antipollution. Lorsque des techniques secondaires de réduction de la pollution sont utilisées, il est nécessaire de recueillir les effluents gazeux.

b) Forte variation des dégagements de COV dans le temps

862. Les concentrations de COV varient parfois considérablement d'un point de rejet à un autre. On trouve à certains points des forts débits d'effluents gazeux et de faibles concentrations; c'est le cas de la ventilation générale d'une usine. D'autres rejets, comme ceux qui émanent de l'équipement de production, se caractérisent par un débit très faible des effluents gazeux (quelques Nm^3/h) et des concentrations COV qui peuvent être importantes.

863. Les rejets de COV sont également de volume très variable avec le temps et ne sont pas forcément permanents.

864. Cette situation pèse sur le coût du traitement des émissions. En effet, le dispositif de nettoyage des gaz doit être en mesure de gérer les pics d'émission. Le dimensionnement de l'équipement antipollution doit être calculé en fonction des rejets de pointe (la fréquence des pointes doit également être examinée). Par conséquent, les investissements sont plus élevés que lorsque les émissions sont plus régulières dans le temps.

c) Utilisation d'un grand nombre de solvants

865. Dans cette activité, même si 70 % de la consommation de nouveaux solvants porte sur cinq produits (méthanol, toluène, acétone, éthanol, dichlorométhane) [1], une quarantaine de solvants différents sont utilisés. La consommation de solvants chlorés reste relativement importante. En raison du grand nombre de solvants, de la présence de solvants chlorés et de contraintes de sécurité et de qualité, les mesures secondaires sont plus difficiles et plus coûteuses à mettre en œuvre (traitement de l'acide chlorhydrique en cas d'incinération, possibilités limitées de collecte et de recyclage des solvants).

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

866. Afin de réduire les pertes de solvants et les émissions dans l'atmosphère, une vaste gamme de bonnes pratiques et d'améliorations des procédés existent: travail en milieu concentré afin de réduire la consommation de solvants, utilisation accrue de solvants peu volatils ou plus faciles à concentrer, modification de certaines conditions de distillation (distillation à pression normale et non sous vide), mise en œuvre d'une bonne organisation interne, accroissement de l'efficacité du condenseur (augmentation des surfaces d'échange et des capacités de réfrigération), changements de technologie (pompes à vide à joint sec en remplacement des pompes à vide à anneau liquide; filtres sous pression fermés ou filtres à vide plus étanches que les filtres ouverts; séchoirs sous vide améliorant la condensation du solvant, etc.).

867. Est considéré comme MTD le fait [2]:

a) De confiner et d'isoler les sources ainsi que de boucher toutes les ouvertures afin de limiter le plus possible les émissions non contrôlées;

b) D'effectuer le séchage en circuit fermé, avec des condenseurs pour la récupération des solvants;

c) De laisser l'équipement fermé pendant le rinçage et le nettoyage à l'aide de solvants;

d) De boucher toutes les ouvertures inutiles afin d'éviter que l'air ne soit aspiré à travers l'équipement du procédé vers le système de collecte des gaz;

e) D'assurer l'étanchéité à l'air de l'équipement du procédé, en particulier des cuves;

f) D'avoir recours à une inertisation par choc au lieu d'une inertisation continue;

g) De minimiser le débit du gaz rejeté par la distillation en optimisant l'agencement du condenseur;

h) D'ajouter le liquide par le fond des cuves ou en utilisant un tube plongeant, à moins que la chimie de la réaction et/ou des motifs de sécurité ne rendent la chose difficile. En pareil cas, l'ajout de liquide par le haut à l'aide d'un tube dirigé vers la paroi réduit les projections et donc la charge organique du gaz déplacé;

i) D'éviter le plus possible l'accumulation de pics de charge et de débit, ainsi que les pics d'émissions associés, notamment grâce à l'optimisation de la matrice de production et l'application de filtres lisseurs;

j) De traiter les effluents gazeux contenant des COV. La sélection des techniques de traitement des COV est une tâche cruciale sur un site polyvalent. Étant donné que les débits volumétriques varient énormément sur ces sites, le paramètre clé de sélection est le débit massique moyen des sources ponctuelles d'émission en kg/h. Une technique ou une combinaison de techniques peut tenir lieu de système de récupération ou de réduction pour tout un site, pour un bâtiment de production donné ou pour un procédé spécifique. Cela dépend de la situation particulière et a des incidences sur le nombre de sources ponctuelles. Les techniques non oxydantes de récupération ou de réduction sont efficaces après la minimisation des débits volumétriques. Il faut établir un lien entre les concentrations obtenues et les débits volumétriques correspondants sans dilution, par les débits volumétriques issus de la ventilation des pièces ou bâtiments, notamment. L'oxydation thermique/incinération et l'oxydation catalytique, techniques éprouvées de destruction des COV, sont très efficaces mais présentent des effets considérables de transfert de la pollution d'un milieu à un autre. L'oxydation catalytique consomme moins d'énergie et crée moins de NO_x, elle est donc à privilégier lorsque les conditions techniques le permettent. L'oxydation thermique est intéressante lorsque le combustible d'appoint peut être remplacé par des effluents organiques liquides (par exemple des solvants usagés disponibles techniquement/économiquement sur le

site et non récupérables) ou lorsqu'un fonctionnement autothermique peut être mis en place par stripping des composés organiques provenant de flux d'eaux résiduaires. Lorsque les gaz rejetés contiennent également des charges élevées de polluants en plus des COV, l'oxydation thermique peut permettre, par exemple, la récupération de HCl commercialisable ou bien, si le système d'oxydation thermique est équipé d'une unité $DeNO_x$ (dénitrification) ou conçu pour une combustion en deux étapes, l'oxydation thermique peut permettre la réduction efficace des NO_x. On peut également recourir à l'oxydation thermique/incinération et l'oxydation catalytique afin de réduire l'émission d'odeurs.

868. Il est *considéré comme une MTD de réduire les émissions de manière à respecter les niveaux indiqués.* Les installations existantes peuvent réduire leurs émissions totales de COV à moins de 5 % de la quantité de solvant utilisé grâce à la stratégie combinée suivante:

a) Mise en œuvre progressive de mesures intégrées pour prévenir/réduire les émissions diffuses ou fugitives et minimiser le débit massique qui nécessite une réduction;

b) Application de techniques de récupération/réduction de haut niveau, telles que l'oxydation thermique/catalytique ou l'adsorption sur du charbon actif;

c) Application de techniques de récupération/réduction spécifiques à la source sur des sites plus petits à l'aide d'un équipement dédié et en utilisant un seul ou deux solvants en vrac différents.

Tableau 96
MTD d'atténuation des COV et niveaux d'émission correspondants dans le secteur de la chimie organique fine

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD*
Installations nouvelles	Combinaison des MTD définies ci-dessus (mesures primaires et secondaires (oxydation, adsorption et/ou condensation)	≤3 % de la quantité de solvant utilisé*
Installations existantes	Combinaison des MTD définies ci-dessus (mesures primaires et secondaires (oxydation, adsorption et/ou condensation)	≤5 % de la quantité de solvant utilisé*

* Somme de I1 (quantité de solvants organiques purs ou contenus dans les préparations du commerce qui est utilisée pour effectuer une opération au cours de la période prise en considération pour le calcul du bilan massique) et de I2 (quantité de solvants organiques purs ou contenus dans les préparations qui est récupérée et réutilisée pour effectuer une opération). (Le solvant recyclé est comptabilisé à chaque utilisation.)

Tableau 97
Niveaux d'émission correspondant aux MTD pour les techniques non oxydantes de récupération/réduction de la pollution [2]

Étape du procédé	*Niveau moyen d'émission des sources ponctuelles**
Techniques non oxydantes de récupération/réduction de la pollution	0,1 kg C/h* ou 20 mg C/m^3**

* L'intervalle de temps pris en compte pour le calcul de la moyenne concerne la courbe d'émission; les niveaux sont en gaz sec et en Nm^3.

** La concentration indiquée se rapporte aux débits volumétriques sans dilution par ventilation de la pièce ou du bâtiment, par exemple.

Tableau 98
Niveaux d'émissions totales de carbone sous forme organique correspondant aux MTD pour l'oxydation thermique, l'incinération ou l'oxydation catalytique [2]

Étape du procédé	*Niveau moyen d'émission des sources ponctuelles**		
Oxydation thermique/ incinération oxydation catalytique	Débit massique moyen <0,05 kg de C/h**	ou	Concentration moyenne** <5 mg C/m^3

* L'intervalle de temps pris en compte pour le calcul de la moyenne est celui de la courbe d'émission; les niveaux sont calculés en gaz sec et Nm^3.

** Ces valeurs étant techniquement difficiles à atteindre, il convient d'attirer l'attention sur le fait qu'il peut en résulter un rendement énergétique inacceptable.

4. Coûts des techniques de réduction des émissions

869. Les coûts varient considérablement. Les coûts moyens d'investissement dans une installation existante en vue d'obtenir les meilleures performances, sont d'environ 6 700 000 euros, tandis que le coût total par kg de COV éliminé est de 2,3 €/kg [8].

Références de la section W du chapitre VII

[1] Speciality organic chemical industry. EGTEI background document, 24 mai 2005, http://www.citepa.org/forums/egtei/speciality_chemistry_290405.pdf.

[2] Commission européenne − Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Produits de chimie organique fine, août 2006.

[3] Directive 1999/13/CE du Conseil du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composé organique volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations, disponible à l'adresse http://eur-lex.europa.eu/ LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0013:EN:HTML.

[4] Règlement (CE) n° 166/2006 du Parlement européen et du Conseil du 18 janvier 2006 concernant la création d'un registre européen des rejets et des transferts de polluants, et modifiant les directives 91/689/CEE et 96/61/CE du Conseil.

[5] Arrêté du 31 janvier 2008 relatif au registre et à la déclaration annuelle des émissions polluantes et des déchets (Journal officiel n° 62 du 13 mars 2008).

[6] Commentaires d'André Peeters Weem, Cees Braams d'InfoMil, Ministère néerlandais de l'environnement, sur GD 7-26 Manufacture of organic fine chemical − version 1.

[7] Commentaires de Johannes Drotleff, Agence fédérale allemande de l'environnement, sur GD 7-26 Manufacture of organic fine chemical − version 1.

[8] Speciality organic chemical industry. Synopsis sheet − 3 octobre 2005, disponible à l'adresse http://www.citepa.org/forums/egtei/31-Synopsis-sheet-Speciality-organic-chemical-industry-03-10-05.pdf.

X. Application de revêtements adhésifs (dont la fabrication de chaussures)

1. Objet

870. Les secteurs qui utilisent des adhésifs sont très divers. Les procédés de production et les techniques d'application des adhésifs sont également très différents. Les secteurs concernés sont les suivants: production de rubans adhésifs, de feuilles composites, secteur des transports (voitures de tourisme, véhicules commerciaux, caravanes résidentielles, véhicules ferroviaires, aéronefs), fabrication de chaussures et de produits de maroquinerie, matériaux ligneux et secteur de l'ameublement. L'utilisation non industrielle d'adhésifs est un secteur économique important, mais qui est examiné séparément.

2. Sources d'émissions

871. Les techniques d'application et les types d'adhésifs utilisés varient considérablement d'un secteur à l'autre. En effet, les adhésifs peuvent être appliqués à la main, par pulvérisation ou au rouleau. L'efficacité de l'application dépend du type de technique employée. La teneur en solvants des adhésifs dépend largement du type de matériau consommé. La teneur en solvants des adhésifs à base de solvants peut atteindre 80 %. Les colles à dispersion contiennent de 2 % à 6 % de solvants environ; enfin, les colles fusibles ne contiennent pas de solvant. Chaque type d'adhésif possède des caractéristiques physiques et chimiques différentes.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

872. Les niveaux d'émission correspondant aux MTD et les techniques antipollution sont repris du BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants [1] pour la fabrication de rubans adhésifs et sur les statistiques du Groupe d'experts des questions technico-économiques [2] pour les autres sous-secteurs.

873. Les techniques antipollution sont de portée générale, mais peuvent être adaptées aux secteurs utilisant des adhésifs. L'application de colles et d'adhésifs s'accompagne d'émissions notables de COV, que l'on peut réduire par des mesures primaires (utilisation de colles à teneur faible ou nulle en solvants organiques) ou des mesures secondaires, dans le cas de grandes installations (adsorption, oxydation thermique ou catalytique). Le tableau 99 présente un certain nombre de mesures de ce type appliquées à divers procédés de base.

Tableau 99
Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à l'application de revêtements adhésifs et à la fabrication de chaussures

Type d'installation	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV (moyenne annuelle des émissions totales)*
Fabrication de ruban adhésif	Condensation, adsorption, oxydation ou combinaison de ces techniques	Émissions totales de 5 % en masse ou proportion moindre du solvant utilisé [1]
Fabrication de ruban adhésif Application de revêtements adhésifs dans d'autres secteurs	Utilisation d'adhésifs sans solvant	0 g/kg d'adhésif [2]
	Condensation, adsorption, oxydation ou combinaison de ces techniques	<150 g/kg d'adhésif [5]
	Utilisation d'adhésifs à l'eau	20 g/kg d'adhésif [2]
Industrie de la chaussure	Utilisation d'adhésifs à l'eau	20-30 g/paire [3]
	Filtration biologique	

4. Coûts des méthodes de réduction

874. Les coûts s'échelonnent de 0,1 à 0,7 k€/t de COV éliminé environ, selon le type de mesure mise en œuvre (traitement ou diminution de la consommation de solvant): les coûts d'atténuation sont encore plus faibles avec les adhésifs à 100 % d'extrait sec, par rapport aux produits contenant des solvants. Toutefois, ces systèmes ne sont pas toujours envisageables sur le plan technique. Ces coûts sont représentatifs de grandes installations.

875. Pour le secteur de la chaussure en particulier, la mise en œuvre de l'oxydation thermique coûtera entre 8 et 11 k€/t de COV éliminé, tandis que l'utilisation de produits à l'eau environ 0,7 k€/t de COV. Toutefois, cette dernière technique ne semble pas pouvoir s'appliquer à tous les types de production.

876. Les méthodes détaillées d'estimation de ces coûts sont définies dans les documents du Groupe d'experts des questions technico-économiques concernant l'application d'adhésifs [2] et la fabrication de chaussures [3].

877. *Avertissement*: ces documents sont susceptibles d'évoluer en cas de mises à jour des données.

5. Nouvelles techniques

878. Aucune donnée disponible.

Références de la section X du chapitre VII

[1] BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants, août 2007.

[2] EGTEI background document/synopsis sheet: Adhesive application, 2003/2005.

[3] EGTEI background document/synopsis sheet: Manufacture of shoes, 2003/2005.

[4] Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

[5] Commentaires de Birgit Mahrwald, UBA.

Y. Application de revêtements (1): Revêtement de voitures, de cabines de camions, de camions et de bus

1. Objet

879. La présente section est consacrée à l'application de revêtements de voitures, de cabines de camions, de camions et de bus.

2. Sources d'émissions

880. Les principales étapes du procédé sont les suivantes:

a) Nettoyage préliminaire, traitement au phosphate, revêtement électrophorétique (également appelé électrodéposition);

b) Application et durcissement de la couche primaire;

c) Application et durcissement de la ou des couche(s) de finition;

d) Étanchéisation du soubassement et des joints, protection anticorrosion des cavités et peinture de réparation avant le montage.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

881. Les niveaux d'émission correspondant aux MTD sont ceux du BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants (BREF STS) [1]. Les mesures de contrôle présentées proviennent de discussions avec l'ACEA [2] et correspondent aux MTD.

Tableau 100
Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à l'application de revêtements

Type d'installation	*Combinaison de mesures [4]*	*Niveaux d'émission correspondant aux MTD pour les COV (moyenne annuelle des émissions totales)*
Construction d'automobiles (M1, M2)	Électrodéposition: peinture à base d'eau (5 % m/m de solvant) Couche primaire: peinture à base d'eau (teneur en solvants de 8 % m/m) − application électrostatique Couche de finition: - Revêtement à fort extrait sec (45 % m/m de solvant) − application électrostatique; - Couche d'impression à base d'eau (15 % m/m de solvant) − application électrostatique − et couche transparente à base de solvants (45 % à 55 % m/m de solvant) − application électrostatique Plan de gestion des solvants, récupération des solvants rejetés	10-35 g COV/m^2 ou 0,3 kg/carrosserie + 8 g/m^2 à 1 kg/carrosserie + 26 g/m^2
Construction de cabines de camions (N1, N2, N3)	Peintures laquées à base d'eau Couche transparente à haute teneur en solvants Récupération améliorée des solvants/diminution de la consommation de solvants Oxydation dans des fours	10-55 g COV/m^2
Construction de camions (N1, N2, N3)	Couche primaire et de finition à base d'eau pour les grands volumes et couche de finition à haute teneur en solvants pour les commandes spéciales Récupération améliorée des solvants/diminution de la consommation de solvants	15-50 g COV/m^2
Construction de bus (M3)	Cataphorèse Peintures laquées à base d'eau Couche transparente à haute teneur en solvants pour les commandes spéciales Récupération améliorée des solvants/diminution de la consommation de solvants Oxydation sur cataphorèse, fours de cuisson de la couche intermédiaire et d'émaillage	92-150 g COV/m^2
Construction de véhicules commerciaux	Peintures laquées à base d'eau Couche transparente à haute teneur en solvants Récupération améliorée des solvants/diminution de la consommation de solvants Oxydation dans des fours	15-50 g COV/m^2

882. La surface traitée est définie comme l'aire calculée sur la base de la surface de revêtement électrophorétique totale et l'aire de toutes les parties qui sont éventuellement ajoutées lors d'étapes successives du traitement et qui reçoivent le même revêtement que celui utilisé pour le produit en question, ou l'aire totale du produit traité dans l'installation.

- M1: Véhicules affectés au transport de personnes, comportant, outre le siège du conducteur, huit places assises au maximum.
- M2: Véhicules affectés au transport de personnes, comportant, outre le siège du conducteur, plus de huit places assises et ayant une masse maximale ne dépassant pas 5 Mg.
- M3: Véhicules affectés au transport de personnes, comportant, outre le siège du conducteur, plus de huit places assises et ayant une masse maximale supérieure à 5 Mg.
- N1: Véhicules affectés au transport de marchandises, ayant une masse ne dépassant pas 3,5 Mg.
- N2: Véhicules affectés au transport de marchandises, ayant une masse maximale supérieure à 3,5 Mg mais ne dépassant pas 12 Mg.
- N3: Véhicules affectés au transport de marchandises, ayant une masse maximale supérieure à 12 Mg.

4. Coûts des méthodes de réduction

883. Les coûts sont exposés dans les documents du Groupe d'experts des questions technico-économiques consacrés au revêtement des voitures [3], de camions et de véhicules commerciaux [4], de cabines de camions [5] et de bus [6].

884. Pour la construction d'automobiles, les coûts d'atténuation correspondant aux MTD mises en œuvre s'échelonnent de 11 à 25 k€/t de COV éliminés. Les coûts de certaines techniques sont encore plus élevés.

885. Pour la construction de camions et de véhicules commerciaux, ces coûts varient entre 12 k€/t et 22 k€/t de COV éliminés, en fonction du niveau d'émission atteint (exigences de la directive sur les solvants ou MTD).

886. Pour la construction de cabines de camions, les coûts d'atténuation varient entre 21 k€/t et 33 k€/t de COV éliminés, en fonction du niveau d'émission atteint (exigences de la directive sur les solvants ou MTD).

887. Pour la construction de bus, ces coûts s'échelonnent de 13 à 23 k€/t de COV éliminés, en fonction du niveau d'émission atteint (exigences de la directive sur les solvants ou MTD).

888. Les méthodes utilisées pour l'estimation de ces coûts sont décrites dans le détail dans les documents du Groupe d'experts des questions technico-économiques documents relatifs au revêtement de voitures [3], de camions [4], de cabines de camion [5] et de bus [6].

889. *Avertissement*: ces documents sont susceptibles d'être modifiés en cas de mise à jour des données.

5. Nouvelles techniques

890. Aucune donnée chiffrée n'est disponible.

Références de la section Y du chapitre VII

[1] BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants, août 2007.

[2] Réunion interne ACEA-Groupe d'experts des questions technico-économiques, juillet 2006.

[3] EGTEI background document/synopsis sheet: Car coating, 2003/2005.

[4] EGTEI background document/synopsis sheet: Truck coating, 2003/2005.

[5] EGTEI background document/synopsis sheet: Truck cabin coating, 2003/2005.

[6] EGTEI background document/synopsis sheet: Bus coating, 2003/2005.

Z. Application de revêtements (2): Revêtement des fils de bobinage

1. Objet

891. Seul le revêtement des conducteurs métalliques utilisé dans les bobines des transformateurs, des moteurs électriques et autres fait l'objet de la présente section.

2. Sources d'émissions

892. Le revêtement est habituellement appliqué sur le fil par trempage de ce dernier en mouvement continu dans un bain d'émail. Le fil enrobé circule ensuite dans une chambre d'émaillage, où le solvant s'évapore dans une chambre chauffée, puis dans une zone à température plus élevée où la couche d'émail est cuite. Il est possible d'appliquer jusqu'à 30 couches d'émail jusqu'à obtention d'une couche ayant l'épaisseur désirée. À l'heure actuelle, des fours à air recyclé sont utilisés. Le mélange air-solvant est généralement traité dans un oxydant catalytique, ce qui permet de s'assurer que les concentrations de solvant résiduel sont inférieures aux limites légales (généralement de 20 à 30 mg C/Nm^3). La chaleur dégagée par l'oxydant thermique peut être utilisée dans le processus de séchage [1].

893. En fonction des exigences relatives au produit fini, le fil émaillé pourra être lubrifié avant d'être enroulé autour d'une bobine. Traditionnellement, de la paraffine est appliquée grâce à un solvant organique, la teneur en solvants étant comprise entre 98 % et 99,9 %. Des lubrifiants, sous forme d'émulsions concentrées contenant de 50 % à 95 % de solvants, des émulsions à base d'eau ou même des résines coulées sans solvant sont également utilisés, mais ne rencontrent pas beaucoup de succès [1].

894. Deux méthodes permettent désormais d'appliquer de la paraffine sur le fil. La première consiste à enduire de paraffine solide la surface du fil et la seconde de la paraffine fondue.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

895. Les options d'atténuation calculées à partir du BREF STS [1] sont définies dans le tableau 101, ci-dessous.

Tableau 101
Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant au revêtement de fil de bobinage

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission correspondant aux MTD de réduction des COV (moyenne annuelle des émissions totales)*
Toutes installations	Utilisation de matériaux et/ou de procédés à faible teneur en solvant (revêtements en émail à haut extrait sec et lubrifiants sans solvant) et utilisation d'un oxydant catalytique en vue de traiter les émissions provenant du revêtement en émail	5 g/kg fil ou moins pour les fils épais (diamètre >0,1 mm) 10 g/kg fil ou moins pour les fils fins (0,01 à 0,1 mm de diamètre)

4. Coûts des méthodes de réduction

896. Les coûts sont exposés dans les documents du Groupe d'experts des questions technico-économiques consacrés au revêtement de fil [2]. Les coûts d'atténuation (€/t de COV éliminés) sont considérés négatifs lorsqu'un four est remplacé, le seul choix étant alors d'en racheter un autre, plus efficace et économe en énergie.

897. *Avertissement*: ces documents sont susceptibles d'être modifiés en cas de mise à jour des données.

5. Nouvelles techniques

898. Cirage des fils fins: cette technique permet de réduire les émissions de solvants provenant du séchage final de la cire sur les fils fins (0,01 à 0,1 mm) [1].

Références de la section Z du chapitre VII

[1] BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants, août 2007.

[2] EGTEI background document/synopsis sheet: Wire coating, 2003/2005.

AA. Application de revêtements (3): Enduction de bandes en continu

1. Objet

899. L'enduction de bandes (métalliques) en continu est un procédé linéaire qui consiste à appliquer un revêtement organique de protection ou de décoration sur des feuilles métalliques planes ou des bandes montées sur des rouleaux ou des bobines.

2. Sources d'émissions

900. La bande métallique passe par une chaîne d'application du revêtement, dans laquelle un rouleau applique le revêtement sur une face de la bande ou sur les deux. Ce système permet un transfert très efficace de la peinture. Ensuite, la bande passe par un four pour le séchage et le durcissement. À la sortie du four, la bande est refroidie par aspersion d'eau ou d'air, puis séchée à nouveau. S'il s'agit d'une ligne en tandem, comme c'est le cas la plupart du temps, une couche primaire est appliquée, suivie d'une couche de finition, sur un côté de la bande ou des deux.

901. Les peintures constituées de 40 % à 50 % de solvants sont couramment employées. Il n'existe aucune contrainte technique à l'utilisation de peintures à base de solvants.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

902. Les différents revêtements ont des applications différentes. Ainsi, les peintures à base d'eau ont pratiquement disparu depuis le début des années 1980 et elles ne sont pas très utilisées depuis en raison des difficultés techniques liées à leur fabrication et aux contraintes liées à leur utilisation. L'utilisation de revêtements en poudre est limitée, car l'application de ces produits reste difficile d'un point de vue technique et économique. Pour le moment, la vitesse d'une chaîne de poudre est d'environ 10 m/mn contre 50 à 100 m/mn pour la plupart des chaînes de peinture liquide, tandis que des épaisseurs inférieures à 60 µm sont difficiles et onéreuses à obtenir avec des peintures en poudre. Compte tenu de l'ensemble de ces facteurs, les procédés à base de poudre ne peuvent pas concurrencer ceux à base de solvants dans la plupart des applications.

903. Les niveaux d'émission correspondant aux MTD sont tirés du BREF STS [1] et d'informations de l'ECCA [4]. Ils sont présentés dans le tableau 102, ci-après.

Tableau 102
Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à l'enduction de bandes en continu

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD (moyenne quotidienne des émissions canalisées («c») et moyenne annuelle des émissions fugaces («f») et des émissions totales)*
Enduction de bandes en continu − nouvelles installations	Extraction dans la zone de préparation du revêtement, d'application de la peinture, du séchoir et du four et de la zone de refroidissement, et traitement des gaz résiduaires par oxydation thermique ou catalytique	0,73 à 0,84 g COV/m^2, avec 3 % à 5 % d'émissions fugaces* (concentrations de 20 à 50 mg C/m^3 atteignables dans les gaz résiduaires traités)
Enduction de bandes en continu − installations existantes		0,73 à 0,84 g COV/m^2, avec 3 % à 10 % d'émissions fugaces* (concentrations de 20 à 50 mg C/m^3 atteignables dans les gaz résiduaires traités)

* De nouvelles informations émanant de l'ECCA montrent que le taux d'émissions réalisable dépend d'une grande diversité de facteurs, mais qu'une valeur inférieure à 2,5 g/m^2 correspond à toutes les hypothèses possibles avec adoption d'une MTD. Cette valeur n'ayant pas été validée par le BREF, elle n'est pas reproduite dans le tableau ci-dessus.

4. Coûts des méthodes de réduction

904. L'atténuation de la pollution par un oxydant thermique coûte entre environ 200 et 360 €/t de COV éliminés, selon la taille de l'installation. La méthode d'estimation de ces coûts est définie et décrite dans le détail dans le document de synthèse établi par le Groupe d'experts des questions technico-économiques sur l'enduction de bandes en continu [2].

905. *Avertissement*: ce document est susceptible d'être modifié en cas de mise à jour des données.

5. Nouvelles techniques

906. La principale technique consiste à traiter les effluents par des oxydants. Les peintures à l'eau et en poudre ne correspondent pas à de nouvelles techniques et présentent des contraintes importantes. À l'avenir, des procédés de durcissement par rayonnement (UV et/ou faisceau électronique) pourraient permettre d'utiliser des peintures sans COV, mais ces techniques ne sont pas encore commercialisées [4].

Références de la section AA du chapitre VII

[1] BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants, août 2007.

[2] EGTEI synopsis sheet: Coil coating, 2006.

[3] Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

[4] Commentaires de l'ECCA, 9 mars 2009.

BB. Application de revêtements (4): Métal, bois, plastique et autres surfaces (tissu, cuir, papier, etc.)

1. Objet

907. Seuls les usages industriels des peintures sont abordés dans la présente section. Les peintures à usage domestique ou en bâtiment sont décrites dans une autre section. Le revêtement de voitures et d'autres véhicules, l'enduction de bandes en continu et le revêtement des fils de bobinage font l'objet d'autres sections, les techniques antipollution appliquées étant très spécifiques.

2. Sources d'émissions

908. Dans cette catégorie de sources, les émissions de COV proviennent de l'application de peinture, des fours de séchage, du matériel de nettoyage et des cabines de peinture. Selon le document de référence [1], il est impossible de décrire des méthodes antipollution uniformes compte tenu de leur grande diversité et des exigences extrêmement différentes de qualité des revêtements.

909. Les critères en matière de revêtement de surfaces sont extrêmement différents dans le secteur de l'application de peinture. Par ailleurs, la teneur en solvants des produits est très variable.

a) Peintures à base de solvants

910. Les peintures traditionnelles à base de solvants contiennent environ 30 % à 80 % m/m de solvants organiques. Les peintures à haut extrait sec contiennent plus de 65 % d'extrait sec.

b) Peintures à base d'eau

911. Les peintures à base d'eau contiennent moins de 1 % à 18 % de solvants organiques. Ces derniers servent d'agent mouillant et améliorent les propriétés de la couche de film humide. Ces peintures sont disponibles et largement utilisées. Leur champ d'application s'élargit en permanence.

c) Revêtements en poudre

912. Ces revêtements ne contiennent pas de solvants. Le plus souvent, l'excédent de peinture pulvérisée est recyclé, ce qui offre une efficacité de transfert assez élevée. Pour le séchage, le matériau est chauffé et donc fondu dans un film. Les revêtements en poudre sont principalement appliqués par pulvérisation électrostatique sur la pièce. Cette technique est très répandue dans plusieurs secteurs.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

913. Les niveaux d'émission associés aux MTD sont ceux du BREF STS [2] pour les grandes installations qui consomment plus de 200 t de solvant par an, et ceux de la directive européenne sur les solvants organiques [3] pour les petites installations (les facteurs d'émission sont calculés en fonction du dispositif d'atténuation mis en œuvre).

a) Questions générales

914. Dans l'application industrielle de peinture, l'air évacué présente généralement des débits élevés à teneur faible en solvants organiques, d'où un coût énergétique important pour les mesures de fin de chaîne. Par conséquent, si telle est l'option retenue, il vaut mieux utiliser des procédés à faible consommation d'énergie et/ou à taux élevé de récupération

de l'énergie. Une autre solution consiste à procéder d'abord à une concentration par adsorption ou désorption. Le nettoyage et la peinture avec des produits à teneur faible ou nulle en solvants organiques constitue souvent le moyen le plus efficace de réduire les émissions de solvants organiques dans la peinture industrielle.

915. Pour les applications industrielles, on peut réduire les émissions par exemple par une amélioration des procédés d'application qui consiste à remplacer la pulvérisation pneumatique classique par des pistolets électrostatiques, à mettre en œuvre d'autres techniques de pulvérisation, des systèmes de peinture à faible teneur en solvants et, parfois, à automatiser l'application. Par ailleurs, dans les secteurs du revêtement du bois et des surfaces métalliques, la récupération de la peinture (par exemple de l'excédent de peinture pulvérisée) constitue aussi une méthode éprouvée de réduction des COV.

b) Questions propres au revêtement du bois

916. En ce qui concerne le bois, les revêtements à base d'eau ne doivent pas être utilisés sur du chêne, tandis que les revêtements en poudre ne peuvent être utilisés que sur les panneaux de fibres à densité moyenne, les revêtements à durcissement par rayonnement n'étant adaptés qu'aux pièces planes.

Tableau 103
Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à l'application de revêtements

Type d'installation	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD (moyenne annuelle pour les émissions totales)*
Grandes installations [2]		
Revêtement de meubles et de matériaux en bois	Traitement des effluents gazeux par oxydation thermique, par exemple, lorsque d'autres techniques ne sont pas disponibles ou ne permettent pas d'atteindre un niveau convenable	0,25 kg ou moins de COV/kg de matière sèche mise en œuvre
	Utilisation de peintures à teneur faible ou nulle en solvants et efficacité maximale de l'application	
	Peintures riches en solvants organiques (teneur en solvants de 65 % m/m) associées à une technique d'application très efficace (application au rouleau, noyage, pulvérisation électrostatique, pulvérisation sous vide) et bonne organisation interne	40-60 g COV/m^2
	Peintures à teneur moyenne en solvants organiques (teneur en solvants de 20 % m/m) associées à une technique d'application très efficace et à une bonne organisation interne	10-20 g COV/m^2

Type d'installation	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD (moyenne annuelle pour les émissions totales)*
	Peintures à faible teneur en solvants organiques (teneur en solvants de 5 % m/m) associées à une technique d'application très efficace et à une bonne organisation interne	2-5 g COV/m^2
Revêtement de pièces en plastique	Traitement des gaz résiduaires Utilisation de peintures à faible teneur en solvants ou à l'eau et technique d'application très efficace	0,25 à 0,35 kg ou moins de COV/kg de matière sèche mise en œuvre
Revêtement de surfaces métalliques	Traitement des gaz résiduaires Utilisation de peintures à faible teneur en solvants ou à l'eau et technique d'application très efficace	0,10 à 0,33 kg ou moins de COV/kg de matière sèche mise en œuvre
Petites installations [3]		
Revêtement de meubles et de matériaux en bois	Traitement des effluents gazeux, par exemple par oxydation thermique, lorsque d'autres techniques ne sont pas disponibles ou ne permettent pas d'obtenir un niveau convenable Utilisation de peintures à teneur faible ou nulle en solvants et efficacité maximale de l'application Utilisation de peintures à faible teneur en solvants ou à l'eau et efficacité maximale de l'application	1 à 1,6 (installations consommant moins de 25 t de solvants par an) ou moins de COV/kg de matière sèche mise en œuvre
Revêtement de surfaces métalliques	Traitement des effluents gazeux Utilisation de peintures à faible teneur en solvants ou à l'eau et efficacité maximale de l'application	0,375 à 0,6 (installations consommant moins de 15 t de solvants par an) ou moins de COV/kg de matière sèche mise en œuvre

917. Selon le CEPE [7], pour les revêtements métallique est plastiques, il est possible de ramener les émissions de COV à 0,375 kg de COV par kilogramme de produit non volatil consommé, en associant une couche primaire à très forte teneur en extrait sec et une couche de finition à forte teneur en extrait sec appliquées mouillé sur mouillé, ce procédé convenant à de nombreuses applications. Des limites plus basses peuvent s'appliquer aux surfaces métalliques lorsque le procédé est l'électrodéposition ou l'utilisation de peinture en poudre ou d'autres matériaux supportant des températures élevées. En revanche, ces limites seraient inatteignables pour de nombreuses opérations en cuisson basse et pourraient nécessiter des mesures supplémentaires et non souhaitées de dépollution de l'air des cabines de pulvérisation.

4. Coûts

918. Les coûts sont définis dans les documents du Groupe d'experts des questions technico-économiques sur la peinture dans la grande industrie [4] et le revêtement du bois [5].

919. Dans l'industrie (grandes installations, procédés en continu, revêtement du plastique), les coûts d'atténuation varient entre 2 et 18 k€/t de COV éliminés, en fonction de la taille de l'installation; ces coûts sont négatifs pour les mesures primaires (une application plus efficace réduit la consommation de solvants et donc la quantité de produits mis en œuvre).

920. Pour le revêtement du bois, les coûts d'atténuation s'échelonnent de 2 à 16 k€/t de COV éliminés, en fonction de la taille de l'installation; ces coûts sont négatifs lorsque des mesures primaires sont prises.

921. *Avertissement*: ces documents sont susceptibles d'être modifiés en cas de mise à jour des données.

5. Nouvelles techniques

922. L'application de revêtements en poudre avec assistance électrostatique sur du bois et des matériaux ligneux non conducteurs est en cours de développement [2].

Références de la section BB du chapitre VII

[1] MTD for paint and adhesive applications in Germany, IFARE, 2002.

[2] BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants, août 2007.

[3] Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

[4] EGTEI background document/synopsis sheet: Paint in the general industry, 2003/2005.

[5] EGTEI background document/synopsis sheet: Wood coating, 2003/2005.

[6] Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc, Groupe d'experts des questions technico-économiques, février 2009.

[7] Commentaires du CEPE, mars 2009.

CC. Teneur en solvants de certains produits (1): Revêtements décoratifs

1. Objet

923. Les peintures décoratives sont appliquées directement sur les édifices.

2. Sources d'émissions

924. Les émissions de COV liées à l'utilisation de peinture de décoration proviennent de l'évaporation de ces composés, qui peuvent entrer dans la composition de la peinture ou qui sont ajoutés avant l'application d'une peinture à base de solvants afin de réduire la viscosité (diluants) ou, enfin, qui peuvent servir au nettoyage du matériel [3].

925. Tous les COV non récupérés peuvent être considérés comme à l'origine d'émissions. Le principal facteur lié à ces émissions est la quantité de COV que contiennent les peintures prêtes à l'emploi. Ces dernières sont soit à l'eau − et dans ce cas, il suffit d'ajouter de l'eau à la peinture pour en réduire la viscosité −, soit à base de solvants et dans ce cas, il faut rajouter du solvant pour réduire la viscosité de la peinture.

926. Les peintures décoratives traditionnelles à base de solvants contiennent environ 50 % d'extrait sec et 50 % de solvants organiques. Compte tenu de la limite fixée en matière de COV par la directive européenne 2004/42/CE [1], il faut adopter des produits à moindre teneur en COV.

3. Techniques disponibles et concentrations réalisables en solvants

927. Les COV dégagés par les peintures décoratives proviennent des peintures prêtes à l'emploi et du nettoyage du matériel avec des solvants. On peut réduire ces émissions en utilisant des peintures contenant moins de COV, c'est-à-dire en remplaçant les peintures traditionnelles à base de solvant par des peintures à l'eau ou contenant moins de COV. Les teneurs maximales autorisées en COV dans le cadre de la phase II de la directive 2004/42/CE sont définies par catégorie de produit dans le tableau 104 ci-dessous.

Tableau 104
Concentrations de solvants pouvant être obtenues pour chaque type de peinture

Sous-catégorie de produits	*Type*	*Phase II (g/l)**
Intérieur mat murs et plafonds (Brillant ≤25@60°)	Revêtements en phase aqueuse (PA)	30
	Revêtements en phase solvant (PS)	30
Intérieur brillant murs et plafonds (Brillant >25@60°)	PA	100
	PS	100
Extérieur murs support minéral	PA	40
	PS	430
Peintures intérieur/extérieur pour finitions et bardages bois ou métal	PA	130
	PS	300
Vernis et lasures intérieur/extérieur pour finitions, y compris lasures opaques	PA	130
	PS	700
Impressions	PA	30
	PS	350
Impressions fixatrices	PA	30
	PS	750
Revêtements monocomposant à fonction spéciale	PA	140
	PS	500
Revêtements bicomposant à fonction spéciale pour utilisation finale spécifique, sur sols par exemple	PA	140
	PS	500
Revêtements multicolores	PA	100
	PS	100
Revêtements à effet décoratif	PA	200
	PS	200

* g/l de produit prêt à l'emploi.

928. À l'exception des peintures murales d'intérieur à base de solvants, les industriels européens de peintures décoratives estiment que ces niveaux de COV sont réalisables.

929. Les peintures murales d'intérieur seront toutes à base d'eau, étant donné que les limites de 30 g/l et de 100 g/l ne pourront être atteintes avec des produits à base de solvants [3].

4. Coûts

930. Les coûts sont définis dans les documents du Groupe d'experts des questions technico-économiques sur les peintures décoratives [2]. Selon le CEPE [3], ce document est dépassé. Le CEPE a élaboré un document traitant des coûts liés au réétiquetage des produits qui est à la disposition du groupe [4].

5. Nouvelles techniques

931. Aucune donnée disponible.

Références de la section CC du chapitre VII

[1] Directive 2004/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 avril 2004 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et dans les produits de retouche de véhicules, et modifiant la directive 1999/13/CE.

[2] EGTEI background document: Decorative paint, 2003.

[3] J. Warnon − CEPE, 2 mars 2009.

[4] Impact en matière de coûts de la directive 2004/42/CE. Estimation du CEPE des coûts liés au réétiquetage des produits suite aux modifications de 2010 dans le secteur des peintures décoratives.

DD. Fabrication de revêtements, vernis, encres et adhésifs

1. Objet

932. Ce secteur englobe la fabrication de tous types de peintures, vernis, lazures, mais aussi encres et adhésifs. Une vaste gamme de produits, dont la formulation répond à toute une gamme d'exigences, est disponible. Ces produits sont destinés aux aéronefs, aux véhicules automobiles, aux navires, aux meubles en bois et en métal, aux produits d'emballage, aux fibres textiles, à certains usages domestiques, et autres.

2. Sources d'émissions

933. Les matières premières mises en œuvre dans la fabrication de ces produits sont les teintes, les liants, les solvants et toutes sortes d'additifs:

a) Les teintes donnent la couleur et l'opacité, et confèrent sa durabilité au revêtement;

b) Les liants forment une phase continue qui maintient la teinte dans le film et permet son adhésion à la surface à recouvrir. La majorité des liants sont composés de résines et d'huiles siccatives qui confèrent au film la plupart de ses propriétés mécaniques générales et de ses propriétés de protection;

c) Les solvants servent à ajuster la viscosité. Parmi ces produits, on trouve des hydrocarbures aliphatiques et aromatique, des alcools, des esters et des cétones;

d) Les additifs sont des matières premières ajoutées en faibles concentrations. Ils confèrent certaines propriétés au revêtement. Les additifs sont par exemple des agents séchants, épaississants, antifongiques, dispersants et des catalyseurs.

934. La fabrication de ces produits fait uniquement intervenir des procédés physiques, comme le pesage, le mélange, le broyage, la teinture, la dilution et l'emballage, mais aucune réaction chimique ne se produit. Ces procédés sont mis en œuvre dans de grandes cuves de mélange, à peu près à température ambiante.

935. Des produits polluants sont émis à diverses étapes du procédé. Les principales sources d'émissions sont les suivantes:

a) Fuites lors du remplissage et du nettoyage;

b) Pertes dues à l'adhésion des produits dans les cuves et l'équipement;

c) Émissions fugaces lors du mélange des préparations et du stockage des solvants.

3. Techniques disponibles et niveaux d'émission correspondants

936. Dans la fabrication de revêtements, les modifications de procédé consistent à adopter des peintures et colles pauvres en solvant organique. Des mesures de réduction des émissions comme le recouvrement des cuves ou la diminution des pertes par respiration des cuves de stockage, peuvent aussi être mises en œuvre. Les autres moyens de diminuer les COV sont les suivants: condensation, adsorption et oxydation thermique et catalytique. Le tableau 105 ci-dessous donne des exemples de mesures.

Tableau 105
Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondant à la fabrication de peintures et d'adhésifs

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD (moyenne annuelle pour les émissions totales)*
Grandes installations consommant plus de 1 000 t de solvants organiques par an		1 % m/m de solvant mis en œuvre [1]
Autres installations	Bonnes pratiques, à savoir: Récupération des vapeurs de solvants durant la distribution des matières premières, Déchargement des fûts au moyen d'élévateurs à fourche pour éviter les fuites, Recouvrement des cuves mobiles, Utilisation de solvants moins volatils en vue de réduire les émissions fugaces, Utilisation d'agents de nettoyage contenant moins de solvants, Utilisation de dispositifs de lavage automatiques dans la mesure du possible, Recyclage des solutions de nettoyage	2,5 % m/m de solvant mis en œuvre
	Bonnes pratiques et modernisation des unités d'adsorption de la condensation ou du carbone, et récupération des solvants	1,75 % m/m de solvant mis en œuvre

4. Coûts des méthodes de réduction

937. Les coûts d'atténuation des émissions inférieures à 2 % du solvant mis en œuvre sont d'environ 2 200 €/t de COV éliminés. La méthode d'estimation de ces coûts est définie et décrite dans le détail dans le document de synthèse établi par le Groupe d'experts des questions technico-économiques sur la fabrication de peintures, d'encres et de colles [2].

938. *Avertissement*: ce document est susceptible d'être modifié en cas de mise à jour des données.

5. Nouvelles techniques

939. Aucune donnée disponible.

Références de la section DD du chapitre VII

[1] Commentaires d'UBA correspondant à la législation allemande relative aux grandes installations.

[2] EGTEI synopsis sheet: Manufacture of paints, inks and glues, 2005.

EE. Procédés d'impression

1. Objet

940. Les techniques les plus importantes dans le secteur de l'impression sont l'impression offset par thermofixation, la flexographie et la rotogravure dans les secteurs de l'emballage, de la gravure d'édition et de la sérigraphie sur rotative.

941. Selon Intergraf [10], l'impression feuille à feuille et le coldset émettent très peu de COV. Par ailleurs, ces émissions sont difficiles à mesurer car ce type d'impression ne nécessite pas de séchage forcé, qui produit des effluents gazeux. En règle générale, on emploie des agents de nettoyage peu volatils et on évite l'isopropanol dans les solutions de mouillage. L'applicabilité de ces mesures dépend dans une grande mesure des conditions locales et ne peut être traduite en valeurs limites d'émissions. C'est la raison pour laquelle ces procédés ne peuvent être intégrés aux autres procédés d'impression et qu'ils doivent être exclus du présent document.

2. Sources d'émissions

a) Impression offset par thermofixation

942. L'impression offset est un procédé d'impression faisant appel à un support d'image dans lequel les parties imprimante et non imprimante sont sur le même plan. La partie non imprimante est traitée de manière à être hydrophile et donc à repousser l'encre. La partie imprimante est traitée de manière à recevoir et à transmettre l'encre vers un cylindre recouvert de caoutchouc, puis vers la surface à imprimer.

943. La thermofixation signifie qu'une évaporation se fait dans un four dans lequel le support imprimé est chauffé à l'air chaud. (La plupart des encres utilisées en imprimerie ne sèchent pas par évaporation, mais par oxydation ou absorption sur le papier. Les encres utilisées pour la thermofixation sont l'exception. Elles sont les seules encres offset qui sèchent essentiellement par évaporation [1].)

944. Les émissions dans l'atmosphère proviennent principalement des solvants organiques que contiennent les encres. Ces solvants sont des huiles minérales à point d'ébullition élevé (entre 40 % et 45 % m/m). Environ 20 % de l'huile minérale reste dans le papier une fois que celui-ci est ramené à température ambiante et ne relève donc plus de la définition des COV, tandis que le reste s'évapore durant le séchage, qui se fait à température élevée (200 °C à 300 °C).

945. Les solvants servant au nettoyage, au stockage et à la manipulation des solvants, et l'utilisation de solvants organiques dans les solutions de mouillage (de l'isopropanol en général) sont également des sources importantes d'émissions de composés organiques.

b) Gravure d'édition

946. La gravure d'édition est un procédé d'impression utilisant une forme imprimante cylindrique dans laquelle la partie imprimante se trouve en creux et la partie non imprimante en saillie, et qui utilise des encres liquides séchant par évaporation. L'encre se répartit dans des alvéoles et la partie non imprimante est nettoyée du surplus d'encre avant que la surface à imprimer entre en contact avec le cylindre et que l'encre sorte des parties en creux. Seules des encres à base de toluène sont utilisées [1]. L'encre contient 50 % de toluène à la sortie de la fabrique d'encre. Une dilution est faite à l'imprimerie, afin d'obtenir la concentration adéquate en toluène: l'encre prête à l'emploi contient jusqu'à 80 % de toluène [2]. La dilution se fait avec du toluène récupéré dans l'imprimerie.

c) Flexographie et rotogravure pour l'emballage

947. La flexographie est un procédé d'impression faisant appel à une forme imprimante en caoutchouc ou en photopolymères élastiques dont la partie imprimante est en saillie de la partie non imprimante. Ce procédé utilise des encres liquides qui sèchent par évaporation de solvants organiques. Il fait généralement appel à des rotatives et sert à des moyens ou grands tirages sur une variété de substrats, notamment du papier fort, du panneau de fibres, de la feuille de métal et du film plastique. Les principaux débouchés de la flexographie sont les emballages et les stratifiés souples, les sacs à parois multiples, les cartons de lait, le papier d'emballage cadeau, les boîtes pliantes, le carton ondulé (en feuilles), les gobelets et les assiettes en papier, les étiquettes, les rubans et les enveloppes. Pratiquement tous les cartons de lait et les sacs à parois multiples, et la moitié des supports d'emballage souple sont imprimés grâce à ce procédé.

948. Les encres peuvent présenter des teneurs différentes en solvants lors de l'achat, mais les encres prêtes à l'emploi en contiennent 80 % à 90 % (ces chiffres tiennent compte des agents de nettoyage). Il est possible de remplacer ces encres par des produits à l'eau (contenant environ 5 % de solvants), par des encres à séchage aux UV et par des adhésifs à double composant. Les encres à l'eau utilisées en flexographie servent régulièrement dans certains emballages, comme les sacs en papier et en plastique [1].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

949. Les niveaux d'émission correspondant aux MTD et les mesures mises en œuvre sont tirés du BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants [3] lorsque des informations existent (grandes installations consommant plus de 200 t de solvants par an) et à la directive européenne sur les solvants [4] ou aux chiffres du Groupe d'experts des questions technico-économiques pour les petites installations. Pour la sérigraphie, les chiffres proviennent d'une étude de 1999 [5], ce secteur n'ayant pas été traité en tant que tel par le Groupe d'experts des questions technico-économiques.

a) Impression offset par thermofixation

950. Les COV émis lors de l'*impression offset par thermofixation* sont de l'isopropanol provenant des solutions de mouillage, des agents de nettoyage et des cheminées des séchoirs. La MTD consiste à réduire l'ensemble des émissions fugaces et à traiter les émissions de COV provenant des cheminées par oxydation thermique, catalytique ou régénérative.

951. Par conséquent, est considérée comme une MTD la réduction:

a) Des émissions d'isopropanol, par l'utilisation de solutions de mouillage à teneur faible ou nulle en isopropanol;

b) Des émissions fugaces au niveau du nettoyage en associant les techniques suivantes: substitution et contrôle des COV utilisés lors du nettoyage et systèmes de nettoyage automatique des cylindres d'impression et de blanchet.

Tableau 106
Niveaux d'émission correspondant aux MTD dans l'impression offset par thermofixation

Type de presse	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD (moyenne quotidienne des émissions «c» et moyenne annuelle des émissions «f» et des émissions totales)*
Installations relevant de la PRIP [1]	
Presses nouvelles et rénovées	2,5 % à 10 % de COV exprimé en % de la consommation d'encre (masse)
Presses existantes	5 % à 15 % de COV exprimé en % de la consommation d'encre (masse)
Petites installations	
Toutes les presses	On peut obtenir des émissions fugaces de moins de 30 % du solvant mis en œuvre [1] avec une concentration dans la cheminée qui ne soit pas supérieure à 20 mg C/Nm^3

b) Gravure d'édition

952. Dans le secteur de la *gravure d'édition*, il est possible de récupérer par adsorption sur du charbon actif plus de 90 % du solvant organique consommé (principalement du toluène). Le recyclage de ces solvants organiques est possible et il est pratiqué depuis longtemps.

953. La réduction des émissions fugaces résiduaires dans les gaz après traitement est considérée comme une MTD.

Tableau 107
Niveaux d'émission correspondant aux MTD dans la gravure d'édition

Nouvelles installations [3] *(moyenne annuelle des émissions totales)*
Émissions totales: 4 % à 5 % du solvant mis en œuvre
Installations existantes [3], [4] *(moyenne annuelle des émissions totales)*
Émissions totales: 5 % à 7 % du solvant mis en œuvre

c) Rotogravure et flexographie dans le secteur des emballages

954. Dans le secteur de la *rotogravure et de la flexographie dans le secteur des emballages*, on peut recourir aux mesures suivantes pour réduire les émissions de COV:

955. Emploi d'encres et d'adhésifs à teneur faible ou nulle en solvants, autant que possible; adsorption sur charbon actif: cette mesure permet de capter jusqu'à 99 % des émissions. Le rendement du dispositif de captage est un paramètre important de l'efficacité globale. La diversité des solvants organiques mis en œuvre dans les encres rend difficile le recyclage sur place. Cette option pourrait du moins se révéler techniquement et économiquement réalisable dans les grandes imprimeries, dont la consommation annuelle de solvants atteint au moins 500 Mg. L'optimisation, au stade de la conception, du flux d'air capté dans les différents segments d'une installation est toujours souhaitable. Minimiser celui-ci revient à accroître la concentration des émanations, d'où d'importantes économies quant aux frais d'investissement et d'exploitation.

956. Incinération thermique ou catalytique: Le rendement du dispositif de captage est un paramètre important de l'efficacité globale. Pour l'heure, c'est cette mesure qui est la plus couramment utilisée pour réduire les émissions de COV dans le secteur de l'imprimerie, et il est à prévoir qu'elle restera l'option la plus avantageuse dans les imprimeries dont la consommation de solvant ne dépasse pas 500 Mg/an. Il est toujours souhaitable d'optimiser, à la conception d'une installation, le flux de l'air capté dans ses différentes parties. En réduisant au minimum le débit d'air général, on accroît la concentration des émissions, ce qui permet de diminuer fortement les frais d'investissement et d'exploitation.

Tableau 108
Sources d'émissions, mesures d'atténuation des COV et niveaux d'émission correspondants dans la rotogravure et la flexographie dans le secteur des emballages

Type d'installation	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD (moyenne quotidienne des émissions «c» et moyenne annuelle des émissions «f» et des émissions totales)*
Installations relevant de la PRIP	Installations dont la totalité des machines sont reliées à un système d'oxydation	7,5 % à 12,5 % du niveau d'émission de référence[a] [3]
	Installations dont la totalité des machines sont reliées à un système d'adsorption sur du charbon	10 % à 15 % du niveau d'émission de référence[a] [3]
	Pour les installations existantes mixtes dont certaines machines ne sont pas forcément reliées à un incinérateur ou à un dispositif de récupération des solvants	Les émissions provenant des machines reliées à des dispositifs d'oxydation ou d'adsorption sur du charbon actif sont inférieures aux limites de 7,5 % à 12,5 % ou de 10 % à 15 % respectivement. Pour les machines non reliées à un dispositif de traitement des gaz: utilisation de produits à teneur faible ou nulle en solvants, raccordement à une installation de traitement des gaz résiduaires lorsqu'il existe de la capacité inemployée et de préférence tirages à forte teneur en solvants sur des machines reliées à des dispositifs de traitement des gaz résiduaires. Émissions totales inférieures de 25 % aux émissions de référence *(schéma de réduction prévu dans la directive sur les émissions de solvants)*

Type d'installation	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD (moyenne quotidienne des émissions «c» et moyenne annuelle des émissions «f» et des émissions totales)*
Petites installations	Valeurs limites (c) = 100 mg C/Nm^3 et valeurs limites (f) = 20 % m/m *ou* valeurs limites totales = 25 % des émissions de référence[a] réalisables grâce aux mesures suivantes	
	Utilisation d'encres à l'eau (5 % m/m de solvants)	50 g/kg de produit prêt à l'emploi (efficacité de la réduction d'environ 94 %) [6]
	Produits à base de solvants et traitement des émissions de cheminées par oxydation	Efficacité de la réduction d'environ 76 % [5]
	60 % de produits sans solvants traitement des émissions de cheminées pour les 40 % restants	Environ 80 g/kg de produit prêt à l'emploi (efficacité de la réduction d'environ 90 %) [6]

[a] Émission de référence définie à l'annexe IIb de la directive sur les solvants [4].

4. Coûts des méthodes de réduction

957. Les méthodes d'estimation de ces coûts sont définies et décrites dans le détail dans le document de synthèse établi par le Groupe d'experts des questions technico-économiques sur l'impression offset par thermofixation [6], les emballages [7] et la gravure d'édition [8].

958. *Avertissement*: ces documents sont susceptibles d'être modifiés en cas de mise à jour des données.

959. Pour l'*impression offset par thermofixation*, les coûts d'un dispositif d'oxydation sont échelonnés entre environ 1 000 euros et 5 000 euros, selon la taille des installations.

960. Pour l'*industrie de l'emballage*, les coûts des mesures antipollution dépendent largement de la taille de l'installation: pour les petites installations, un dispositif d'oxydation coûte environ 22 000 €/t de COV éliminée contre moins de 1 000 €/t de COV pour les plus grandes installations. Pour tous les types d'installations, *lorsque l'utilisation d'encres à l'eau est envisageable sur le plan technique*, cette option se traduit par des coûts d'environ 150 €/t de COV éliminée. La dernière option, envisageable, d'un point de vue technique et économique, que pour les grandes installations, est la mise en œuvre de l'adsorption au charbon, pour un coût d'atténuation inférieur à 1 000 €/t de COV éliminés.

961. Pour la *gravure d'édition*, les coûts d'atténuation par adsorption au charbon s'élèvent à environ 1 000 euros. Ils sont réduits car on peut recycler une grande quantité de toluène.

5. Nouvelles techniques

962. La flexographie par UV pourrait se développer à l'avenir pour des applications autres que les cartons de boissons [3].

Références de la section EE du chapitre VII

[1] P. Verspoor pour Intergraf − Communications pour le Groupe d'experts des questions technico-économiques et l'IIASA, 2002 à 2004.

[2] J. Bernard pour ERA, 2003.

[3] BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants, août 2007.

[4] Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

[5] Task Force on the Assessment of Abatement Options/Techniques for VOC from Stationary Sources, 1999.

[6] EGTEI synopsis sheets: Heatset offset, 2005.

[7] EGTEI synopsis sheets: Packaging, 2005.

[8] EGTEI synopsis sheets: Publication gravure, 2005.

[9] Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc − Groupe d'experts des questions technico-économiques, février 2009.

[10] Commentaires d'Intergraf, 25 mars 2009 et 25 mai 2009.

FF. Transformation du caoutchouc

1. Objet

963. Ce secteur concerne la production de pneus et d'articles en caoutchouc. Les adhésifs utilisés dans la fabrication de certains articles en caoutchouc sont traités dans la section sur les revêtements adhésifs. Les techniques d'atténuation ne sont pas les mêmes que celles qui sont décrites ci-après.

2. Sources d'émissions

964. Les produits en caoutchouc sont fabriqués à partir d'une grande variété de matières premières. Les principales étapes de la transformation du caoutchouc sont les suivantes:

a) Mélange;

b) Extrusion;

c) Calandrage;

d) Construction;

e) Vulcanisation.

965. Dans le secteur de la mise en œuvre du caoutchouc naturel ou synthétique, les solvants organiques entrent principalement dans les opérations d'ajustement de la viscosité.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

966. Il n'existe aucun document de référence sur les meilleures techniques disponibles concernant la fabrication de pneus et d'articles en caoutchouc. Le document existant concerne la production de polymères, une activité qui ne relève pas de la transformation du caoutchouc [4].

967. Dans ce secteur, les émissions de COV seront atténuées par des mesures primaires ou secondaires mais pas par une combinaison de ces deux types de mesures. La plupart du temps, pour réduire les émissions, il faut adopter des produits à teneur faible ou nulle en solvants. Lorsqu'aucune technique de ce type n'est possible, on peut traiter les effluents gazeux. Les facteurs d'émissions donnés proviennent du document du Groupe d'experts des questions technico-économiques sur la fabrication de pneus [1] et sur une étude de 1999 sur la fabrication d'articles en caoutchouc [2]. Compte tenu de la très grande diversité d'installations et de produits fabriqués, et du fait qu'aucun BREF n'a été élaboré pour ce secteur en particulier, les niveaux d'émission réalisables figurant dans le tableau 109 sont uniquement donnés à titre indicatif et doivent être compris comme des valeurs moyennes.

Tableau 109
Sources d'émissions, mesures d'atténuation des COV et niveaux d'émission correspondants dans la transformation du caoutchouc naturel ou synthétique

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV [définis en moyenne annuelle des émissions totales]*
Production d'articles en caoutchouc		
Usine consommant au moins 15 t de solvant par an	Remplacement des agents et des systèmes de nettoyage à base de solvants par leurs équivalents à base d'eau Traitement des effluents gazeux par oxydation, par exemple	1 kg/t de caoutchouc transformé [2]
Fabrication de pneus		
Toutes installations	*Nouveaux procédés* (exemple: utilisation de bandes adhésives en caoutchouc, nouveaux types de machines d'assemblage associées à une extrudeuse, extrusion selon une nouvelle technique). Utilisation de revêtements adhésifs, d'encres et d'agents de nettoyage contenant 25 % de solvants (90 % m/m de solvants) ou oxydation lorsque l'on ne peut pas réduire la consommation de solvants	2,5 kg/t de pneus [1][a]

[a] Le chiffre de 2,5 kg de COV/t de pneus provient du document de référence sur la fabrication de pneus établi par le Groupe d'experts des questions technico-économiques [1]. Cette valeur correspond à l'application d'une réduction de 75 % par rapport à la situation moyenne, dans laquelle aucune mesure n'est prise (ce qui inclut les installations dans lesquelles des mesures antipollution sont déjà mises en œuvre).

4. Coûts des méthodes de réduction

968. Les coûts sont définis dans le document de synthèse sur la fabrication de pneus établi par le Groupe d'experts des questions technico-économiques [1].

969. Pour la fabrication de pneus, les coûts des mesures antipollution telles qu'elles sont définies pour une installation moyenne varient de 0,14 à 1 k€/t de COV éliminés, en fonction de la technique mise en œuvre (réduction de la consommation de solvants ou oxydation thermique). Dans la plupart des cas, des mesures secondaires sont mises en œuvre lorsque les mesures primaires ne sont pas envisageables d'un point de vue technique.

970. *Avertissement*: ce document est susceptible d'être modifié en cas de mise à jour des données.

5. Nouvelles techniques

971. Aucune donnée disponible.

Références de la section FF du chapitre VII

[1] EGTEI synopsis sheet: Tyre production, 2005.

[2] Task Force on the Assessment of Abatement Options/Techniques for VOC from Stationary Sources, 1999.

[3] Commentaires de l'ETRMA, mars-avril 2009.

GG. Nettoyage à sec

1. Objet

972. La présente section concerne le nettoyage à sec de textiles, de cuirs et de fourrures au moyen de solvants organiques.

2. Sources d'émissions

973. Dans ce secteur, les solvants utilisés sont principalement le perchloréthylène (PER) et des hydrocarbures légers (inflammables). Des hydrocarbures à point d'éclair plus élevé sont également employés. En Allemagne, les conditions d'utilisation de ces solvants sont les suivantes [6]: température d'ébullition comprise entre 180 °C et 210 °C et point d'éclair supérieur à 55 °C. Ces produits sont moins volatils que le perchloréthylène, ce qui allonge le cycle de séchage. Par ailleurs, leur indice Kb (kauri-butanol) est plus faible que celui du PER et, par conséquent, ils sont moins efficaces que le PER sur certains types de taches (l'indice kauri-butanol (Kb**)** mesure le pouvoir solvant; plus cet indice est élevé, plus le solvant est efficace).

974. Les émissions notables de solvants provenant des machines de nettoyage à sec peuvent être divisées en deux catégories:

a) Dégagement de vapeurs, notamment par la ventilation des machines, le refoulement d'air des réservoirs de stockage au remplissage, les fuites et les solvants retenus temporairement par les vêtements nettoyés;

b) On peut ne pas tenir compte des résidus.

975. Actuellement, d'autres types de solvants organiques voient le jour. L'un d'entre eux est le siloxane D_5 CAS 541-02-6, un composé liquide du silicium dont la pression de vapeur à 20 °C est de 0,03 kPa. Ce produit est intéressant mais n'est pas dépourvu d'effets préjudiciables à la santé humaine, selon certaines études réalisées aux États-Unis et au Danemark [4] et [5]. L'utilisation de liquides est encore marginale, mais elle progresse [8]. Si l'on envisage de remplacer les solvants utilisés actuellement dans le lavage à sec, il faut prêter une attention particulière au classement des solvants (voir la section A du chapitre V).

976. Il existe quatre types de machines de nettoyage à sec en exploitation actuellement [1]:

- *Machine de type I*: Ce type de machine est uniquement équipé d'une unité de refroidissement et de condensation du solvant par un circuit d'eau dont la température est comprise entre 20 °C et 30 °C. Après refroidissement par l'eau, l'air chargé en solvant est évacué sans être filtré au charbon actif. Les émissions dans l'atmosphère sont d'environ 105 g de solvant/kg de textiles. La consommation de solvant est d'environ 110 g de solvant/kg de textiles;
- *Machine de type II*: Ce type de machine est équipé d'une unité de réfrigération qui condense le perchloréthylène à -20 °C. L'effluent gazeux traverse un filtre au charbon actif avant d'être évacué. Les émissions dans l'atmosphère sont d'environ 45 g de solvant/kg de textiles et la consommation de solvant est d'environ 50 g solvant/kg de textiles;
- *Machine de type III*: Dans les machines de ce type, le cycle de séchage se fait en circuit fermé et l'air traverse ensuite une unité de réfrigération. Il n'y a aucun dégagement d'effluent dans l'atmosphère. Les émissions supposées dans l'air sont d'environ 20 g de solvant/kg de textiles et, au maximum, de 40 g de solvant/kg de textiles. La consommation de solvant est d'environ 25 g solvant/kg de textiles;

- *Machine de type IV*: Les machines de ce type fonctionnent en circuit entièrement fermé. Le cycle de séchage se fait comme dans des machines de type III, à la différence que l'air dégagé par les cycles de séchage traverse l'unité de réfrigération et le charbon actif jusqu'à ce que la concentration en solvant dans le tambour soit inférieure à 2 mg/m^3. Le solvant qui n'a pas été absorbé par le charbon actif retourne dans la machine. Les émissions supposées dans l'air sont d'environ 5 g de solvant/kg de textiles et la consommation de solvant est d'environ 10 g de solvant/kg de textiles.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

a) Nettoyage par voie humide

977. Une mesure primaire de portée générale et très efficace sur les émissions consiste à adopter un procédé par voie humide à l'eau.

978. Dans ce type de procédé, les vêtements sont nettoyés par voie humide. Un détergent et un adjuvant spécialement formulés sont utilisés. Ces deux produits sont automatiquement introduits dans la machine dans des quantités déterminées par le programme de lavage. Le détergent associe des détergents actifs, de l'éther glycolique, des agents antirétrécissement et de l'alcool dissous dans de l'eau. Parfois sont également utilisés de l'amidon et d'autres produits antitaches, dont certains contiennent des substances dangereuses. Le nettoyage par voie humide s'effectue dans des machines à laver et des séchoirs commandés par ordinateur. Le principal problème de transfert de la pollution d'un milieu à un autre est la pollution de l'eau. Le nettoyage est parfois de moins bonne qualité que le nettoyage à sec avec des solvants et il peut abîmer les tissus et les couleurs. Il convient aussi de tenir compte des restrictions qui s'appliquent au cuir et à certains tissus.

b) Machines de nettoyage à sec de nouvelle génération

979. Les nouvelles machines à circuit fermé (équipées d'un condensateur et d'un filtre à charbon actif), comme les machines de type IV décrites plus haut, permettent de réduire les émissions de COV de 95 % par rapport aux machines ouvertes. Les machines conventionnelles à circuit fermé et équipées de filtres à charbon actif permettent une réduction de 80 % seulement.

Tableau 110
Sources d'émissions, techniques d'atténuation et niveaux d'émission correspondants

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*MTD et niveaux d'émission de COV correspondants*
Machines à circuit ouvert et machines traditionnelles à circuit fermé (type I à type III) Solvant utilisé: perchloréthylène (PER) ou hydrocarbures	Adoption de procédés humides à l'eau	0 g/kg de textiles
	Adoption de machines de type IV (machines en circuit fermé avec réfrigération et filtrage au charbon actif)	5 g/kg de textiles

4. Nouvelles techniques

a) Nettoyage au CO_2 liquide

980. Les machines au CO_2 liquide existent, mais ne sont pas encore très répandues. Comme dans le procédé traditionnel, elles sont équipées d'un tambour, d'une boucle de recirculation, d'un système de filtrage, d'un filtre à peluches et d'une unité de distillation et de stockage. L'équipement et la composition chimique des produits employés sont spécialement conçus pour supporter la pression et permettre les échanges de dioxyde de carbone. Les vêtements n'ont pas besoin d'être séchés après lavage. En raison de sa faible viscosité, le CO_2 liquide facilite le lavage. Ses performances sont comparables à celles du PER. On constate toutefois des performances légèrement différentes sur les taches d'huile de moteur et de rouge à lèvres. Toutefois, ces taches peuvent être traitées en amont ou en aval [6].

b) Machines sans eau

981. Ce procédé consiste à utiliser de petites pastilles en plastique qui tournent dans le tambour avec le linge et qui éliminent les taches. La consommation d'eau, de 100 ml/kg de vêtements, est très basse par rapport aux machines à laver traditionnelles [8].

5. Coûts des méthodes de réduction

982. Les coûts sont exposés dans le document sur le nettoyage à sec du Groupe d'experts des questions technico-économiques [3]. Les coûts d'investissement dans une machine à circuit fermé de nouvelle génération sont supérieurs d'environ 25 % à ceux consacrés à l'acquisition d'une machine traditionnelle à circuit fermé.

Références de la section GG du chapitre VII

[1] Institute for Health and Consumer Protection (IHCP), European Chemical Bureau. Risk assessment report for tetrachloroethylene. Rapport final 2005 (EUR 21680 EN).

[2] Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

[3] EGTEI background document: Dry cleaning, 2005.

[4] Siloxanes in the Nordic Environment, TemaNord 2005: 593 Conseil des ministres des pays nordiques, Copenhague, 2005, ISBN 92-893-1268-8.

[5] Étude de l'EPA sur les siloxanes.

[6] INERIS − rapport d'étude ERSA 05 9 − Note sur les produits de substitution du perchloroéthylène.

[7] Birgit Mahrwald UBA Commentaires sur GD 7-36 dry cleaning, version 1.

[8] AEA energy and environment, OKOPOL et BIPRO: Guidance on VOC substitution and reduction for activities covered by the VOC solvent emissions directive − Guidance 11 − Dry cleaning, Commission européenne, 2008.

HH. Nettoyage de surfaces

1. Objet

983. La présente section est consacrée aux émanations fugaces et de cheminée de COV liées aux procédés de nettoyage aux solvants que l'on trouve dans l'industrie. Les principaux utilisateurs de ces procédés sont les industries de la transformation des métaux: construction automobile, électronique, plomberie, aéronautique, réfrigération

et construction de machines de bureau. Le nettoyage par solvants se pratique aussi dans l'imprimerie, l'industrie chimique, la transformation du plastique, du caoutchouc et des textiles, la miroiterie, la papeterie et la production d'électricité. Enfin, les solvants sont aussi employés dans la peinture. La plupart des ateliers de réparation de véhicules routiers et de matériel électronique font appel au moins une partie du temps à un nettoyage à base de solvants.

2. Sources d'émissions

984. Le nettoyage de surfaces à l'aide de solvants (souvent appelé dégraissage aux solvants) consiste à éliminer les résidus non solubles dans l'eau − graisses et corps gras, paraffines, dépôts de carbone, fondants et goudrons − de surfaces métalliques, en plastique et en fibre de verre, et de circuits imprimés et d'autres surfaces.

985. Plusieurs types de dégraissants sont employés pour le nettoyage de surfaces, à savoir:

a) Des solvants organiques halogénés ou non halogénés;

b) Des solutions aqueuses avec des produits alcalins, acides, des silicates, des phosphates ou des agents complexants et hydrophiles [1];

c) Du CO_2 supercritique;

d) Des agents biologiques;

e) Des ultrasons.

986. Les solvants organiques utilisés dans les applications de dégraissage sont les suivants:

a) Solvants chlorés: Ils ne sont pas inflammables (pas de point d'éclair) mais nombre d'entre eux sont classés dans la catégorie R40 (perchloréthylène et dichlorométhane) ou R45 (trichloréthylène);

b) Solvants à base d'hydrocarbures ou de classe A3 (point d'éclair supérieur à 55 °C, ce qui signifie qu'ils sont ininflammables dans des conditions normales d'utilisation, mais qu'ils peuvent s'enflammer encas d'utilisation non contrôlées (les solvants inflammables ont un point d'éclair <55 °C));

c) Alcools et cétone, qui sont inflammables;

d) Hydrofluorocarbones (HFC), hydrofluoroéthers (HFE) et perfluorocarbones (PFC) utilisés dans des applications spéciales de nettoyage, comme l'électronique, et dont le principal problème est l'impact sur l'ozone de la stratosphère même si leur potentiel de destruction de l'ozone est faible, ainsi que leur impact sur le changement climatique (les PFC et les HFC sont des gaz à effet de serre qui relèvent du Protocole de Kyoto). Les HFE sont traités dans le quatrième rapport d'évaluation du GIEC (AR4) [5].

987. Les solvants sont surtout utilisés lorsque la pièce métallique doit sécher après dégraissage. Les paramètres suivants ont une influence importante sur le choix du procédé de nettoyage:

a) Support à nettoyer;

b) Type de salissure à éliminer;

c) Procédé de fabrication;

d) Exigences découlant des étapes ultérieures du procédé.

988. Les techniques de nettoyage de surfaces sont résumées dans le tableau suivant.

Tableau 111
Principales techniques de nettoyage de surfaces

Procédé	*Type de machine*	*Produit de nettoyage employé*
Nettoyage à froid	Manuel (au chiffon par exemple)	Alcools Solvants chlorés
	Machines ouvertes	
	Machines fermées	
Nettoyage à chaud	Machines ouvertes à chargement par le haut	Solvants chlorés
	Machines couvertes à chargement par le haut	
	Machines fermées	
	Machines étanches	
	Machines ouvertes à chargement par le haut	Hydrocarbures
	Machines couvertes à chargement par le haut	
	Machines fermées	
	Machines étanches	
Nettoyage à l'eau	Machine à cuve unique	Solutions alcalines, acides, à base de silicates, de phosphates, agents complexants et hydrophiles
	Machines multicuves	
	Machines de type tunnel	

989. Il existe deux types de procédés à base de solvants organiques [1], [2]:

a) Nettoyage à froid: Cette méthode est surtout utilisée dans la maintenance et la production. Le dégraissage se fait au moyen de solvants chargés par lots et non portés à ébullition. Les opérations de nettoyage à froid sont les suivantes: pulvérisation, brossage, lessivage rapide et immersion. Dans un nettoyeur typique de maintenance, les pièces sales sont nettoyées à la main par aspersion de solution, puis trempées dans la cuve sur une certaine durée. Après le nettoyage, les pièces sont mises à égoutter, soit suspendues au-dessus de la cuve, soit dans un panier, le solvant en excédent étant redirigé vers la cuve. La cuve est censée est recouverte lorsqu'aucune pièce n'est traitée. Les appareils de nettoyage à froid peuvent être très différents, mais on retombe sur deux modèles de base: la cuve d'aspersion simple et la cuve de trempage. Le trempage permet un nettoyage beaucoup plus en profondeur, grâce à l'immersion, l'efficacité étant encore plus importante si les pièces sont agitées;

b) Nettoyage à la vapeur: les appareils de ce type dégraissent des pièces par lots en utilisant le principe de la condensation de vapeur chaude de solvants sur des pièces métalliques froides. Ces systèmes utilisent des solvants halogénés (perchloréthylène ou trichloréthylène), parce que ces produits sont ininflammables et que leurs vapeurs sont plus

lourdes que l'air. En général, le dégraissage à la vapeur se fait dans un cuvelage équipé d'un appareil de chauffage qui amène à ébullition le bain de solvant, afin de fabriquer de la vapeur. Les pièces à nettoyer sont suspendues au-dessus du bain de solvant, dans la zone de vapeur. Les vapeurs de solvant condensent sur la paroi froide de la pièce jusqu'à ce que les pièces atteignent la température de la vapeur. Le solvant liquide qui reste sur les pièces s'évapore rapidement lorsque ces dernières sont retirées de la zone de vapeur. Le nettoyage est encore plus efficace si les pièces sont aspergées de solvant en-dessous de la zone de vapeur ou si elles sont immergées dans le bain de solvant liquide. Pratiquement tous les appareils de dégraissage à la vapeur sont équipés d'un séparateur d'eau qui permet de récupérer le solvant dans l'appareil.

990. Pour les appareils à froid, on peut contrôler l'évaporation du solvant contenu dans le bain en recouvrant régulièrement ce dernier, en prévoyant un dégagement adéquat et en évitant les courants d'air trop importants dans l'atelier.

991. Dans les appareils à vapeur ouverts, les effets de diffusion ou de convection sont à l'origine de la plupart des émissions. On peut les réduire en couvrant le bain, automatiquement ou manuellement, en aspergeant les pièces en dessous de la zone de vapeur, en optimisant la charge ou en utilisant un appareil de réfrigération des dégagements (francs-bords) (ce dernier pouvant être remplacé, sur les unités de plus grande taille, par un appareil d'adsorption au charbon). Enfin, le nettoyage à la vapeur peut se faire dans des machines fermées et étanches.

a) Machines hermétiquement fermées

992. Dans ces machines, une série de sas et un système d'extraction de la vapeur et/ou de réfrigération qui recycle la vapeur et la réintroduit dans le bain empêchent le solvant de se dégager directement dans l'atmosphère. Ces machines permettent un confinement très important du solvant et réduisent les émissions fugaces. Elles font appel soit à des solvants chlorés soit à d'autres solvants, comme des hydrocarbures A3, des HFC ou des HFE. En option, on peut faire fonctionner la machine sous vide. La distillation se fait ainsi à température plus basse et les émissions de vapeur peuvent être contrôlées en permanence [3].

b) Nettoyage à l'eau

993. Dans ce procédé, les surfaces sont nettoyées avec de l'eau, un détergent et une faible quantité de solvants. Il s'est révélé raisonnablement efficace dans certaines applications. En dehors des bains acides, le nettoyage industriel de surfaces dures peut se faire au moyen de produits alcalins forts à faibles et de produits neutres. Les produits neutres sont principalement destinés au nettoyage intermédiaire et final de surfaces, tandis que les produits très alcalins visent à obtenir des surfaces d'une propreté irréprochable avant ennoblissement, phosphatation ou application d'un revêtement. Les produits acides sont destinés à des applications spéciales. Les agents de nettoyage à l'eau sont efficaces sur des métaux comme l'acier, l'aluminium, le magnésium, le cuivre, etc., mais aussi les plastiques, les surfaces recouvertes d'un revêtement, le verre et les pièces électroniques. Certains sous-secteurs du nettoyage industriel de surfaces ont adopté des systèmes à base d'eau, qui offrent des résultats encore meilleurs que les systèmes précédents, à base de solvants. Cet effet est surtout lié aux substrats qui subissent d'autres transformations en aval, comme la pose d'un revêtement. Les deux principales techniques employées sont l'immersion (petites cuves et systèmes multicuve) et l'aspersion (petites machines et tunnels complets).

c) Nettoyage biologique

994. Un agent de nettoyage aqueux est associé à des micro-organismes chargés de dégrader les huiles et les graisses. La solution aqueuse de nettoyage est légèrement alcaline pour permettre le dégraissage d'une vaste gamme de métaux (cuivre, fer, aluminium, zinc).

Les micro-organismes sont naturels, leurs conditions de vie sont optimisées et contrôlées en continu par un système informatique afin que les paramètres déterminants du milieu conservent une valeur optimale. Pour ne pas mettre les micro-organismes en danger, la température est maintenue entre 40 °C et 45 °C (bien qu'elle puisse descendre à 35 °C dans certains systèmes), tandis que le pH doit être maintenu à 9 environ. Le produit de nettoyage est régénéré et dosé automatiquement. Par comparaison avec des procédés conventionnels de dégraissage, la quantité d'eaux usées est bien plus modeste. Certaines substances sont nocives pour les micro-organismes, voire les tuent, notamment les produits chlorés, dont la dégradation n'est pas encore bien connue. Les principales applications de ce procédé sont les fontaines de dégraissage pour le nettoyage de maintenance à froid.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

995. Les méthodes globales de réduction des émissions dans ce secteur consistent [1]:

a) À réduire au minimum la quantité de graisses et d'huiles et à sélectionner des huiles et des graisses qui permettent l'utilisation des systèmes de dégraissage les moins polluants;

b) À améliorer le matériel:

i) Pour le nettoyage à froid, à utiliser systématiquement des capots et à diminuer la pression de pulvérisation;

ii) Pour le dégraissage à la vapeur, à utiliser systématiquement des machines étanches pour le dégraissage à la vapeur à l'aide de solvants chlorés, d'hydrocarbures ou d'autres solvants comme les HFE, les HCFC et les PFC;

iii) À élever ou à refroidir les dégagements (francs-bords) pour réduire les pertes de solvants organiques dans les bains de dégraissage;

c) À remplacer les agents de nettoyage à base de solvants:

i) À remplacer impérativement tous les solvants comme le trichloréthylène, qui sont classés parmi les produits cancérigènes, et à les réserver aux machines fonctionnant en toute sécurité et hermétiquement fermées;

ii) Pour le dégraissage à la vapeur, à utiliser un agent à base d'eau (en appliquant également la MTD définie pour ces procédés [1]);

iii) Pour le nettoyage à froid, à utiliser des agents biologiques, des acides gras et des esters naturels ou de synthèse [3];

d) À régénérer sur place ou dans un régénérateur extérieur les solvants organiques utilisés;

e) À adopter des procédés au plasma à basse température (utilisant encore un peu de solvant organique).

996. Le tableau 112 donne des exemples de mesures de réduction des émissions et leurs performances.

Tableau 112
Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondants dans le nettoyage de surfaces [2]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveaux d'émission de COV (moyenne annuelle des émissions totales)*
Nettoyage à la vapeur avec des solvants halogénés ou des hydrocarbures	Dégraissage à l'eau	0 g/kg de solvant mis en œuvre*
	Machines hermétiquement fermées	Moins de 0,1 % de solvant mis en œuvre*

* Somme de I1 (quantité de solvants organiques purs ou contenus dans les préparations du commerce qui est utilisée pour effectuer une opération au cours de la période prise en considération pour le calcul du bilan massique) et de I2 (quantité de solvants organiques purs ou contenus dans les préparations qui est récupérée et réutilisée pour effectuer une opération). (Le solvant recyclé est comptabilisé à chaque utilisation.)

4. Nouvelles techniques

a) CO_2 supercritique

997. Le principe de cette technique est que dans des conditions supercritiques (plus de 75 bars et de 35 °C) et intermédiaires entre l'état liquide et l'état gazeux, le CO_2 possède des propriétés de solvant qui présentent l'avantage de s'adapter aux variations de température et de pression. Ce solvant propre est facile à récupérer: il suffit de le faire passer à l'état gazeux à la fin du cycle. Quoi qu'il en soit, son pouvoir nettoyant est limité. Il donne de bons résultats sur les produits apolaires mais est moins efficace sur les produits polaires. Cette difficulté peut être surmontée par l'ajout, en proportions modestes, d'un autre solvant, ou par l'utilisation d'ultrasons.

b) Dégraissage au plasma

998. Cette technique, déjà été utilisée dans certains secteurs industriels, s'applique à une grande variété de substrats et donne parfois des résultats supérieurs à ceux obtenus avec les systèmes antérieurs à base de solvants. Cet effet s'observe surtout sur les substrats qui ont subi un traitement ultérieur, comme la peinture à l'eau de certains plastiques. On peut donc obtenir une double réduction des émissions dans certains cas. Le dégraissage au plasma se fait à des températures de moins de 100 °C et à une pression comprise entre 0,1 et $2{,}10^{-3}$ hPa. La chambre à vide est remplie de gaz manufacturé noble (argon, hélium), de fluor gazeux (tétrafluorométhane) ou d'oxygène. Un champ électrique ionise les particules de gaz. Le plus souvent, de l'oxygène est utilisé. Les radicaux engendrés par l'excitation réduisent les chaînes d'hydrocarbures et les oxydent de façon à ce qu'elles forment du dioxyde de carbone et de l'eau. C'est cette réaction chimique qui donne son pouvoir nettoyant à ce plasma. Les impuretés organiques peuvent être éliminées grâce à ce procédé, mais la technique du plasma n'est pas efficace sur les impuretés inorganiques comme les copeaux, les poussières minérales ou les sels.

5. Coûts des méthodes de réduction

999. Les coûts sont exposés dans le document sur le nettoyage de surfaces du Groupe d'experts des questions technico-économiques [2]. Ils s'échelonnent entre 0,4 et 56 €/kg de COV éliminé dans l'installation la plus petite et de -0,3 à 2,97 €/kg de COV dans la plus grande.

Références de la section HH du chapitre VII

[1] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Traitement de surface des matériaux et matières plastiques, Commission européenne, août 2006.

[2] EGTEI synopsis sheet: Surface cleaning, 2005, disponible à l'adresse http://www.citepa.org/forums/egtei/27-Synopsis-sheet-surface %20cleaning-30-09-05.pdf.

[3] Biosolvants: Enjeux et opportunités, 27 mai 2008, ADEME.

[4] AEA energy and environment, OKOPOL and BIPRO: Guidance on VOC substitution and reduction for activities covered by the VOC solvent emissions directive − Guidance 4/5, Surface cleaning, Commission européenne, 2008.

[5] A compilation of technical information on the new GHG gases and groups included in the Fourth Assessment Report (AR4) of the Intergovernmental Panel on Climate Change http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/items/4624.php.

II. Extraction d'huiles végétales et de graisses animales, et raffinage d'huiles végétales

1. Objet

1000. Les activités concernées sont l'extraction d'huiles végétales et de graisses animales, et le raffinage d'huiles végétales, dont la définition est la suivante [1]: Toute activité d'extraction d'huile végétale à partir de graines et d'autres matières végétales, le traitement de résidus secs destinés à la production d'aliments pour animaux, la purification de graisses et d'huiles végétales dérivées de graines, de matières végétales et/ou de matières animales.

1001. Toutefois, à cause de l'épidémie actuelle d'encéphalopathie spongiforme bovine, l'extraction par solvant de graisses de bovins et d'autres animaux pour produire des aliments pour animaux ne se pratique plus d'après le document de référence [4]. Par conséquent, la présente section concerne uniquement l'extraction d'huiles végétales.

2. Sources d'émissions

1002. La production d'huiles à partir de graines oléagineuses (soja, tournesol ou colza) se déroule en deux étapes:

a) La première étape est le nettoyage, la préparation (séchage) et parfois le décorticage, le dépelliculage, le conditionnement et le pressage des graines oléagineuses. Le pressage se fait en une ou deux étapes et donne une huile pressée brute et un tourteau oléagineux. Les graines qui contiennent 20 % d'huile ou moins ne sont pas pressées en raison de leur moindre teneur en huile, mais l'extraction a lieu directement après le nettoyage et la préparation;

b) La seconde étape est l'extraction au moyen d'hexane, un solvant, de l'huile contenue dans le tourteau ou dans les graines triturées. Cette extraction se fait dans un flux à contre-courant, dans un appareil de désolvantation-grillage, par application directe ou indirecte de vapeur.

1003. Le mélange d'hexane et d'huile, appelé miscella, est de nouveau traité par distillation, afin de séparer ces deux éléments. Le solvant est ensuite recyclé dans l'extraction. L'huile est raffinée pour devenir propre à la consommation.

1004. L'hexane résiduel dans le tourteau est récupéré par fractionnement à la vapeur. Ce procédé de suppression du solvant et de grillage réduit également l'activité des enzymes et des micro-organismes contenus dans la farine.

1005. Cette dernière est séchée et refroidie à l'air avant ensilage ou chargement. Le raffinage se compose de plusieurs opérations physiques ou chimiques. Le raffinage chimique classique consiste en une démucilagination qui élimine les phospholipides, en une neutralisation de l'huile afin d'éliminer les acides gras libres et en un blanchiment pour décolorer et désodoriser l'huile.

1006. L'extraction libère des composés organiques volatils sous forme d'émissions fugaces et d'émissions de cheminées. Le raffinage n'est pas la principale source d'émissions de COV, mais ces dernières se produisent au stade de la neutralisation et de la désodorisation. Des poussières sont émises au moment du séchage des farines dont on a retiré les solvants et que l'on a grillées. L'humidité en excès s'évapore dans l'air ambiant réchauffé, puis refroidi. L'air évacué contient des poussières [3].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

1007. Plusieurs mesures de réduction des émissions de COV peuvent être mises en œuvre au stade de l'extraction et du raffinage des huiles végétales.

1008. Les procédés discontinus et continus sont à distinguer pour ce qui est des émissions, les premiers intéressant davantage la réduction des émissions. L'adoption de l'unité de désolvantation-grillage-séchage-refroidissement de type Schumacher permet d'abaisser notablement les émissions de COV dans le secteur de l'extraction de graisses et d'huiles comestibles et non comestibles.

1009. Les méthodes suivantes, utilisées seules ou associées, permettent de réduire les émissions [2]:

a) Optimisation du procédé

1010. Les mesures possibles sont les suivantes: système actuel de désolvantation-grillage (DG) dans un flux à contre-courant, qui permet de réduire autant que possible les pertes de solvant et la consommation de vapeur, intégration de chaleur au flux de vapeur DG et distillation du miscella dans le procédé d'extraction, qui optimise la consommation d'énergie, lavage de l'huile minérale et utilisation d'un rebouilleur pour réduire le plus possible les pertes de solvant.

b) Mesures secondaires: condensation, séparation et distillation

1011. Les vapeurs d'hexane et celles émises par le système de désolvantation et de grillage, lors de la distillation du miscella (huiles brutes et hexane), par le rebouilleur et par la colonne d'extraction du système à huile minérale traversent toutes un condenseur. Les vapeurs condensées (condensat hexane-eau) sont ensuite introduites dans le séparateur hexane-eau, et l'hexane non dissous est séparé par décantation. L'hexane est ensuite réintroduit dans le procédé d'extraction. Tout solvant résiduel contenu dans la phase aqueuse du séparateur hexane-eau est distillé dans le rebouilleur. Les vapeurs dégagées sont condensées avec celles provenant de la distillation. Après ébullition, l'eau qui est alors presque pure est déversée dans le réseau d'eaux usées. Cette technique élimine également les risques d'explosion dans le système de traitement des eaux usées, en aval.

c) Mesures secondaires: absorption et désorption

1012. Les composants que le condenseur ne peut pas éliminer sont traités par un laveur à huile minérale qui absorbe l'hexane résiduel. Ce dispositif se compose d'une colonne d'absorption, dans laquelle une huile minérale froide, de qualité alimentaire, absorbe l'hexane. L'hexane est ensuite récupéré dans une colonne d'extraction à vapeur traversée par l'huile minérale chargée d'hexane. L'huile minérale est refroidie et réutilisée dans la colonne d'absorption.

1013. Les émissions finales du laveur à l'huile minérale sont constituées de gaz non condensables et de traces d'hexane.

1014. Les vapeurs d'hexane et les vapeurs produites par la colonne d'extraction sont condensées dans le condenseur. Le condensat hexane-eau est ensuite introduit dans le séparateur hexane-eau (voir plus haut). La totalité de l'hexane récupéré est réutilisé dans le procédé d'extraction.

1015. Pour des raisons de sécurité, les poussières sont extraites par des cyclones. Les filtres en tissu et les précipitateurs électrostatiques sont proscrits car ils augmentent le risque d'incendie.

1016. Les MTD dans ce secteur d'activité sont par conséquent les suivantes [3]:

a) Utilisation d'une unité de désolvantation-grillage à contre-courant (de type Schumacher, par exemple);

b) Utilisation de la vapeur générée dans le système de désolvantation-grillage dans la première séquence du préévaporateur de distillation du miscella;

c) Utilisation de pompes à vide à anneau d'eau pour générer le vide auxiliaire nécessaire au séchage de l'huile, à son dégazage ou pour réduire l'oxydation de l'huile;

d) Utilisation d'un laveur à huile minérale pour récupérer l'hexane présent dans les vapeurs non condensables provenant de l'unité de désolvantation-grillage de tourteau, de la distillation du miscella, du rebouilleur et de la colonne de fractionnement équipant le système à huile minérale;

e) Utilisation de cyclones pour réduire les émissions de poussière mouillée provenant de l'extraction de l'huile végétale, afin d'obtenir un niveau d'émission de poussière mouillée inférieur à 50 mg/Nm^3;

f) Contrôle plus précis des écarts par rapport aux conditions normales de fonctionnement et espacement le plus grand possible entre les phases d'arrêt et de mise en route [2] (ce paramètre dépend toutefois du volumes de graines à traiter dans l'année et il est bien plus difficile à respecter si ce nombre est élevé).

1017. Les niveaux d'émission réalisables sont définis dans le document de synthèse sur la biofiltration du Groupe d'experts des questions technico-économiques. Toutefois, selon la FEDIOL, ce procédé n'est pas envisageable en raison de la très faible solubilité de l'hexane dans l'eau. Le niveau d'émission atteignable donné dans le précédent document d'orientation III du Protocole de Göteborg a également été modifié en fonction des données définies dans le document de synthèse du Groupe d'experts des questions technico-économiques [2].

Tableau 113
Mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondants dans l'extraction d'huiles végétales

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD (moyenne annuelle des émissions totales)*
Extraction d'huile de graines oléagineuses, procédé continu pour le colza, le tournesol et le soja	Optimisation du procédé et unité de désolvantation-grillage-séchage-refroidissement à contre-courant, et condensation suivie d'absorption (laveur à l'huile minérale) et autres méthodes décrites plus haut	0,5 g/kg de graines traitées [2]
Extraction d'huile d'autres graines (carthame, moutarde, coton et autres graines végétales)		3 g/kg de graines traitées [3]
Extraction de graines par procédé discontinu		4,0 g/kg de graines traitées
Tous procédés de fractionnement sauf dégommage: Dégommage		1,5 g/kg de graines traitées 4,0 g/kg de graines traitées [3]

4. Coûts des méthodes de réduction

1018. Les coûts sont exposés dans les documents du Groupe d'experts des questions technico-économiques [2]. Les coûts d'atténuation sont négatifs car les investissements dans ce domaine réduisent la consommation d'hexane.

1019. *Avertissement*: ces documents sont susceptibles d'être modifiés en cas de mise à jour des données.

5. Nouvelles techniques

1020. Aucune donnée disponible.

Références de la section II du chapitre VII

[1] Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

[2] EGTEI background document/synopsis sheet: Fat edible and non-edible oil extraction, 2003/2005.

[3] Commission européenne, document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Industries agroalimentaires et laitières, août 2006.

[4] M. Geslin, Fédération nationale des corps gras, information au CITEPA, septembre 2008.

JJ. Finition de véhicules

1. Objet

1021. Ce secteur concerne le revêtement de véhicules routiers ou d'une partie de tels véhicules dans le cadre de travaux de réparation, de conservation ou de décoration du véhicule effectués en dehors des installations de construction telles qu'elles sont définies à l'annexe IX. La finition de véhicules englobe le revêtement et le nettoyage de surfaces.

2. Sources d'émissions

1022. Les principales sources d'émissions de COV dans ce secteur d'activité proviennent de l'application de peinture, des opérations de séchage, du nettoyage du matériel et des opérations de nettoyage effectuées avant la première application du revêtement et entre deux couches.

3. Techniques disponibles et concentrations en solvant réalisables

1023. Les émissions peuvent être abaissées au moyen de mesures primaires telles qu'une bonne organisation interne, l'emploi de peintures à faible teneur en solvants organiques (notamment peintures à l'eau), de pistolets de grande capacité et à basse pression et de dispositifs de nettoyage des pistolets. Les mesures secondaires ne s'appliquent généralement pas, pour des raisons d'économie et d'efficacité.

1024. La teneur maximale autorisée en COV en vertu de la directive 2004/42/CE sur les solvants organiques est définie par catégorie de produit dans le tableau 114 ci-dessous.

Tableau 114
Concentrations en solvants pouvant être obtenues pour chaque type de peinture

Sous-catégorie de produits[a]	*Revêtement*	*COV (g/l)*[b]
Préparation et nettoyage	Produit préparatoire	850
	Prénettoyant	200
Mastic pour carrosserie/produit de rebouchage	Tous types	250
Primaire	Surfaceur/bouche-pores et primaire divers (pour métaux)	540
	Peinture primaire réactive	780
Couche de finition	Tous types	420
Finitions spéciales	Tous types	840

[a] Les sous-catégories de produits sont définies à l'annexe XI.
[b] g/l de produit prêt à l'emploi. Sauf pour la sous-catégorie «préparation et nettoyage», la teneur en eau du produit prêt à l'emploi doit être déduite de cette valeur.

4. Coûts des méthodes de réduction

1025. Les coûts d'atténuation correspondant à la directive 2004/42/CE s'élèvent à environ 1 400 €/t de COV éliminés. Les coûts sont exposés dans la fiche de synthèse sur la finition de véhicules élaborée par le Groupe d'experts des questions technico-économiques [1].

1026. *Avertissement*: ce document est susceptible d'être modifié en cas de mise à jour des données.

5. Nouvelles techniques

1027. D'autres réductions semblent possibles.

Références de la section JJ du chapitre VII

[1] EGTEI synopsis sheet: Vehicle finishing, 2005.

[2] Directive 2004/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 avril 2004 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certains vernis et peintures et modifiant la directive 1999/13/CE.

KK. Imprégnation du bois

1. Objet

1028. Cette section porte sur l'imprégnation du bois par des agents de préservation à base de solvants organiques, par de la créosote ou par des agents de préservation à l'eau. Ces agents de préservation sont à usage industriel et domestique, mais seules les applications industrielles sont abordées dans la présente section.

2. Sources d'émissions

1029. Le bois est imprégné pour le protéger des champignons, des insectes et des intempéries. Différents types de produits sont utilisés à cette fin [1]:

a) Agents de préservation à base de solvants: Les agents de préservation traditionnels se composent d'environ 10 % d'ingrédient actif et de 90 % de solvants organiques, généralement du white spirit ou d'autres hydrocarbures à base de pétrole. Lorsqu'aucune mesure supplémentaire n'est prise, les émissions de COV de référence sont d'environ 19,8 kg/m^3 de bois traité, systèmes de pesticides concentrés: solutions à base de solvants dont la concentration en pesticides est plus élevée;

b) Agents de préservation à base d'eau: ces produits sont des solutions aqueuses de sels. Une réduction de plus de 99 % des COV a été observée par rapport à la situation de référence;

c) Créosote: huile obtenue par distillation de goudron de houille. Environ 10 % de la créosote utilisée dans la préservation du bois se compose de COV.

1030. Les émissions sont estimées soit en fonction de la quantité d'agents de préservation consommée, soit en fonction de la quantité de bois traité.

1031. L'agent de préservation peut être appliqué selon différents procédés: sous vide, sous pression, par trempage, par pulvérisation ou à la brosse. Le procédé sous vide peut varier légèrement en fonction du produit de préservation employé. L'efficacité du pesticide appliqué par trempage et à la brosse avoisine les 90 % tandis que le procédé sous vide, avec confinement total, offre un rendement proche de 100 %. La pulvérisation est nettement moins efficace, le rendement étant compris entre 5 % et 50 %.

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

1032. Selon le BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants [1], la MTD consiste à imprégner sous vide le bois avec des solvants à concentration élevée en pesticides ou à base d'eau, ou encore à traiter les effluents gazeux au charbon actif ou par condensation. Les systèmes à l'eau permettent une réduction de 99 % des émissions et ceux à base de solvants, ainsi que le traitement des effluents gazeux ont un rendement de 70 % (entre 15 % et 25 % du solvant reste dans le bois et s'évapore sur la durée de vie du produit).

1033. Une quantité importante de solvants est rejetée une fois le bois traité. La MTD consiste donc à utiliser des solvants moins ozonogènes.

1034. Les techniques et les niveaux d'émission correspondants, décrits dans le tableau ci-dessous, proviennent du document de synthèse élaboré par le Groupe d'experts des questions technico-économiques [2].

Tableau 115
Sources d'émissions, mesures d'atténuation du COV et niveaux d'émission correspondants à l'imprégnation de bois

Source d'émissions	*Combinaison de mesures*	*Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD [2] (moyenne annuelle des émissions totales)*
Toutes installations	100 % des agents de préservation à base de solvants Imprégnation sous vide et traitement des effluents gazeux au charbon actif ou par condensation* (l'adsorption sur cartouches avec récupération hors du site ou l'élimination peut aussi être envisagée)	~ 6 kg/m^3 de bois traité
	Optimisation du procédé 100 % des agents de préservation à base de solvants plus concentrés Imprégnation sous vide	11 kg/m^3 de bois traité
	100 % des agents de préservation à base d'eau Imprégnation sous vide	~ 0,2 kg/m^3 de bois traité

* Selon le BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants [1], les émissions sont traitées dans les grandes installations tandis que dans les installations plus petites, l'équipement de réduction n'est pas toujours viable.

4. Coûts des méthodes de réduction

1035. Les coûts et les méthodes sont définis dans les documents sur la préservation du bois élaborés par le Groupe d'experts des questions technico-économiques [2].

1036. Les coûts d'atténuation correspondant aux mesures primaires varient entre 300 et 700 €/t de COV éliminés et sont même négatifs dans certains cas. Avec des mesures secondaires, les coûts d'atténuation s'échelonnent entre 1 000 et 21 000 €/t de COV éliminée, en fonction des dimensions de l'installation et de la technique employée.

1037. *Avertissement*: ces documents sont susceptibles d'être modifiés en cas de mise à jour des données.

5. Nouvelles techniques

1038. Aucune donnée n'est disponible.

Références de la section KK du chapitre VII

[1] BREF sur les traitements de surface utilisant des solvants, août 2007.

[2] EGTEI background document/synopsis sheet: Wood preservation, 2004/2005.

LL. Teneur en solvants dans les produits (2): Solvants à usage domestique (autres que les peintures)

1. Objet

1039. Cette catégorie de sources englobe l'utilisation domestique des produits suivants: colles, produits d'entretien des voitures, agents de nettoyage, produits d'entretien du cuir et des meubles, pesticides, cosmétiques et produits pharmaceutiques.

2. Sources d'émissions

1040. Les émissions de COV sont dues aux solvants contenus dans ces produits. On considère que 100 % de ces solvants sont libérés dans l'atmosphère.

3. Techniques disponibles et concentrations en solvants réalisables

1041. Pour ce qui est de l'utilisation domestique de solvants organiques, les moyens antiémissions ne concernent que les produits à teneur faible ou nulle en solvants organiques (principalement à base d'eau) et les aérosols à propulseur non organique, ainsi que le volume des emballages.

1042. L'étude de la BIPRO qui vise à identifier les réductions d'émissions de COV provenant de l'utilisation de produits [1] définit une teneur maximale en COV à ne pas dépasser qui pourrait devenir obligatoire dans un certain nombre de produits. Trois types de produits sont étudiés: les propulseurs, les cosmétiques (hors aérosols) et les adhésifs utilisés à l'extérieur des installations (qui relèvent déjà de la directive 99/13/CE [2]). La teneur maximale autorisée en COV pour ces produits figure dans le tableau ci-dessous.

1043. Dans l'Union européenne, les produits à l'origine des émissions les plus importantes de COV sont les suivants [1]:

- Aérosols contenus dans les produits cosmétiques (propulseurs) = 180 000 t/an;
- Solvants contenus dans les produits de nettoyage = 110 000 t/an;
- Solvants contenus dans les adhésifs = 100 000 t/an.

Tableau 116
Teneur maximale autorisée en COV pour chaque type de produit à usage domestique

	Teneur maximale autorisée en COV [%]	*VLE de la réglementation californienne [1], [3]*
Propulseurs		
Laque pour cheveux	75	55
Déodorants	20	10
Déodorants antisudoraux	75	10 (COVM), 40 (COVH)
Agents de nettoyage	10	4
Produits cosmétiques (hors aérosols)		
Produits de soins pour la peau	20	
Shampoings, savons et produits pour le bain	3	
Produits de rasage	3	
Parfums	80	75
Désodorisants	20	10

	Teneur maximale autorisée en COV [%]	*VLE de la réglementation californienne [1], [3]*
Adhésifs utilisés dans le bâtiment et la construction		
Couverture	Sans solvants[a]	
Isolation	Sans solvants[a]	
Dalles de plafond	30	
Lambris de contreplaqué	Sans solvants[a]	
Revêtements de sols	8[a]	
Adhésifs utilisés dans le travail du bois et en menuiserie		
Bois	Sans solvants[a]	
Surfaces vernies	Pas de limite[b]	
Cuir, textiles, feutre	8[a]	
Caoutchouc, plastiques, PVC	70[b]	
Coussins et mousses	8[a]	
Adhésifs pour chaussures et cuir		
Tige de chaussure	10[a]	
Semelle extérieure (chaussure)	55	
Semelle intérieure (chaussure)	Pas de limite	
Adhésifs pour bricolage		
Bois	Sans solvants	
Papiers et cartons	Sans solvants	
Adhésifs multiusages et de contact	Pas de limite[b]	
Moulage et plastiques	70[b]	

[a] À l'exception d'applications spécifiques.

[b] L'utilisation de produits de substitution dépend du matériau et des conditions techniques.

4. Coûts

1044. Aucune donnée disponible.

5. Nouvelles techniques

1045. Aucune donnée disponible.

Références de la section LL du chapitre VII

[1] Étude sur l'identification des réductions d'émissions de COV dues aux restrictions relatives à la teneur en COV de certains produits.

[2] Directive 1999/13/CE du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dues à l'utilisation de solvants organiques dans certaines activités et installations.

[3] Regulation for reducing VOC emissions from consumer products, Title 17, California Code of Regulations, Division 3, Chapter I, Subchapter 8.5, Article 2, Consumer Products, Sections 94507-94517 (décembre 2007).

MM. Production de bière

1. Objet

1046. La présente section est consacrée aux brasseries d'une capacité de production de 300 t de produit fini par jour. Le maltage a été intégré à la production de bière, même si ces deux étapes de la fabrication ont lieu dans des endroits différents [1], [2].

2. Sources d'émissions

1047. Les céréales utilisées dans la production de bière et de certains alcools sont tout d'abord mises à germer. C'est ce que l'on appelle le maltage, une réaction qui transforme les amidons en sucres. Les graines ainsi germées sont ensuite torréfiées. La durée de l'opération dépend du type de céréale et des caractéristiques recherchées de la bière. Avant la fermentation, les céréales sont souvent bouillies dans de l'eau, afin de produire du moût, qui est ensuite filtré pour séparer les résidus solides.

1048. La fermentation a lieu dans de grandes cuves et dure d'une à trois semaines en général. En règle générale, ces cuves sont étanches, ce qui permet de recycler le dioxyde de carbone produit. Dans les petites installations, les cuves libèrent ces gaz dans l'atmosphère par le biais d'un barboteur [3].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

1049. Afin de réduire la consommation d'énergie, la MTD consiste à réutiliser l'eau chaude produite par le refroidissement du moût, à récupérer la chaleur produite par la cuisson du moût et par la condensation des vapeurs (ce qui réduit aussi les mauvaises odeurs) pour préchauffer le lot suivant ou l'eau de traitement. Le cas échéant, le CO_2 devrait être récupéré en nettoyant, comprimant, séchant et filtrant le gaz de fermentation de la bière [1], [2], [4].

a) *SO_2*

1050. Pour réduire les émissions de SO_2, il est recommandé d'utiliser des combustibles à faible teneur en soufre disponibles dans le commerce [5].

1051. Toutefois, ces émissions ne sont pas considérées très importantes dans le secteur de la brasserie et la question n'est donc pas développée; des informations sur les émissions liées à la production d'énergie figurent dans la section sur les chaudières industrielles.

b) *NO_x*

1052. Pour réduire les émissions de NO_x, il est recommandé d'utiliser des brûleurs dégageant peu de NO_x et d'entretenir régulièrement la chaudière [5].

1053. Toutefois, ces émissions ne sont pas considérées très importantes pour le secteur de la brasserie et la question n'est donc pas développée; des informations sur les émissions liées à la production d'énergie figurent dans la section sur les chaudières industrielles.

c) Poussières

1054. Le cas échéant, des cyclones, des filtres en tissu ou des précipitateurs électrostatiques devraient éliminer les particules de l'air évacué [3], [5].

1055. Toutefois, ces émissions ne sont pas considérées très importantes pour le secteur de la brasserie et la question n'est donc pas développée; des informations sur les émissions liées à la production d'énergie figurent dans la section sur les petites installations de combustion [6][9].

d) COV

1056. La production de bière est généralement responsable d'émissions odorantes. Les grandes brasseries engendrent des émissions considérables de COV. Des techniques adaptées visant à réduire les mauvaises odeurs et les COV devraient être employées et les effluents gazeux être réutilisés lorsque cela est possible. Les émissions de COV sont en partie combattues pour satisfaire aux prescriptions en matière de lutte contre les odeurs et peuvent être abaissées par un fonctionnement en cycle fermé, par exemple en recyclant le CO_2. Si l'air qui s'échappe de la brasserie est condensé et que l'on récupère les gaz de fermentation, il n'est pas nécessaire de prendre d'autres mesures d'atténuation comme la biofiltration. Sinon, la biofiltration est une mesure très utile, particulièrement dans le cas de faibles concentrations de COV dans l'air évacué et pour les émissions odorantes. Les biofiltres réduisent les odeurs et les émissions de COV en deux étapes: les polluants se déposent sur le filtre, où ils sont dégradés par les micro-organismes qui s'y trouvent. Ces procédés s'appliquent à une vaste gamme de flux d'air (jusqu'à une valeur supérieure à 100 000 m^3/h), mais la température de l'air ne doit pas dépasser 40 °C. En l'occurrence, les coûts d'investissement et d'exploitation de la biofiltration sont plus bas que ceux des techniques classiques d'atténuation (comme l'adsorption sur du charbon actif). Sinon, les composantes organiques responsables des odeurs peuvent être éliminées par condensation de la vapeur provenant des cuves d'ébullition et associées à des mesures de récupération d'énergie.

1057. Les émissions engendrées à certains stades de la production peuvent être réduites par condensation, adsorption sur charbon actif ou incinération. Quelques mesures de réduction applicables dans la production de bière et les facteurs d'émission correspondants figurent dans le tableau 117 [2].

Tableau 117
Niveaux d'émission de COV correspondant aux MTD dans la production de bière [2]

Source d'émissions	*Niveaux d'émission correspondant aux MTD[a] kg/m^3 de bière*	*Commentaires*
Fabrication de bière (capacité >1 000 m^3/an)	0,004	Condensation de l'air évacué et récupération du gaz de fermentation ou biofiltration des émissions provenant du maltage des céréales et récupération du CO_2 en cours de fermentation

[a] Les niveaux d'émission associés aux MTD sont basés sur une moyenne journalière, dans des conditions normales, et représentent une situation de charge classique. Pour les pointes de charge, les périodes de démarrage et d'arrêt, et pour les problèmes de fonctionnement des systèmes d'épuration des fumées, des pics de valeurs sur de courtes périodes, qui pourraient être supérieures, sont à prendre en considération.

[9] Selon le guide EMEP/Corinair de 2006, «ces activités ne sont pas considérées comme à l'origine d'émissions importantes de $PM_{2,5}$» (décembre 2006).

e) Transfert de la pollution d'un milieu à un autre

1058. Pour toutes les techniques de réduction ou d'atténuation des émissions mentionnées, il convient d'examiner le transfert de la pollution d'un milieu à un autre et tous les effets sur l'environnement et les améliorations possibles dans ce domaine. Ainsi, des efforts individuels visant à prévenir, à réduire ou à empêcher la production de produits polluants peut entraîner une augmentation de la consommation d'énergie ou de la production de résidus du traitement des déchets ou des eaux usées.

4. Nouvelles technologies

1059. Aucune avancée technologique importante n'est attendue dans ce secteur.

5. Coûts des techniques de réduction des émissions

Tableau 118
Coût de la récupération et de la biofiltration du CO_2

Caractéristiques de l'installation de référence	*Options antipollution*	*Coûts d'investissement[a] [€]*	*Coûts d'exploitation [€/an]*	*Masse éliminée [Mg COV/an]*
Fabrication de bière (dont maltage)				
Grande brasserie; capacité de production: 150 000 m^3/an de bière; durée de fonctionnement: 4 000 h/an	Récupération du CO_2 libéré par la fermentation et biofiltration des émissions dues au maltage	250 000	32 000	9

[a] Variable en fonction du débit des effluents gazeux, de la concentration en COV des effluents et de la capacité de production. Sauf indication contraire, les coûts d'investissement indiqués correspondent à des investissements supplémentaires si l'adoption de la nouvelle technique se fait dans le cadre d'un changement autonome de technique.

[b] Variable en fonction du débit des effluents gazeux, de la concentration en COV dans les effluents et du taux de récupération de la chaleur.

Tableau 119
Coût des biofiltres [1]

Taille de l'installation (débit d'air)	*Investissement spécifique*	*Coût d'exploitation*
Petite (200-500 m^3/h)	De 45 à 50 €/m^3	0,225 à 0,3 €/1 000 m^3 (dont 0,15 à 0,225 €/1 000 m^3 de coût énergétique, avec un tarif de l'électricité de 0,15 €/kWh)
Grande	De 10 à 15 €/m^3	

Références de la section MM du chapitre VII

[1] Commission européenne, 2006, Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Industries agroalimentaires et laitières, disponible à l'adresse http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm.

[2] Projet de documents d'orientation sur les techniques de réduction et les instruments économiques concernant le Protocole relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique, 1999.

[3] Environmental Protection Agency Ireland, 2006, Draft BAT Guidance Note on Best Available Techniques for the Brewing, Malting and Distilling Sector (projet final).

[4] SFI 2007. Société financière internationale (Groupe Banque mondiale): Environmental, Health, and Security Guidelines for Breweries.

[5] The Brewers of Europe 2006: Guidance Note for establishing BAT in the brewing industry.

[6] EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook (Activities 040606-040608), décembre 2006.

NN. Production de dioxyde de titane

1. Objet

1060. Deux procédés permettent de produire du dioxyde de titane: le procédé au chlore et celui au sulfate. La présente section aborde les deux procédés. La production de dioxyde de titane dégage principalement du dioxyde de soufre et de la poussière. Les émissions de NO_x ne sont donc pas abordées dans cette partie [1].

2. Sources d'émissions

1061. Dans la production de dioxyde de titane (TiO_2), de la poudre de TiO_2 pur est obtenue par la dissolution du TiO_2 contenu dans le substrat minéral, pour former du $TiOSO_4$. Cette molécule est hydrolysée et précipitée pour éliminer les principales impuretés contenues dans l'espèce de titane, puis calcinée pour donner le produit pur.

1062. Dans le procédé au sulfate, de l'acide sulfurique digère du substrat contenant du TiO_2. Le substrat est soit de l'ilménite (minerai pauvre en TiO_2), soit des scories de synthèse (teneur plus élevée en TiO_2). L'ilménite est un produit naturel tandis que les scories proviennent de la métallurgie. La digestion peut se faire de façon discontinue ou continue, le premier procédé étant le plus fréquent. Dans l'Union européenne, la production se fait uniquement par procédé discontinu.

1063. La digestion de l'ilménite ou des scories nécessite de l'acide très concentré (80 % à 95 %). Durant le procédé discontinu, exothermique, la température passe de 180 °C à 210 °C. Les gaz de combustion provenant de la digestion contiennent de la poussière et du SO_2, qui doivent ensuite être traités.

1064. Le résidu solide issu de la digestion est ensuite dissous dans de l'eau, avec laquelle il forme une liqueur de sulfate de titanyle ($TiOSO_4$). Cette liqueur est hydrolysée avec de la vapeur d'eau, entraînant la précipitation du TiO_2 hydraté, qui est ensuite filtré et lessivé pour absorber les ions métalliques.

1065. Le dioxyde de titane hydreux est calciné dans un four rotatif pour en éliminer l'eau. Les traces d'acide sulfurique résiduel se dégagent sous forme de SO_2 et sont éliminées en règle générale par des catalyseurs. Le dioxyde de titane pur subit ensuite un traitement de finition dans lequel ses propriétés de surface sont modifiées par ajout de revêtements de surface, en fonction de l'application à laquelle est destiné le produit (peintures, plastiques ou encres). Le produit est ensuite micronisé en particules de 0,2 à 0,4 µm, la taille nécessaire pour en optimiser le pouvoir pigmentaire [1].

1066. Dans le procédé au chlore, l'oxyde de titane est extrait du minerai par chloruration. Du minerai de titane et de la coke sont déposés dans un réacteur à lit fluidisé et réagissent (réaction exothermique) à 1 000 °C avec du chlore gazeux, aboutissant à la formation de tétrachlorure de titane ($TiCl_4$). Les gaz de combustion issus de la chloruration contiennent des poussières et du SO_2 qui doivent être éliminés. Le SO_2 est principalement fonction de la teneur en soufre du coke.

1067. Le $TiCl_4$ est ensuite condensé et distillé, puis préchauffé et oxydé au contact d'oxygène préchauffé à une température comprise entre 900 °C et 2 000 °C, pour former du dioxyde de titane. Enfin, les produits sont refroidis et la poudre de TiO_2 ainsi obtenue subit des traitements de finition identiques à ceux du procédé au sulfate [1].

3. MTD et niveaux d'émission correspondants

a) SO_2

i) Procédé au sulfate

1068. Dans le procédé au sulfate, c'est principalement la digestion par l'acide sulfurique qui dégage des SO_2. Par conséquent, les gaz sortant des cuves de digestion doivent être épurés. La MTD pour réduire les émissions de SO_2 provenant de la digestion consiste donc à utiliser un épurateur par voie humide si le substrat est de l'ilménite ou un épurateur caustique s'il s'agit de scories.

1069. La calcination dégage aussi beaucoup de SO_2 car elle se fait dans un four rotatif alimenté au gaz ou au pétrole. Le niveau des émissions dépend de la teneur en soufre du combustible. Les effluents gazeux, qui contiennent également des traces de soufre provenant des produits, sont captés et dépoussiérés. La MTD pour réduire le dioxyde de soufre émis lors de la calcination consiste à capter le SO_2 et à le transférer vers une unité d'acide sulfurique. Il est alors oxydé et transformé en SO_3 par des catalyseurs (procédé au sulfacide). Le SO_3 est ensuite absorbé pour former de l'acide sulfurique, qui est recyclé dans le procédé.

1070. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de dioxyde de titane au sulfate [1].

Tableau 120
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD de réduction des émissions dans la production de dioxyde de titane au sulfate [1]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (kg/t TiO_2 pigment)*
Digestion	Épurateur à l'eau ou caustique	SO_2:1-6
Calcination	Récupération du SO_2 et transformation en H_2SO_4	

ii) Procédé au chlore

1071. Le procédé au chlore représente la principale source d'émissions de SO_2. Le niveau des émissions dépend de la teneur en soufre des cokes utilisés. Dans ce cas, la MTD consiste donc tout d'abord à utiliser du coke à faible teneur en soufre (mesure primaire), puis à utiliser un système efficace de nettoyage des effluents gazeux, au NaOH par exemple (mesures secondaires).

1072. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD dans la production de dioxyde de titane au chlore [1].

Tableau 121
Niveaux d'émission de SO_2 correspondant aux MTD de réduction des émissions dans la production de dioxyde de titane au chlore [1], [6]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (kg/t TiO_2 pigment)*[a]
Chloruration	Cokes à faible teneur en soufre Système d'épuration des effluents gazeux	SO_2:1,3 à 1,7

[a] La teneur en SO_2 dépend du substrat. Le coke de pétrole à faible teneur en soufre, qui était disponible lors de la rédaction du BREF, ne l'est plus [8].

b) Poussières

1073. Dans le procédé au sulfate, des poussières sont principalement dégagées au stade du prétraitement, de la calcination et de la finition.

1074. Dans le procédé au chlore, les principales sources d'émissions de poussières sont la manutention du substrat, les traitements et la finition.

1075. Le prétraitement et la finition sont identiques dans le procédé au sulfate et dans celui au chlore. Par conséquent, les MTD sont elles aussi identiques. En revanche, les niveaux d'émission correspondants ne sont pas les mêmes. Ils ont donc été présentés séparément dans les tableaux 121 et 122.

1076. La MTD de réduction de la poussière émise lors du prétraitement consiste à utiliser des filtres à manche lors des étapes de manutention, de séchage et de broyage des minerais.

1077. Au stade de la finition, la MTD consiste à utiliser des filtres à manches.

1078. Au stade de la calcination, la MTD consiste à filtrer les poussières à l'aide d'un précipitateur électrostatique. Ce dispositif réduit les émissions de poussières, mais évite aussi les échanges entre particules de poussières et catalyseurs durant l'oxydation du SO_2.

1079. La poussière éliminée aux différents stades peut être réintégrée au procédé.

1080. Le tableau suivant donne un aperçu des niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD dans la production de dioxyde de titane.

Tableau 122
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD de réduction des émissions de dioxyde de titane au sulfate [1], [5]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (mg/Nm^3)*
Prétraitement Calcination Finition (broyage, micronisation)	Filtres à manches Précipitateurs électrostatiques ou épurateur Cyclones/Filtres en tissu non tissé Filtres en tissu tissé	Poussières: 5 à 20 (0,004 à 0,45 kg/t TiO_2)

Tableau 123
Niveaux d'émission de poussières correspondant aux MTD de réduction des émissions de dioxyde de titane au chlore [1]

Source d'émissions	*Techniques*	*Niveau d'émission correspondant aux MTD (kg/t TiO_2)*
Prétraitement Finition (broyage, micronisation)	Filtres en tissu Filtres à manches avec soufflage par jet d'air inversé	Poussières: 0,1 à 0,2

4. Nouvelles techniques

1081. Aucune nouvelle technique ne permet de réduire les émissions de SO_2 ou de poussières dans la fabrication de dioxyde de titane [1].

5. Coûts des méthodes de réduction

1082. Les tableaux suivants donnent un aperçu du coût des techniques de réduction des SO_2 dans la production de dioxyde de titane.

Tableau 124
Coûts de traitement des émissions gazeuses dans les techniques de contrôle des émissions de SO_2 dans le procédé de digestion (procédé au sulfate) [1]

Digestion	*Scories*	*Ilménite*
SO_2 (kg/t)	1	0,2
Système d'épuration		
Capital +/- (30 %) (€/t)	85	75
Traitement (€/t)	10	5

Tableau 125
Coûts de traitement des émissions gazeuses dans les techniques de contrôle des émissions de SO_2 dans le procédé de calcination (procédé au sulfate)[a]

Calcination	*Catalyseur (charge standard)*	*Catalyseur (charge élevée)*	*Épurateur*
Charge de catalyseur (m^3/t par heure de débit en TiO_2)	30-50	70-90	
SO_2 (kg/t)	8	2	1
Poussières (kg/t)	0,4	0,004	0,001
Capital[b] +/- (30 %) (€/t)	70	140	170
Traitement (€/t)	5	10	9

[a] Définition de la charge de catalyseur: volume de catalyseur (m^3)/débit de TiO_2 (t/h).
[b] Définition des coûts d'investissement dans une nouvelle unité (€)/production annuelle (t).

Références de la section NN du chapitre VII

[1] Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Produits organiques fabriqués en grands volumes − Solides et autres, août 2007.

[2] IER, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Université de Stuttgart, 2004.

[3] Directive 92/112/CEE, JOCE, 31 décembre 1992.

[4] «Compilation of the answers-to-questions-and proposal of EGTEI secretariat.doc», Groupe d'experts des questions technico-économiques, février 2009.

[5] Commentaires de Bente Sleire, SFT, mars 2009.

[6] Commentaires de Birgit Brahner, UBA Allemagne, mars 2009.

[7] «EGTEI-State of progress.doc,» établi pour le Groupe de travail des stratégies et de l'examen, mars 2009.

[8] Commentaires de Greg McNulty, Huntsman Pigments, février 2009.

OO. Nouveaux moteurs fixes

1. Objet

1083. La présente section décrit les techniques de combustion des moteurs fixes fonctionnant avec des carburants liquides ou gazeux. Elle est surtout consacrée à la réduction des émissions d'oxyde d'azote (NO_x) dégagées par les nouveaux moteurs fixes à gaz à allumage commandé ou bicarburant (mode gaz) dont la puissance thermique nominale dépasse 1 MWth, ou par les moteurs diesel de plus de 5 MWth. Des informations sont également fournies sur les effets des carburants et la réduction des poussières (y compris le PM_{10}, le $PM_{2,5}$ et le noir de carbone), du monoxyde de carbone et des composés organiques volatils dégagés par les moteurs fixes (les définitions sont données aux chapitres I, V et VI).

2. Techniques de combustion

1084. Dans l'ensemble, les différents procédés de combustion dégagent des produits qui sont considérés comme les principaux polluants de l'atmosphère. Selon le type de carburant et la technique disponible, les émissions de NO_x, de SO_x et de particules varient considérablement selon les dispositifs (chaudières, turbines à gaz ou installations à moteurs fixes). La présente partie décrit les principaux types de moteurs fixes alimentés avec des carburants liquides ou gazeux.

1085. Définitions des moteurs. Les moteurs fixes peuvent être classés en fonction du carburant qu'ils utilisent (voir tableau 127):

a) Moteurs diesel (dont moteurs bicarburant diesel et gaz haute pression);

b) Moteurs à gaz à allumage commandé par bougie ou par un autre dispositif;

c) Moteurs bicarburant (à gaz à faible pression).

1086. De même, les moteurs fixes peuvent être divisés en moteurs à deux temps et moteurs à quatre temps:

a) Les moteurs à deux temps à allumage par compression et/ou à chambre de combustion ouverte sont des moteurs lents (<300 tpm) et peuvent être monocarburant ou bicarburant (au gaz à haute pression);

b) L'allumage des moteurs à quatre temps peut se faire par compression, veilleuse, étincelle ou selon le principe des corps chauds; les moteurs à quatre temps fonctionnent avec une chambre de combustion ouverte, une chambre de précombustion, lambda 1 ou utilisent un mélange pauvre de carburants. Leur vitesse est moyenne (300 < n < 1 200 tpm) à élevée (>1 200 tpm). Il s'agit notamment de moteurs à gaz à allumage commandé, de moteurs bicarburant à gaz à faible pression ou de moteurs diesel-gaz à haute pression, de moteurs diesel à carburant liquide ou de moteurs bicarburant;

1087. En outre, les moteurs fixes se distinguent aussi par leur vitesse:

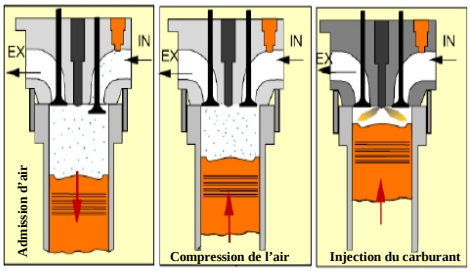
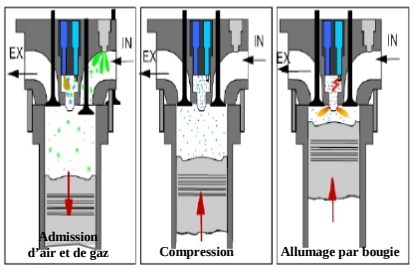
a) Les moteurs lents et semi-rapides sont souvent utilisés en base, dans des petites et moyennes centrales de production de chaleur et d'électricité, mais aussi pour la compression de gaz et le pompage de pétrole brut et dans des applications d'écrêtage de pointe du réseau. Ces moteurs sont alimentés avec un seul ou deux carburants;

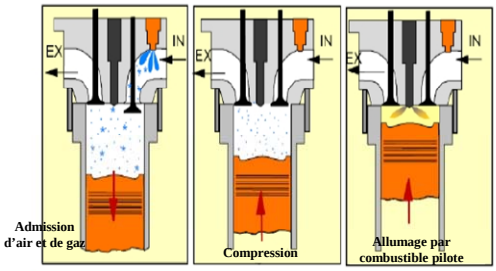
b) Les moteurs lents à deux temps (d'une puissance unitaire pouvant atteindre environ 90 MWe) sont alimentés au fioul léger, au fioul lourd, au fioul résiduel, au fioul émulsifié, à des résidus sous vide provenant des raffineries et au gaz naturel à haute pression;

c) Les moteurs semi-rapides à quatre temps (moteurs diesel d'une puissance allant jusqu'à 25 MWe environ): jusqu'à environ 17 MWe, ces moteurs bicarburant fonctionnent au gaz à basse pression et sont à allumage commandé; jusqu'à environ 10 MWe, ils fonctionnent au fioul léger ou au fioul lourd (moteurs diesel ou bicarburant), au fioul résiduel liquide ou émulsifié, aux résidus sous vide provenant des raffineries (moteurs diesel), au gaz naturel (diesel-gaz, bicarburant à allumage commandé), au biogaz, au gaz de mine ou au gaz de décharge (en fonction des types d'allumage et de diesel);

d) Les moteurs rapides sont principalement utilisés en charge maximale. Il s'agit en général de petits moteurs (puissance de 5 MWe maximum) qui sont alimentés au gaz naturel, au biogaz, au gaz de décharge, aux biocarburants liquides ou au fioul léger. Ces moteurs servent à la production d'électricité et à d'autres applications non routières.

Tableau 126
Principaux types de moteurs en fonction du carburant utilisé

Moteur	*Description*
 **Mode diesel**	Le fonctionnement des *moteurs à allumage par compression* reposent sur le principe du cycle diesel: l'air et le carburant sont injectés séparément (non mélangés) dans le cylindre: l'air est injecté et comprimé par un piston. À la fin du temps de compression, le carburant est injecté et s'allume au contact de l'air chaud. En mode gaz, un gaz à haute pression est employé.
 **Moteur à gaz, allumage commandé (*par bougie*)**	Le fonctionnement des *moteurs à gaz à mélange pauvre* repose sur le principe du cycle à explosion: le carburant et l'air brûlant sont prémélangés avant d'être injectés dans le cylindre. Ce type de moteur est un moteur à gaz «pur» dont le carburant est allumé par exemple par une bougie.



Moteur à gaz

Les moteurs bicarburant fonctionnent sur un cycle diesel lorsqu'ils sont alimentés avec un carburant liquide ou sur un cycle à explosion s'ils utilisent un carburant gazeux. En mode gaz, l'allumage se fait à la fin du temps de compression par l'injection d'une petite quantité de combustible liquide pilote. En mode gaz, du gaz à faible pression est employé.

Tableau 127
Principaux types de moteurs fixes à piston utilisés actuellement

Principe de fonctionnement	*Allumage et combustion*	*Classification habituelle en fonction du régime*	*Mode de fonctionnement*	*Carburant*	*Puissance électrique unitaire*
Deux temps	Compression et chambre ouverte	Moteur lent (<300 tpm)	Monocarburant Bicarburant (diesel-gaz) (gaz naturel haute pression)	Fioul léger (gazole), fioul lourd, fioul résiduel, fioul émulsifié, résidus sous vide provenant des raffineries, gaz naturel	Jusqu'à 90 MWe
Quatre temps	Allumage - Compression - Pilote - Étincelle - Corps chaud Combustion - Chambre ouverte - Chambre de précombustion - Lambda 1 - Mélange pauvre	Moteur semi-rapide (300-1 200 tpm)	Monocarburant Combustibles liquides, gaz (à allumage commandé) Bicarburant Gaz naturel à haute pression (gaz-diesel) Gaz naturel à basse pression (bicarburant) Moteur d'appoint: carburant liquide	Dépend du type de moteur (voir chap. II): Fioul léger (gazole), fioul lourd, fioul résiduel, fioul émulsifié, résidus sous vide provenant des raffineries, biocarburants liquides Gaz naturel, biogaz, gaz de décharge	Jusqu'à: - 25 MWe (diesel) - 17 MWe (bicarburant) - 10 MWe (à allumage commandé)
		Moteur rapide (>1 200 tpm)	Monocarburant Combustible liquide, gaz (à allumage commandé)	Gaz naturel, biogaz, gaz de décharge, biocarburants liquides, fioul léger (gazole),	Jusqu'à 5 MWe

a) MTD de contrôle des émissions de NO_x provenant des moteurs à gaz à mélange pauvre

1088. Pour les moteurs fixes alimentés au gaz, l'utilisation d'un mélange pauvre en vue de réduire les émissions de NO_x constitue une MTD. Cette démarche ressemble à celle des systèmes à combustion sèche à faible émission de NO_x utilisés dans les turbines à gaz. Cette mesure primaire ne nécessite pas d'agents réactifs supplémentaires ni d'apport d'eau pour réduire le niveau de NO_x. Pour les moteurs fixes à mélange pauvre alimentés au gaz naturel et à allumage commandé par bougie ou par un autre dispositif, des mesures primaires permettent d'atteindre un niveau de NO_x de 95 à 190 mg/Nm^3 à 15 % d'O_2 et de 190 à 380 mg/Nm^3 à 15 % d'O_2 pour les moteurs bicarburant à gaz à basse pression.

1089. Comme les moteurs à gaz peuvent être équipés d'un dispositif de réduction catalytique sélective (RCS), cet équipement est également considéré comme une MTD. Dans les moteurs au gaz naturel, les catalyseurs par oxydation sont considérés comme des MTD pour réduire les émissions de CO. Le gaz doit être épuré dans la plupart des cas[10] lorsqu'on utilise des catalyseurs à oxydation et RCS pour réduire la pollution, s'il s'agit de biogaz ou de gaz de décharge, qui contiennent parfois des poisons de catalyseurs[11]. L'optimisation de ces moteurs nécessite d'effectuer un arbitrage entre émissions de NO_x, rendement du moteur (consommation de carburant et donc émissions de CO_2) et autres émissions (comme le CO et des hydrocarbures). La mise en œuvre de mesures (secondaires) de réduction catalytique sélective a donné des émissions de NO_x de l'ordre de 5[12] à 19 mg NO_x/Nm^3 dans 15 % d'O_2.

b) MTD de contrôle des émissions de NO_x provenant des moteurs à carburant liquide (gazole)

1090. L'application de mesures primaires et secondaires, notamment l'utilisation d'un système de RCS, est considérée comme une MTD pour réduire les émissions de NO_x provenant d'installations à moteurs alimentés à un carburant liquide. Des limites s'appliquent toutefois pour les moteurs appelés à fonctionner avec des charges variables. La RCS est très répandue pour les moteurs diesel mais elle ne peut être considérée comme une MTD pour les moteurs présentant une variation fréquente de charge en raison de contraintes techniques (voir BREF sur les grandes installations de combustion, p. 406). Une unité RCS ne fonctionnerait pas de façon efficace si les conditions de fonctionnement et donc la température du catalyseur variaient fréquemment en dehors de la fourchette de températures effectives nécessaires. Les niveaux d'émission de NO_x obtenus pour des moteurs diesel avec application de mesures primaires étaient compris entre 1 460 et 2 000 mg de NO_x/Nm^3 selon le type de carburant et de moteur. Pour les nouveaux moteurs, d'après les nouvelles directives de la SFI-Banque mondiale et selon la taille de l'alésage du cylindre, la fourchette des émissions est de 1460 à 1850 mg de NO_x/Nm^3 à 15 % d'O_2.

1091. Pour les moteurs diesel, il est nécessaire de recourir à la RCS comme mesure secondaire pour atteindre des valeurs limites d'émissions de 190 ou de 225 mg de NO_x/Nm^3 à 15 % d'O_2 (équivalent aux 500 à 600 mg de NO_x/Nm^3 à 5 % d'O_2 du Protocole de Göteborg). Il convient de noter que pour les moteurs équipés d'un dispositif de RCS, les gaz d'échappement doivent atteindre une température minimale (qui est fonction de la teneur en soufre du carburant) afin de prévenir la formation de sels qui pourraient encrasser le catalyseur, mais il faut aussi veiller à ce que l'infrastructure d'alimentation soit en mesure de fournir de l'ammoniac ou de l'urée de qualité adaptée. Les niveaux d'émission de NO_x réalisables grâce à la RCS, constatés sur des moteurs diesel fixes en service, s'échelonnent entre 145 et 325 mg de NO_x/Nm^3 avec des carburants légers et du fioul lourd, respectivement [2]. Il convient de noter que la capacité de réduction des NO_x d'un système RCS dépend de la quantité de réactif utilisé (lui même dépendant de la vitesse d'écoulement des gaz d'échappement, de la concentration de NO_x à l'entrée et de la limite fixée pour les NO_x dans les gaz d'échappement). Le système de commande règle le niveau du réactif dans le système de RCS en s'appuyant sur le signal de couplage vers l'avant correspondant aux sollicitations du moteur (paramètres préprogrammés à la mise en service de l'installation en fonction des mesures de NO_x). Dans certains cas, un signal de retour (émis par un dispositif de mesure des NO_x) sert au réglage de précision du système, en plus

[10] Jusqu'à présent, l'expérience est limitée dans ce domaine.

[11] Cela risque de désactiver les catalyseurs. L'expérience de la réduction catalytique sélective sur le biogaz est encore limitée et les systèmes sont coûteux. Du matériel supplémentaire de purification du carburant est nécessaire pour éliminer des éléments nuisibles comme le NH_3 et le H_2S.

[12] Selon les industriels du secteur, cette valeur de NO_x peut être atteinte dans des conditions idéales au moyen d'un nouveau catalyseur, mais elle ne le sera pas dans des conditions normales de fonctionnement.

du signal de couplage vers l'avant. Les niveaux de NO_x fixés dans différent pays sont variables, comme le montrent les exemples suivants:

a) La Belgique et les Pays-Bas viennent de fixer des valeurs comprises entre 130 et 150 mg/Nm^3 (15 % d'O_2) pour les nouveaux moteurs diesel;

b) Selon les recommandations allemandes TA-LUFT 2002, la limite d'émissions de NO_x est de 190 mg/Nm^3 (à 15 % d'O_2) tandis que la limite fixée en France est plus proche des anciennes recommandations allemandes (TA-LUFT 1986) et s'établit à environ 750 mg/Nm^3 (à 15 % d'O_2).

1092. Les moteurs bicarburant ne relèvent pas du Protocole. Un moteur bicarburant de secours en mode diesel émet davantage de NO_x qu'un moteur diesel moderne; en raison de son taux de compression plus bas, un moteur bicarburant est optimisé pour fonctionner au gaz naturel.

1093. Les émissions de NO_x dépendent de la vitesse du moteur. Les moteurs lents, économes en carburant et présentant un alésage du cylindre de grande taille, ont tendance à émettre davantage de NO_x que les moteurs plus petits et plus rapides. Plus la vitesse du moteur est basse, plus les concentrations en NO_x sont élevées dans la chambre de combustion en raison du temps de séjour prolongé du carburant qui facilite la formation de NO_x.

3. Options pour la réduction des émissions provenant des moteurs fixes

a) Émissions atmosphériques de moteurs (diesel) alimentés à un combustible liquide

1094. Les principaux polluants émis par les gaz d'échappement d'un moteur diesel classique brûlant du fioul lourd (moteur à allumage par compression) sont les oxydes d'azote (NO_x), les particules (PM) et les oxydes de soufre (SO_x). Grâce au rendement élevé lié à la température élevée de combustion de ce type de moteur, les émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés sont faibles.

i) Émissions de poussières (y compris les PM_{10}, les $PM_{2,5}$ et le noir de carbone)

1095. La combustion de fioul lourd dégage des poussières principalement composées des cendres et du soufre (sous forme de sulfates) contenus dans le carburant et, dans une moindre mesure, de suie, de noir de carbone et d'hydrocarbures. La combustion de fioul léger dégage des poussières composées principalement de suie, de noir de carbone et d'hydrocarbures. Selon les estimations, les émissions de noir de carbone sont comprises entre 0,05 et 0,2 g/kg de carburant si le moteur est alimenté au fioul lourd et qu'il fonctionne de façon constante à forte charge[13]. Un équipement secondaire de filtrage des particules est actuellement en cours de développement pour les moteurs diesel de plus grande taille[14]. Les particules des fumées des moteurs diesel se forment dans des conditions de teneur en oxygène et de température très différentes de celles qui prévalent à la formation de poussières d'une chaudière. Leurs propriétés électriques (résistivité, etc.) diffèrent aussi de celles des fumées de chaudières et il faut donc tester correctement le précipitateur électrostatique avant sa mise sur le marché. L'application de certaines mesures aux moteurs, associées à l'utilisation d'un carburant à faible teneur en soufre et en cendres, sous réserve qu'il soit disponible dans le commerce, peut être considérée comme une MTD pour les poussières. Des concentrations de poussières (de 85 % à 100 % de la charge du moteur en microrésidus de carbone, méthode de mesure ISO 9096 ou similaire dans le principe) inférieures à 50 mg/Nm^3 à 15 % d'O_2 (en aval du moteur) peuvent être obtenues avec du fioul lourd dont la concentration en soufre est inférieure

[13] CIMAC (Conseil international des machines à combustion), Background information on black carbon from large marine and stationary diesel engines − definition, measurement methods, emission factors and abatement techniques, 2012.

[14] BREF sur les grandes installations de combustion, 2006, p. 356.

à 1,0 % m/m, une concentration en poussières inférieure à 0,03 % à 0,04 % m/m et une teneur en asphalthènes inférieure à 8 % m/m. Avec du fioul lourd de moindre qualité (teneur plus élevée en soufre, en cendres et en asphalthènes), on peut obtenir, en règle générale, des concentrations inférieures à 75 à 100 mg/Nm^3 à 15 % d'O_2, en fonction des propriétés du fioul lourd. (Remarque: les filtres à particules dont sont équipés les véhicules utilitaires lourds et les petits engins non routiers ne sont pas encore adaptés aux grands moteurs diesel fixes relevant du document d'orientation (puissance supérieure à 5 MWth). Des filtres à particules retiennent effectivement les particules et la suie dans de nombreuses voitures et camions alimentés à du gazole à très faible teneur en soufre. Le filtre doit être régulièrement régénéré, une opération qui nécessite de calciner la suie. Des catalyseurs à base de métaux précieux sont souvent employés pour effectuer cette régénération. Des catalyseurs à oxydation sont parfois utilisés sur des moteurs diesel à distillat à très faible teneur en soufre équipés d'un système de recyclage des gaz d'échappement, pour l'oxydation du CO, des hydrocarbures et de la suie. Les deux systèmes fonctionnent avec des catalyseurs à base de métaux précieux, car la qualité des combustibles utilisés normalement dans les centrales électriques pourrait les encrasser et les désactiver rapidement. Les filtres à particules ne sont donc pas encore adaptés aux moteurs semi-rapides et lents, conçus pour être alimentés au fioul lourd ou à d'autres combustibles résiduels. Les grands moteurs diesel pourraient aussi fonctionner avec d'autres carburants (comme du fioul léger).

ii) Émissions de SO_2

1096. Les émissions d'oxyde de soufre sont directement liées au carburant utilisé et à sa teneur en soufre. La mesure primaire consiste donc à utiliser un carburant à faible teneur en soufre ou du gaz naturel s'ils sont disponibles dans le commerce. Actuellement, rares sont les moteurs fixes au diesel à être équipés d'une installation $DESO_x$ (de désulfuration) et la plupart d'entre elles sont des installations petites ou moyennes dont on n'a qu'une expérience de fonctionnement limitée. Ici aussi, il convient de préciser que les fumées des moteurs diesel diffèrent de fumées de chaudière, dans la mesure, par exemple, où elles sont plus riches en oxygène, ce qui pourrait avoir un impact négatif sur les performances du $DESO_x$. Le coût d'investissement dans une installation $DESO_x$ varie considérablement en fonction du procédé choisi. Le coût d'exploitation dépend principalement de la quantité et du type de réactif employé, de la quantité d'eau utilisée, de la consommation d'électricité et des coûts d'entretien et d'élimination des déchets. Enfin, l'installation $DESO_x$ doit être correctement entretenue pour fonctionner de façon optimale.

iii) Émissions de NO_x

1097. En règle générale, la mise en œuvre de mesures primaires, comme l'utilisation d'un carburant de meilleure qualité pour réduire les émissions atmosphériques à la source, est privilégiée par rapport aux mesures secondaires (de fin de chaîne), qui sont également coûteuses. Ces dix dernières années, les émissions de NO_x provenant de moteurs alimentés à un carburant liquide ont considérablement diminué grâce à l'adoption de mesures primaires, c'est-à-dire de travaux approfondis de recherche et de développement sur de nouveaux moteurs ayant le même rendement élevé. Quoiqu'il en soit, les émissions de NO_x des moteurs diesel restent considérables si l'on n'applique pas de mesures secondaires et il convient de réfléchir à de nouvelles réductions. Parmi les mesures primaires applicables à des moteurs diesel alimentés à un carburant liquide, il convient de citer un moteur de base optimisé pour de faibles émissions de NO_x, des avances à l'injection retardée et l'ajout d'eau (injection d'eau directement dans la chambre de combustion, émulsion d'eau et de carburant ou humidification de l'air de combustion). Lorsque du gaz naturel est disponible, une solution (qui dépend du type de moteur) consiste à transformer le moteur diesel en moteur bicarburant à gaz à basse pression.

1098. La mesure secondaire qui s'applique aux moteurs diesel est la réduction catalytique sélective.

b) Émissions de NO_x provenant de moteurs (diesel) alimentés à un carburant liquide

1099. Les émissions de NO_x atteignables pour les nouveaux moteurs fixes lents et semi-rapides fonctionnant au fioul lourd et au fioul léger sont aujourd'hui inférieures à 2 000 mg/Nm^3 (à 15 % d'O_2) si l'on applique la mesure primaire d'atténuation par voie sèche, d'après le BREF sur les grandes installations de combustion et les nouvelles directives de 2008 de la Banque mondiale sur l'environnement, la santé et la sécurité (moteurs de deuxième génération). Aujourd'hui, le développement porte essentiellement sur des technologies primaires et secondaires d'épuration des gaz d'échappement, appropriées d'un point de vue économique et technique. En général, les méthodes primaires de réduction des émissions atmosphériques à la source sont préférables à celles qui consistent à tenter d'éliminer ces émissions après qu'elles se sont formées dans les gaz d'échappement, car cette option est souvent coûteuse.

1100. Les mesures techniques de réduction des émissions de NO_x se divisent en mesures primaires et secondaires, à savoir:

1101. *Mesures primaires*: Pour les moteurs diesel alimentés par un carburant liquide, comme un moteur de base optimisé pour de faibles émissions de NO_x (par application du concept de Miller, une «méthode par voie sèche»), on peut envisager des avances à l'injection retardée, l'ajout d'eau (injection d'eau directement dans la chambre de combustion, émulsion d'eau et de carburant ou humidification de l'air de combustion, etc., en fonction de l'application et du constructeur du moteur). Les «méthodes par voie sèche» sont à privilégier dans les zones où l'accès à des ressources en eau est limité. Les aspects mécaniques, de charge thermique et les limites en matière de consommation de carburant sont autant de facteurs à prendre en compte avec les méthodes primaires de réduction du NO_x.

1102. Si l'on associe un concept de combustion dégageant peu de NO_x au concept de Miller, on obtient, sur des moteurs modernes, des émissions de NO_x jusqu'à 40 % inférieures à celles constatées sur le même type de moteur datant des années 1990, tandis que le moteur conserve un rendement élevé. Les travaux de développement se poursuivent, mais ils achoppent sur la conception du turbocompresseur. En effet, les taux de compression doivent être augmentés pour améliorer le «concept de Miller», sinon, la consommation de carburant augmente et la puissance délivrée par le moteur risque de diminuer. Une nouvelle génération de turbocompresseurs est donc nécessaire si l'on veut diminuer les émissions de NO_x.

1103. *Mesures secondaires*: la seule mesure secondaire qui puisse s'appliquer aux moteurs diesel est le traitement des gaz d'échappement par la réduction catalytique sélective (RCS). La RCS est une solution efficace sous réserve que les problèmes suivants, liés à l'installation et au bon fonctionnement, soient pris en compte[15]:

a) Il faut pouvoir maintenir une température minimale des gaz d'échappement, en fonction de la teneur en soufre du carburant;

b) Certains métaux à l'état de trace (Na, K, Ca, Mg, As, Se ou P, par exemple) risquent de nuire aux réactions avec le catalyseur;

c) Si du fioul lourd ou d'autres combustibles résiduels sont utilisés, il convient d'installer un système de soufflage des suies dans le réacteur RCS afin de garder les éléments propres et d'éviter l'accroissement des contre-pressions;

d) Le système doit être régulièrement entretenu et inspecté, de façon à garantir une faible présence résiduelle d'ammoniac qui risque d'endommager les éléments situés en aval du réacteur RCS;

[15] BREF sur les grandes installations de combustion, 2006, p. 360.

e) Les éléments usés doivent être éliminés;

f) L'approvisionnement en réactifs (ammoniac pur, ammoniaque ou urée) doit être assuré (lorsque l'infrastructure le permet);

g) Les coûts d'installation, de fonctionnement et d'entretien doivent être couverts.

1104. Le tableau 128 donne les fourchettes d'émissions de NO_x correspondant aux mesures primaires et secondaires (les mesures sont tirées d'un certain nombre de documents de référence dans le monde, à noter que l'humidité relative ambiante a un impact important sur les émissions de NO_x d'un moteur diesel). Comme cela est indiqué plus haut, les émissions de NO_x atteignables pour de nouveaux moteurs diesel sont désormais inférieures à 2 000 mg/Nm³ lorsque des mesures primaires sont mises en œuvre (directives de la Banque mondiale: 1 460 à 1 850 mg/Nm³ à 15 % d'O_2), en fonction de la taille de l'alésage du cylindre.

Tableau 128
Exemples d'émissions de NO_x obtenues grâce à des mesures d'atténuation sur des moteurs diesel[16]

Type de moteur	*Émissions de NO_x (fioul lourd) mg/Nm^3 (voie sèche), 15 % d'O_2*	*Remarques*
Moteur de base optimisé dégageant peu de NO_x (mesure primaire)	2 163 à 2 178	Moteur standard en production jusqu'à 2 000 (installation dans les Caraïbes)
Moteur de base optimisé dégageant peu de NO_x (mesure primaire, deuxième génération)	1 739 à 1 881	Moteur standard en production actuellement (installation en Amérique centrale)
Moteur à retard d'injection	En général jusqu'à 10 % à 20 % de réduction (en fonction du type de moteur)	L'augmentation de la consommation de combustible dépend de l'amplitude du retard de l'injection, en général, elle peut aller jusqu'à 3 %
Moteur lent + ajout d'eau	1 540	Utilisé principalement sur les navires, la consommation de combustible augmente (installation dans les Caraïbes)
Moteur et unité RCS (mesure secondaire)	150 325	Fioul à 0,45 % m/m de soufre

i) Impact de la qualité du carburant sur le fonctionnement d'un moteur diesel

1105. La qualité du carburant est essentielle au bon fonctionnement des moteurs diesel et elle joue un rôle crucial en matière d'émissions. La teneur en soufre des combustibles liquides (dont le fioul lourd, le gazole, etc.) fluctue en général entre 0,1 ou moins, et 4 % m/m de soufre, dans la région de la Commission économique pour l'Europe des Nations Unies. Les moteurs semi-rapides (jusqu'à environ 25 MWe) et lents (jusqu'à environ 90 MWe de puissance unitaire) consomment généralement des carburants plus économiques comme des fiouls lourds, des émulsions, des résidus sous vide provenant des raffineries. Les petits moteurs rapides (jusqu'à environ 5 MWe de puissance unitaire) fonctionnent avec des distillats (gazole à faible et à très faible teneur en soufre). Certains types de moteurs diesel peuvent aussi utiliser du gaz naturel et des biocarburants.

[16] BREF sur les grandes installations de combustion, 2006, p. 379.

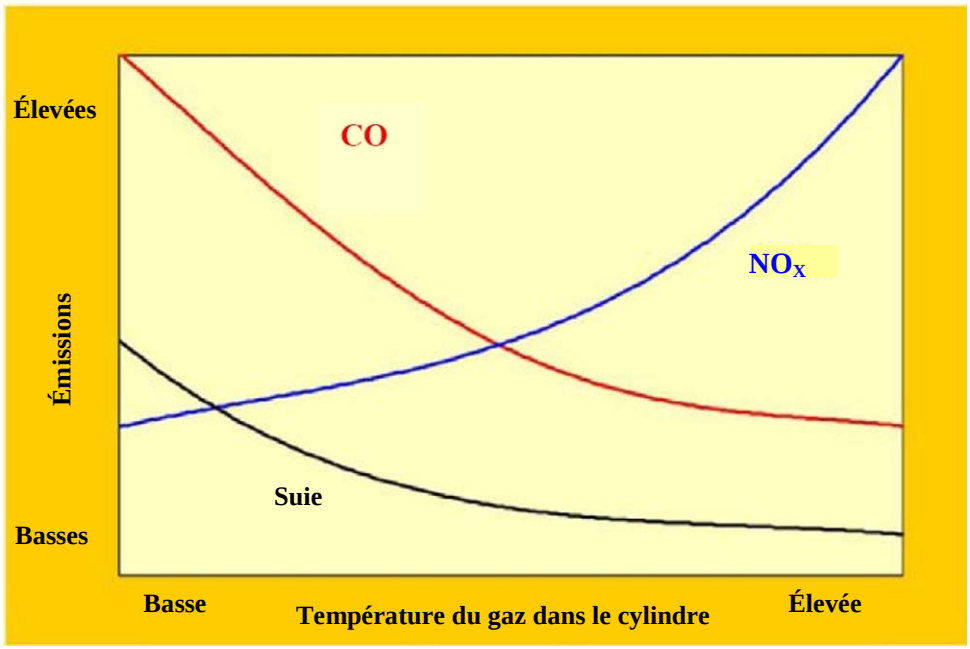
1106. La qualité du carburant a aussi un impact sur les mesures primaires antipollution envisageables. Dans les petits moteurs rapides, on peut ainsi envisager le recyclage des gaz d'échappement ainsi que l'injection à haute pression et à commande électronique, et réduire ainsi les émissions de NO_x par rapport aux moteurs plus grands. Le «concept de Miller» (retardement de l'injection, ce qui réduit la température dans les cylindres et diminue la formation de NO_x) et un équipement perfectionné d'injection de carburant sont adaptés aux moteurs modernes, de plus grande taille.

ii) Réduction des émissions de CO et d'hydrocarbures émis par des moteurs (diesel) alimentés avec des carburants liquides

1107. Pour minimiser les émissions dans l'atmosphère de gaz non entièrement brûlés, un bon entretien du moteur est considéré comme une MTD[17]. Un grand moteur diesel bien utilisé émet peu de CO et d'hydrocarbures. Le CO peut être réduit par des mesures primaires visant une combustion complète. Le paramètre le plus important qui détermine le taux de formation de NO_x dans un moteur diesel est la température de combustion: plus elle est élevée, plus la teneur en NO_x des gaz d'échappement est élevée. Il existe un équilibre optimal à trouver entre les émissions: un taux plus faible de NO_x entraîne une présence plus importante de particules non brûlées (voir fig. 2) et vice versa.

1108. La réduction des émissions de NO_x par des mesures primaires risque donc de favoriser d'autres émissions comme celles de CO, de CO_2 et de particules, comme le montre la figure 2. Des catalyseurs d'oxydation peuvent être utilisés pour réduire les émissions provenant des moteurs au fioul léger, mais pas de ceux alimentés au fioul lourd.

Figure 2
Tendances typiques des émissions provenant d'un moteur diesel en fonction du rendement (température du cylindre)



[17] Selon le BREF sur les grandes installations de combustion.

c) Contrôle des émissions de NO_x provenant des moteurs à gaz à allumage commandé et bicarburant (mode gaz)

1109. Les moteurs à gaz à quatre temps à allumage commandé et à mélange pauvre sont des moteurs à gaz «purs»: ils utilisent du gaz naturel à faible pression ou (en fonction du type de moteur) des biogaz comme du gaz de décharge, de fermentation ou de mine. Les moteurs bicarburant sont conçus pour fonctionner en mode gaz, avec pour principal carburant du gaz naturel à faible pression.

1110. Les mesures primaires appliquées aux moteurs au gaz naturel permettent d'obtenir les émissions suivantes de NO_x: moteurs à mélange pauvre et à allumage commandé, 95-190 mg/Nm^3 à 15 % d'O_2; moteurs bicarburant à gaz à faible pression, 190-380 mg/Nm^3 à 15 % d'O_2. Pour les autres gaz que le gaz naturel, on peut obtenir des niveaux compris entre 95 et 190 mg/Nm^3 avec des moteurs à allumage commandé et mélange pauvre, mais il convient de tenir compte de possibles fluctuations dans la composition du gaz et d'un effet de contamination lors de la définition des valeurs limites d'émission.

1111. Le paramètre le plus important qui détermine le taux de formation de NO_x dans un moteur diesel est la température de combustion: plus elle est élevée, plus la teneur en NO_x des gaz d'échappement est élevée. Pour abaisser cette température, une méthode consiste à réduire le rapport carburant-air, la quantité de chaleur dégagée par la combustion du carburant étant alors utilisée pour réchauffer une masse plus importante de gaz d'échappement, ce qui entraîne une diminution de la température maximale de combustion. La mesure primaire qui consiste à utiliser un mélange pauvre dans les moteurs fixes au gaz, ressemble à celle qui consiste à utiliser des chambres de combustion dégageant peu de NO_x dans les turbines à gaz. Les moteurs à gaz (à allumage commandé et bicarburant) émettent peu de NO_x grâce à l'utilisation d'un mélange pauvre.

1112. Étant donné qu'un moteur à mélange pauvre consomme moins de carburant (combustion améliorée) et dégage donc moins de NO_x pour une consommation donnée plus importante de carburant, la température du gaz de combustion diminue, ce qui fait diminuer aussi l'énergie thermique utile dans le gaz de combustion.

1113. Dans certaines applications spéciales, les moteurs fixes à gaz sont équipés d'un réacteur RCS pour réduire encore les NO_x[18]. La RCS est souvent appliquée pour améliorer la qualité de l'air local. Des objectifs stricts de réduction des NO_x sont également appliqués dans certains pays dont les bassins atmosphériques sont très pollués, de façon à respecter les obligations relevant d'accords internationaux ou de directives européennes. Le tableau 129 montre les niveaux d'émission de NO_x réalisables pour les moteurs à gaz, lorsque des mesures de réduction sont appliquées.

1114. Dans certaines applications spéciales, les moteurs fixes à gaz sont équipés d'un réacteur RCS pour réduire encore les NO_x. La RCS est souvent appliquée pour améliorer localement la qualité de l'air. Des objectifs stricts de réduction des NO_x sont également nécessaires dans certains pays dont les bassins atmosphériques sont très pollués, de façon à respecter les obligations relevant d'accords internationaux ou de directives européennes. Le tableau 129 montre les niveaux d'émission de NO_x réalisables pour les moteurs au gaz, lorsque des mesures de réduction sont appliquées. Ainsi, un pays a décidé d'appliquer des valeurs limites d'émissions plus strictes de NO_x, à savoir 35 mg/Nm^3 pour les moteurs fixes, avec obligation de mise en œuvre d'un système de réduction catalytique sélective, compte tenu de la nécessité de tenir compte de l'ensemble des mesures de réduction possibles dans différents secteurs dans le cadre du Protocole de Göteborg.

[18] En 2008, aux Pays-Bas, un millier de moteurs fixes au gaz étaient équipés d'un dispositif de réduction catalytique sélective (production combinée de chaleur et d'électricité ou fertilisation par le CO_2 dans les serres). Il convient toutefois de noter que les coûts d'investissement diffèrent de façon très importante entre une centrale électrique et une application de lutte contre les gaz à effet de serre.

Tableau 129
Émissions de NO_x atteignables avec les moteurs à gaz (en charge constante) selon le BREF sur les grandes installations de combustion[19]

Type de moteur	*Émissions de NO_x, mg/Nm^3 (sec, 15 % d'O_2)*	*Mesure*	*Remarques*
Moteur gaz à allumage commandé	161-190	Normale (mesure primaire)	- Consommation optimale de carburant - Émissions non brûlées réduites au maximum
	71-83	Réglage bas NO_x (mesure primaire)	- Augmentation de la consommation spécifique de carburant (jusqu'à 3 %) et émissions non brûlées
	5[a]-19	RCS (mesure secondaire)	Les facteurs impliqués dans la mise en œuvre de la RCS pour les moteurs à gaz sont principalement des situations où les normes locales de qualité de l'air exigent une forte réduction des émissions de NO_x ou d'ozone du fait d'un fonctionnement dans des zones fortement peuplées, d'une contribution de plusieurs secteurs ou de sources mobiles
Moteur bicarburant - Mode gaz	144-177		- Augmentation de la consommation spécifique de carburant et émissions non brûlées
Moteur bicarburant - Mode secours	1 531-1 751		Fioul léger (>0,05 % m/m S)
Gaz-diesel - Mode gaz	1 584-1 612		Principal carburant = gaz naturel, combustible pilote, fioul lourd

[a] Cette valeur de NO_x peut être atteinte dans des conditions idéales au moyen d'un nouveau catalyseur, mais elle ne le sera pas dans des conditions normales de fonctionnement.

i) Particules non brûlées émises par des moteurs à gaz à mélange pauvre

1115. Les émissions de COV provenant de moteurs à allumage commandé et bicarburant (mode gaz) dépendent de la composition du gaz naturel utilisé. Des méthodes secondaires de réduction du COV se révèlent parfois nécessaires et un catalyseur d'oxydation agissant à la fois sur le CO et les COV peut être mis en œuvre. L'efficacité du catalyseur d'oxydation sur les COV dépend beaucoup de la composition en hydrocarbures du gaz de combustion, les espèces éthane et propane en particulier étant difficiles à diminuer[20]. Pour un moteur à gaz équipé d'un catalyseur d'oxydation, la MTD[21] consiste à maintenir les valeurs d'émissions de CO en dessous de 100 mg/Nm^3 (15 % d'O_2).

1116. Compte tenu des informations fournies par les constructeurs de moteurs, des niveaux d'émission d'environ 100 mg/Nm^3 ne peuvent être obtenus qu'avec des moteurs à gaz naturel (équipés de catalyseurs d'oxydation), mais pas avec des moteurs utilisant des gaz renouvelables comme des gaz de décharge, du biogaz ou du gaz de fermentation. Pour ces derniers, le niveau de CO devrait être de 110 à 380 mg/Nm^3 (15 % d'O_2) pour correspondre à une MTD[22], pour des raisons techniques (impact de la composition du carburant).

[19] Tableaux 7.9 (p. 438) et 7.26 (p. 466).
[20] «Field Experience and Laboratory Analysis of Oxidation Catalyst on Dual Fuel Fuel Engines», Shazam Williams, Mojghan Naseri, Joe Aleixo et Kristoffer Sandelin, paru le 7 mai 2006.
[21] BREF sur les grandes installations de combustion, p. 480.
[22] Sous-titre 3 du tableau 7.36 dans le BREF sur les grandes installations de combustion.

ii) Augmentation des émissions de carbone et diminution des émissions de NO_x

1117. Optimiser un moteur consiste à trouver un compromis entre émissions de NO_x, rendement du moteur (consommation de carburant et donc, émissions de CO_2) et autres émissions (CO et hydrocarbures, notamment). Une réduction des émissions de NO_x par des mesures primaires augmente les émissions de CO_2 (consommation de carburant) et celles d'éléments non brûlés comme le CO et des hydrocarbures, et risque aussi à terme d'entraîner des ratés, voire de casser le moteur. Les impuretés contenues dans les biogaz risquent de se déposer sur les pièces internes du moteur et limitent donc le niveau de NO_x atteignable (voir la partie sur le type d'allumage commandé). Dans certaines situations particulières, par exemple dans des zones urbaines polluées, où la réduction catalytique sélective sert parfois à réduire les émissions de NO_x le rapport air-carburant peut être optimisé afin d'accroître le rendement du carburant et réduire ainsi les émissions de substances qui n'ont pas totalement brûlé. Les moteurs modernes fonctionnant au gaz sont peu sujets aux cliquetis. Par conséquent, il est difficile de faire fonctionner un moteur avec un mélange plus riche en carburant pour accroître son rendement (mais aussi la quantité de NO_x émis) et réduire les émissions de CO et d'hydrocarbures, étant donné qu'il faut tenir compte d'autres conditions limites, comme le cliquetis.

iii) Baisse du rendement et des émissions de NO_x

1118. Étant donné qu'un moteur à mélange pauvre consomme moins de carburant (combustion améliorée) et dégage donc moins de NO_x pour une consommation donnée plus importante de carburant, la température du gaz de combustion diminue, ce qui en réduit aussi l'énergie thermique utile (préjudiciable à la production de vapeur dans une centrale à production combinée de chaleur et d'électricité)[23].

4. Coûts des MTD

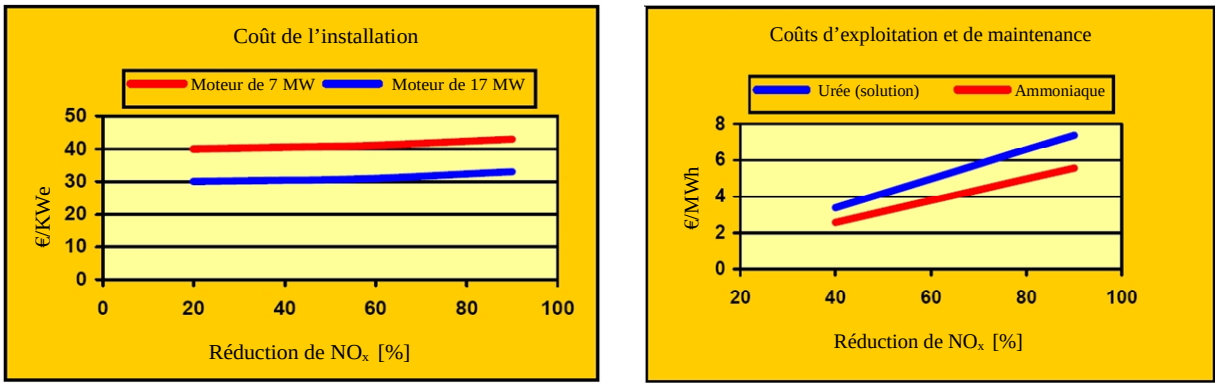
Coûts d'installation et de fonctionnement des systèmes de réduction catalytique sélective

1119. Les systèmes RCS sont onéreux à l'achat. Par ailleurs, selon la qualité du carburant utilisé, les catalyseurs doivent être remplacés périodiquement et ceux qui sont usagés correctement éliminés. En outre, la réduction catalytique sélective nécessite un support technique de bonne qualité, c'est-à-dire à la fois les pièces détachées et le savoir-faire nécessaire au bon fonctionnement et à l'entretien de l'installation. Les coûts habituels des systèmes RCS varient en fonction de la réduction des NO_x (voir la figure 3). À noter que les coûts et la disponibilité des réactifs varient d'un lieu à un autre.

[23] Compte tenu des dépôts qui se forment à l'intérieur de la chambre de combustion des moteurs alimentés au biogaz (gaz de décharge ou gaz de fermentation anaérobie), on ne peut pas obtenir de niveaux de NO_x bien inférieurs à 190 mg/Nm^3 à 15 % d'O_2 sur la durée de vie du moteur en raison d'une dérive des émissions provoquée par des effets d'isolation et des changements dans la géométrie de la chambre de combustion (voir annexe 7).

Figure 3

Coûts habituels de la réduction catalytique sélective en fonction du taux de réduction des NO_x dans les générateurs électriques à moteurs semi-rapides alimentés au fioul lourd hors manutention du réactif (solution à 40 % d'urée = 200 €/t, solution à 25 % d'ammoniaque = 225 €/t)



Références de la section OO du chapitre VII

[1] Protocole à la Convention de 1979 sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance, relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et de l'ozone troposphérique, disponible à l'adresse http://www.unece.org/env/lrtap/multi_h1.html.

[2] IPPC, Document de référence sur les meilleures techniques disponibles: Grandes installations de combustion, juillet 2006, disponible à l'adresse http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/pages/FActivities.htm.

[3] Directive 1999/32/CE du Conseil du 26 avril 1999 concernant une réduction de la teneur en soufre de certains combustibles liquides et modifiant la directive 93/12/CEE, disponible à l'adresse http://eur-lex.europa.eu/en/index.

[4] Position paper of the CIMAC WG5 Exhaust Gas Emissions Controls on «Prime Mover Technique Specific Emission Limits Need Stationary Reciprocating Engine Plant», disponible à l'adresse http://www.cimac.com/workinggroups/Index1-working-groups-exhaustemission.htm.

[5] Field Experience and Laboratory Analysis of Oxidation Catalyst on Dual Fuel Engines, disponible à l'adresse http://www.dclinc.com.

[6] Euromot Position Paper on the LCP BREF preparations, 2002, disponible à l'adresse http://www.euromot.org/download/news/positions/stationary_engines/EIPPCB_BREF_euromot_comment_may_02.pdf.

[7] CIMAC (Conseil international des machines à combustion), Background information on black carbon from large marine and stationary diesel engines − definition, measurement methods, emission factors and abatement techniques, janvier 2012.