

**Groupe spécial des États parties  
à la Convention sur l'interdiction de la mise  
au point, de la fabrication et du stockage  
des armes bactériologiques (biologiques)  
ou à toxines et sur leur destruction**

19 août 2013

Français  
Original: anglais

---

**Réunion de 2013**

Genève, 9-13 décembre 2013

**Réunion d'experts**

Genève, 12-16 août 2013

Point 6 de l'ordre du jour provisoire

**Point permanent de l'ordre du jour: examen  
des évolutions survenues dans le domaine  
de la science et de la technologie présentant  
un intérêt pour la Convention**

**Progrès de la science et de la technologie  
présentant un intérêt pour la Convention**

**Document d'information soumis par l'Unité d'appui à l'application**

*Résumé*

La septième Conférence d'examen a décidé que le programme intersessions de 2012 à 2015 inclurait, dans son ordre du jour, un point permanent consacré à l'examen des évolutions survenues dans le domaine de la science et de la technologie présentant un intérêt pour la Convention. Le présent document vient étoffer et actualiser le document d'information sur les innovations scientifiques et techniques présentant un intérêt pour la Convention établi pour la Réunion d'experts de 2012 (BWC/MSP/2012/MX/INF.3), et actualiser l'aperçu des progrès marqués dans les technologies habilitantes, établi pour la Réunion d'experts de 2012 (BWC/MSP/2012/MX/INF.1). Des indications y sont également données sur les modalités mises en place par l'Unité d'appui à l'application pour mettre à la disposition des États parties autant d'informations que possible sur les innovations scientifiques et techniques pertinentes.

## I. Progrès scientifiques et techniques

### A. Introduction

1. La septième Conférence d'examen a décidé que, au titre du point permanent de l'ordre du jour consacré à l'examen des évolutions survenues dans le domaine de la science et de la technologie présentant un intérêt pour la Convention, les États parties aborderaient les thèmes suivants:

«a) Évolutions récentes de la science et de la technologie présentant un risque d'utilisation contraire aux dispositions de la Convention;

b) Évolutions récentes de la science et de la technologie présentant un intérêt potentiel pour la Convention, y compris celles qui concernent plus particulièrement la surveillance, le dépistage et l'atténuation des maladies;

c) Mesures pouvant être prises pour renforcer la gestion nationale des éventuels risques biologiques de la recherche-développement mettant en jeu des évolutions de la science et des techniques intéressant la Convention;

d) Codes de conduite volontaires et autres mesures propres à encourager un comportement responsable chez les chercheurs, les universitaires et les professionnels du secteur industriel;

e) Éducation et sensibilisation aux risques et avantages liés aux sciences du vivant et aux biotechnologies;

f) Évolutions se rapportant à la science et à la technologie intéressant les activités des organisations multilatérales telles que l'OMS, l'OIE, la FAO, le secrétariat de la CIPV et l'OIAC;

g) Toute autre évolution de la science et de la technologie présentant un intérêt pour la Convention.»<sup>1</sup>.

2. La septième Conférence d'examen a également décidé que les thèmes scientifiques ci-après seraient examinés au cours de l'année indiquée:

«a) Progrès marqués dans les technologies habilitantes, y compris les systèmes à haut débit de séquençage, de synthèse et d'analyse de l'ADN, la bio-informatique et les outils de calcul, et la biologie systémique (examen prévu en 2012);

b) Progrès marqués dans les technologies de surveillance, de dépistage, de diagnostic et d'atténuation des maladies infectieuses, et phénomènes similaires provoqués par des toxines chez les êtres humains, les animaux et les plantes (examen prévu en 2013);

c) Progrès marqués dans la compréhension du pouvoir pathogène, de la virulence, de la toxicologie, de l'immunologie et des questions connexes (examen prévu en 2014);

d) Progrès des technologies de production et de libération d'agents biologiques et de toxines et des vecteurs de ces substances (examen prévu en 2015).»<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> BWC/CONF.VII/7, chap. III, par. 22.

<sup>2</sup> BWC/CONF.VII/7, chap. III, par. 23.

3. Dans le présent document d'information sont exposés:
- a) Les progrès se rapportant à la lutte contre les maladies, venant actualiser les éléments fournis en 2012 sur les progrès présentant un intérêt potentiel pour la Convention (BWC/MSP/2012/MX/INF.3);
  - b) Les progrès marqués dans les technologies habilitantes, venant actualiser les éléments fournis en 2012 (BWC/MSP/2012/MX/INF.1); et
  - c) Les mesures prises par l'Unité d'appui à l'application pour réunir les éléments se rapportant aux évolutions pertinentes en matière de science et de technologie et les mettre plus fréquemment, dans leur version actualisée, à la disposition des États parties.

## B. Tendances générales et progrès observés dans les sciences fondamentales du vivant

4. Le document de fond sur les progrès scientifiques et techniques récents établi pour la septième Conférence d'examen<sup>3</sup> recensait six tendances: la convergence de différentes disciplines; la compréhension plus aigüe des principes et mécanismes sous-tendant les sciences du vivant; la réorientation des axes prioritaires de la biotechnologie à vocation commerciale; une répartition géographique plus large des capacités dans le monde; l'ouverture de la science; et le rôle accru des médias, qui façonnent les perceptions des maladies et communiquent sur la science auprès du grand public. De nouvelles données sur ces tendances continuent d'être publiées, par exemple, pour ce qui a trait à la répartition géographique croissante des capacités<sup>4</sup>. L'information avait aussi été donnée plus tôt, en 2012, que les investissements dans les activités de recherche-développement dans certaines parties du continent asiatique avaient triplé au cours des quinze années précédentes, tout comme le nombre d'articles parus dans des revues spécialisées en science et en ingénierie<sup>5</sup>. Des données rendent compte également d'une augmentation spectaculaire du nombre de personnes de cette région du monde qui obtiennent un diplôme en sciences naturelles.

5. Une autre tendance que l'on peut relever est le recours croissant à la collaboration en matière de recherche. La biologie reposant de plus en plus sur des technologies de pointe, les scientifiques œuvrent en coopération plus étroite afin d'avoir accès à la multitude d'équipements haut de gamme qu'un laboratoire ne pourrait à lui seul se procurer<sup>6</sup>. Une telle collaboration en matière de biologie structurale, par exemple, prend la forme en Europe du réseau «Instruct», qui donne les moyens de partager de façon plus systématique les ressources.

6. Dans le document d'information établi pour la septième Conférence d'examen, un certain nombre de progrès en sciences de la vie étaient cités. Depuis lors, plusieurs progrès importants ont été enregistrés, notamment les suivants:

- a) La démonstration que les facteurs de transcription font preuve d'un plus grand spectre de liaison qu'on ne le soupçonnait jusqu'à présent et que, par conséquent, les gènes ne sont pas simplement «activés» ou «inhibés» comme sous l'effet d'un interrupteur;

<sup>3</sup> BWC/CONF.VII/INF.3 et additifs.

<sup>4</sup> Rezaie *et al.*, «Innovative drugs and vaccines in China, India and Brazil», *Nature Biotechnology*, vol. 30, n° 10, octobre 2012, voir: <http://www.nature.com/nbt/journal/v30/n10/full/nbt.2380.html> (en anglais).

<sup>5</sup> Reich, «Research in Asia heats up», *Nature*, vol. 481, 26 janvier 2012, voir: <http://www.nature.com/news/research-in-asia-heats-up-1.9885> (en anglais).

<sup>6</sup> Callaway, «Structural biologists share their toys», *Nature*, vol. 483, 1<sup>er</sup> mars 2012, voir: <http://www.nature.com/news/structural-biologists-share-their-toys-1.10122> (en anglais).

- b) L'importance fonctionnelle de l'ADN non codant, y compris son rôle dans la différenciation des primates;
- c) L'identification d'un spectre de structures cellulaires bien plus étendu qu'on ne le soupçonnait jusqu'à présent;
- d) Le recours à la cristallographie à rayons X pour révéler en détail le mécanisme par lequel l'ADN polymérase réplique l'ADN;
- e) Une meilleure compréhension de la façon dont les longues molécules d'ARN régulent les gènes;
- f) De nouveaux éléments attestant que certaines fonctions biologiques telles que la photosynthèse reposent sur les effets quantiques;
- g) Des outils et techniques qui permettent d'étudier l'impact de l'organisation spatiale des gènes selon une structure tridimensionnelle sur leur fonction et leurs effets, y compris les interactions entre chromosomes.

## **II. Progrès dans la lutte contre les maladies**

### **A. Mécanismes de la maladie**

7. Un vaste éventail de progrès ont été marqués en ce qui concerne l'approfondissement de la compréhension des mécanismes qui gouvernent la maladie, notamment dans les domaines suivants: identification de maladies nouvelles, émergentes ou réémergentes; fonctionnement sain du système immunitaire; interactions entre les agents pathogènes et leurs hôtes; mode de fonctionnement des maladies à prions; impact d'un microbiome sain; progrès en matière de recherche sur les agents pathogènes non cultivables; exploitation des données de santé existantes; et transfert horizontal de gènes.

### **B. Dépistage**

8. Un certain nombre de progrès vont aider à déceler la survenue d'un épisode de maladie, notamment par les moyens suivants: recours aux nanostructures d'ADN pour organiser des cascades enzymatiques plus élaborées qui pourraient permettre d'utiliser les dispositifs d'analyse pour les diagnostics médicaux et la surveillance de l'environnement; perfectionnement des systèmes intégrés de capteurs de façon à ce qu'ils détectent les bactéries nocives et indésirables; mise au point de procédés permettant de distinguer les agents biologiques pouvant être utilisés comme arme de ceux qui leur sont génétiquement proches.

9. Certains progrès enregistrés aident à suivre la trace des agents en cause, et contribuent à la surveillance des maladies et à l'épidémiologie, notamment:

- a) Un lien de causalité manifeste entre des moyens de surveillance fiables, tels que les capacités de diagnostic et ressources humaines nationales bien développées associées à une communication internationale efficace, et l'atténuation de l'impact des épisodes de maladie importants;
- b) De nouvelles voies pour le suivi des maladies quasiment en temps réel après démonstration de la corrélation entre l'activité sur Internet – tendances de la grippe sur Google, par exemple – et les critères cliniques de la maladie employés en milieu hospitalier;
- c) Le recours à de nouvelles techniques d'épidémiologie moléculaire dans les enquêtes menées lorsqu'une pandémie éclate;

d) De nouvelles approches épidémiologiques fondées sur la génomique, s'inspirant directement des technologies habilitantes examinées en 2012, pour enquêter sur les épisodes de maladie et gérer ces épisodes et pour assurer un suivi en temps réel de la maladie;

e) Les études de cas réels sur l'utilité de l'épidémiologie génomique dans les épisodes mettant en jeu *Escherichia coli* 0104, *Klebsiella pneumoniae* résistante aux antibiotiques, un nouveau coronavirus et *Staphylococcus aureus* résistant à la méthicilline;

f) Un examen approfondi de la cartographie mondiale des foyers de maladies et des propositions pour une amélioration rapide des capacités requises.

10. Des progrès ont été accomplis s'agissant des plates-formes qui peuvent détecter la maladie avant l'apparition de symptômes, notamment: les capteurs qui déclenchent un signal plus important lorsque la concentration de la molécule cible est plus basse; et l'identification de motifs d'expression de gène qui signalent une infection virale ou bactérienne.

### C. Diagnostic

11. Des progrès ont été marqués dans la fabrication d'équipements bon marché et portables pour le diagnostic des maladies, notamment l'adaptation des technologies laser existantes pour la mise au point de microscopes à balayage laser accessibles à bas coût aux fins de l'analyse de sang et de l'imagerie cellulaire.

12. Certains progrès enregistrés permettent de procéder plus facilement au diagnostic sur le site où les soins sont prodigués, notamment: la différenciation des infections virales des infections bactériennes, qui permet d'administrer un traitement bien ciblé; le perfectionnement des technologies liées aux polymères, utilisées pour créer des trousse de diagnostic; les trousse de diagnostic spécifiques pour chaque maladie, y compris pour la grippe à H5N1; et les progrès sur la voie de technologies de type «laboratoire sur puce» fonctionnelles.

13. Certains progrès enregistrés vont contribuer à accélérer le diagnostic, notamment: le recours accru au séquençage pour l'identification des agents pathogènes bactériens; les nouvelles méthodologies permettant d'exploiter les technologies habilitantes actuelles, y compris celles examinées en 2012, aux fins de la détection et de la quantification des agents pathogènes viraux; la mise au point de puces de détection liées aux nanotechnologies capables de séparer et de concentrer les protéines cibles à partir d'échantillons biologiques complexes; le recours aux approches de la métagénomique pour identifier les agents pathogènes sans passer par leur mise en culture; le recours au diagnostic moléculaire pour identifier les facteurs susceptibles d'influer sur l'efficacité des médicaments; les initiatives de compilation de bases de données à codes à barres de maladies virales permettant de déceler les nouvelles mutations; la mise au point d'outils logiciels pour identifier les agents pathogènes à partir de données de séquences, notamment pour aider à détecter les agents pathogènes présents dans l'alimentation.

14. Certains des progrès enregistrés ont permis de gagner en précision dans le diagnostic, notamment grâce au séquençage du génome complet.

### D. Prévention et prophylaxie

15. On a progressé dans l'élaboration de nouveaux vaccins, notamment dans la mise au point de vaccins conjugués perfectionnés et la création d'un tout nouveau vaccin de synthèse pour la fièvre aphteuse. Une série de progrès ont été marqués dans l'élaboration de

vaccins contre l'intoxination, s'agissant en particulier de la ricine, notamment avec: la mise au point de stratégies de vaccination active et d'immunisation passive; l'identification de bons candidats pour les anticorps monoclonaux humanisés pouvant être utilisés à des fins aussi bien prophylactiques que thérapeutiques; de nouveaux vaccins sous-unitaires recombinants.

16. Certains progrès enregistrés pourraient offrir de nouvelles approches pour prévenir la maladie, notamment: l'identification des processus bactériens qui perturbent les biofilms liés à la fois au pouvoir pathogène et à la résistance aux antimicrobiens; et la reconnaissance de l'importance que revêtent les composantes comportementale et sociale dans l'intérêt manifesté pour des interventions de soins de santé importantes mais souvent inexploitées.

17. Certains progrès devraient aussi faciliter la production de vaccins et de produits prophylactiques, notamment: les vaccins contre la grippe cultivés dans des cellules d'insectes; et les projets visant à mieux répartir les capacités de production.

18. On a progressé en ce qui concerne l'administration des vaccins et des produits prophylactiques, avec notamment: l'invention de nouveaux patchs recouverts de micro-aiguilles; les progrès dans l'utilisation des échafaudages d'ADN («origami ADN») pour créer des nanostructures synthétisées qui augmentent l'absorption des médicaments; les progrès sur la voie de la synthèse de protéines cages par auto-assemblage, qui pourraient servir à administrer des médicaments; le recours aux protéines de soie pour se libérer de l'impératif de réfrigération des médicaments; et la mise au point de nanoparticules pour les médicaments difficiles à administrer, également sous des formes adaptées à l'inhalation. Nombre de ces progrès sont aussi applicables pour l'administration des produits thérapeutiques.

## **E. Traitement**

19. Au nombre des progrès ayant trait aux nouveaux antibiotiques, on compte la compréhension plus fine de la signalisation transmembranaire bactérienne et de son rôle dans la capacité des populations bactériennes à survivre à des expositions aux antibiotiques. Les progrès marqués dans le domaine de la thérapie antivirale comprennent la démonstration d'une nouvelle résistance aux antiviraux existants mais la persistance de la sensibilité à un nouveau médicament candidat. Les progrès de la thérapeutique ayant trait aux toxines incluent: un candidat solide pour un anticorps monoclonal humanisé destiné à traiter la ricine; et une nouvelle antitoxine pour traiter la toxine botulinique. On a également progressé dans les thérapies contre les maladies à prions, avec l'identification de médicaments existants qui montrent une activité antiprion.

20. On progresse dans les nouvelles approches pour traiter la maladie, notamment avec: l'identification d'un composant chimique qui bloque les pompes d'efflux dont certaines bactéries usent pour se débarrasser des antibiotiques, ce qui permet de rendre de nouveau sensibles certaines bactéries résistantes; les traitements qui empêchent la réponse inflammatoire par l'organisme hôte face à certains agents pathogènes: le recours aux services de bactéries pour lutter contre les vecteurs associés à la maladie; le perfectionnement des modèles et approches pour le calcul visant à prédire les effets des médicaments et les interactions entre médicaments; une compréhension plus poussée de l'interaction entre les traitements et l'expression des gènes, qui influe sur l'efficacité des médicaments; et des progrès marquants en thérapie génique, notamment l'approbation par l'Union européenne de la commercialisation du premier médicament de thérapie génique au monde ou encore l'étude portant sur le recours à des lymphocytes T génétiquement modifiés pour attaquer les tumeurs.

21. Des progrès ont également été marqués dans la détection des médicaments contrefaits, avec notamment la fabrication d'un détecteur portable.

22. On a progressé dans la compréhension de la résistance aux médicaments, notamment avec: l'identification de trois sous-populations de parasites *Plasmodium falciparum* responsables du paludisme résistantes à l'artémisinine; la caractérisation de l'apparition, de l'évolution et de la propagation à l'échelle mondiale de la résistance à la méthicilline de *Staphylococcus aureus*; les pistes sur la façon dont la résistance à la vancomycine est apparue chez *Staphylococcus aureus*; le rôle des biofilms dans la promotion du transfert horizontal de la résistance aux antibiotiques; et les éléments indiquant que le fait de développer une résistance aux médicaments, y compris à certains qui sont encore au stade de la mise au point, pourrait également conférer une résistance à certains composants de l'immunité innée.

## F. Capacité de réaction

23. On a progressé dans l'action visant à limiter la propagation d'un épisode de maladie, notamment avec: la démonstration que l'éclatement des infrastructures de santé publique, ou leur absence, est le vecteur majeur des épidémies de maladie et qu'il y a inadéquation entre les vecteurs des épisodes de santé publique et les tendances actuelles des dépenses de santé publique et de la prévention des pandémies<sup>7</sup>; une compréhension plus aiguë de la transmission par voie aérienne de certaines maladies telles que la grippe, et des effets du port de masques chirurgicaux; et les enseignements sur l'efficacité de la quarantaine en tant que stratégie de lutte.

24. Des progrès ont été réalisés en matière de décontamination et de nettoyage après un épisode de maladie, notamment avec l'évaluation à l'échelle des laboratoires de l'assainissement des surfaces extérieures contaminées par des spores de *Bacillus anthracis*.

25. Les progrès susceptibles d'améliorer l'efficacité des mesures prises face aux épisodes de maladie sont notamment les suivants: études sur les stratégies de lutte employées par le passé, les stocks de médicaments et la mise au point d'un vaccin en période d'épidémie, y compris lorsqu'il s'agit de flambées de grippe à H5N1, H1N1 et H7N9; évaluation du rapport coût-efficacité de différents types d'interventions; application des procédés mathématiques mis au point pour les secteurs de la banque et des investissements afin d'aider à cerner qui doit être traité et avec quels produits; recherche visant à faciliter la hiérarchisation des risques et incertitudes liés à une attaque menée au moyen d'armes biologiques.

## III. Progrès marqués dans les technologies habilitantes

### A. Caractérisation des systèmes et réseaux biologiques

26. Des progrès ont été marqués en génomique, notamment les suivants: la normalisation des pratiques, telles que celle ayant trait à l'utilisation de données quantitatives de réaction de polymérisation en chaîne (PCR), dans les publications de travaux de recherche; l'élaboration de directives utiles; par exemple pour la conduite d'études d'association à l'échelle du génome entier; l'évolution technologique parallèle

<sup>7</sup> Tiffany L. Bogich *et al.*, «Preventing Pandemics Via International Development: A Systems Approach», *PLOS Medicine*, vol. 9 Iss., 12 décembre 2012, voir: <http://www.plosmedicine.org/article/info%3Adoi%2F10.1371%2Fjournal.pmed.1001354> (en anglais).

quant à l'amélioration de la précision dans la description des informations pertinentes et des contextes dans lesquels elles sont découvertes; le recensement d'autres facteurs influant sur la génomique, tels que l'importance de la topographie tridimensionnelle; le recours aux approches de la génomique pour identifier de nouvelles fonctions, par exemple celles ayant trait au pouvoir infectieux et à la pénétration des cellules pour les agents pathogènes.

27. Les progrès marqués en transcriptomique sont les suivants: l'application de nouvelles approches analytiques, telles que celle appliquée pour l'analyse différentielle, pour maîtriser les facteurs de complication lorsqu'il s'agit de faire la part entre les signaux et le bruit de fond; et l'application de réseaux «en nuage» (*cloud-based*) de neurones artificiels pour déceler des constantes dans les profils d'expression des gènes afin de diagnostiquer des maladies telles que le cancer.

28. Les progrès accomplis en matière de protéomique sont notamment les suivants: le lancement du Projet de protéome humain axé sur les chromosomes, qui, par exemple, a déjà permis d'obtenir une carte préliminaire du protéome du chromosome 8, et le détail des protéines du chromosome 4 liées à une maladie; la mise en place d'une feuille de route pour la mise au point de technologies clés permettant d'augmenter les capacités en matière de protéomique, ainsi que de nouvelles approches à haut débit associant la protéomique quantitative et la chromatographie d'exclusion selon la taille pour mesurer les interactions temporelles.

29. Les progrès de la métabolomique incluent l'amélioration des données de référence sur des lignées de souris modifiées par génie génétique, ce qui permet de mieux évaluer les caractéristiques et les troubles métaboliques complexes.

30. Des progrès ont été marqués en épigénétique, qui concerne l'ensemble des modifications de l'expression génique transmissibles d'une génération à l'autre sans altération des séquences nucléotidiques, avec notamment la mise au point de nouvelles stratégies expérimentales permettant d'explorer le fonctionnement dans un organisme sain et les liens avec la maladie.

## **B. Manipulation des systèmes et réseaux biologiques**

31. Les progrès dans la technologie de l'interférence par ARN (ARNi) comprennent: la compréhension plus fine de son fonctionnement; la réduction des effets non prévus; l'amélioration des techniques d'administration fondées sur les polymères; l'amélioration des procédés de dépistage au moyen des ARNsh (ARN en petite épingle à cheveux); le perfectionnement de la purification; le recours aux nanosphères pour améliorer la pénétration cellulaire; de nouvelles techniques de fabrication, permettant notamment de produire des bactéries; et des investissements considérables réalisés par des entreprises de biotechnologie agricole.

32. Des progrès ont été enregistrés en ce qui concerne la nucléase à doigts de zinc (ZFN), avec notamment des services douaniers offrant des produits mis au point spécialement pour cibler les lignées cellulaires humaines et murines et les animaux, ainsi que la création de lignées cellulaires spécifiquement destinées à l'industrie biopharmaceutique pour la mise au point de produits; et des données préliminaires prometteuses concernant le recours à la nucléase à doigts de zinc comme traitement des maladies infectieuses telles que le VIH/sida.

33. On a également identifié des nucléases effectrices de type activatrices de transcription (sigle anglais TALENS) qui atteignent des séquences spécifiques et les coupent. Les TALENS se lient à des nucléotides uniques, ce qui ouvre la voie à une utilisation partout sur le génome. Leur mise au point est moins coûteuse que les nucléases à doigts de zinc mais des difficultés subsistent pour ce qui est d'obtenir des niveaux élevés

d'expression. Les progrès récents ont consisté en: l'application de la technologie des TALENS pour la mise au point de traitements; la publication d'une méthode de construction à haut débit. Les applications recensées pour les TALENS comprennent: le perfectionnement de la caractérisation des organismes modèles; l'amélioration de plantes et d'espèces de bétail importantes; la modélisation de la maladie fondée sur la cellule; et les traitements.

34. Les bactéries utilisent les CRISPR (répétitions directes, courtes et régulièrement espacées par des séquences uniques) d'ARN pour guider l'extinction d'acides nucléiques envahissants. Elles se servent ensuite de l'endonucléase Cas-9 pour couper l'ADN ciblé. En août 2012, un article a mis en lumière le potentiel qu'offre le recours au système pour l'édition de génome programmable. Deux articles, l'un publié en janvier 2013 et l'autre en février 2013, ont dévoilé la façon de procéder. Ils ont tous deux démontré que cette approche de l'édition du génome était propre à la séquence, qu'elle pouvait être utilisée dans divers types de cellule, qu'elle était simple, résistante et multiplexable. D'autres travaux de recherche ont adapté le système pour qu'il soit utilisable dans les cellules humaines et murines, ont démontré que, en de rares occurrences, des altérations minimales pouvaient atteindre des sites non prévus, et ont utilisé le système pour faciliter la réparation ciblée. Un autre article publié ultérieurement a indiqué comment adapter le système pour une utilisation sur la levure et a fait état d'un taux de recombinaison proche de 100 %. Ce système, même si sa mise au point n'en est qu'aux balbutiements, est plus précis et moins onéreux que les nucléases à doigts de zinc et plus efficace que les TALENS.

35. Des progrès ont également été enregistrés dans d'autres outils d'édition du génome, notamment: la genèse d'adénovirus (AAV) recombinants; et les outils d'édition articulés autour de l'ARN.

### **C. Le génie biologique appliqué aux systèmes et réseaux biologiques**

36. Les progrès réalisés ont témoigné du perfectionnement croissant de la biologie de synthèse, notamment les suivants: la création de biocarburants de synthèse qui sont analogues aux combustibles fossiles actuellement utilisés; la compréhension plus fine des mécanismes en jeu dans la transition de la cellule isolée à la colonie; l'application des approches du génie biologique aux animaux; les exemples d'application plus fine des principes du génie biologique; et l'existence d'éléments portant à croire qu'il sera bientôt possible de réinitialiser un châssis synthétique avec un génome de synthèse pour créer le premier organisme intégralement synthétique. Les approches du génie biologique tendent également à être adoptées par le mouvement en faveur des sciences citoyennes. Ainsi, un projet de type externalisation ouverte (ou «outsourcing») tente de créer une version luminescente de la plante *Arabidopsis*.

37. Un inventaire récent des produits de biologie de synthèse existants ou envisageables établi par le Synthetic Biology Project recense 68 produits en cours d'élaboration<sup>8</sup>. La moitié devrait être au point à court terme ou à moyen terme. Les domaines concernés par ces produits sont les biocarburants, les produits chimiques (produits en vrac et chimie fine), les matériaux, l'alimentation, l'alimentation animale et les médicaments. Une dizaine d'autres projets universitaires présentant des possibilités d'application commerciale sont également débattus.

38. On dispose de signaux forts d'une application industrielle de la biologie de synthèse, avec notamment: la production industrielle d'artémisinine semi-synthétique; la production industrielle de biocarburants de synthèse; et un nombre croissant d'entreprises faisant

<sup>8</sup> [http://www.synbioproject.org/process/assets/files/6631/\\_draft/synbio\\_applications\\_wwics.pdf](http://www.synbioproject.org/process/assets/files/6631/_draft/synbio_applications_wwics.pdf).

tourner des sites de démonstration pour la production industrielle de biocarburants de synthèse.

39. Des progrès ont été enregistrés pour ce qui est des protocoles, à savoir: une nouvelle méthodologie pour l'assemblage automatisable à haut débit de composants biologiques standard; la mise au point d'une nouvelle plate-forme normalisée pour le génie génétique modulaire interchangeable; et le lancement de trousse de composants modulaires pour les étudiants de l'enseignement secondaire et postsecondaire ainsi que le public désireux de se livrer à des expériences sur des composants génétiques. Les progrès enregistrés dans les outils de conception comprennent l'outil «Archetype» mis au point par la société Synthetic Genomics, qui est un progiciel de stockage, de gestion et d'analyse des données de séquence biologiques. Conçu pour une utilisation en interne, cet outil a servi à quantité de travaux menés ces dernières années par Synthetic Genomics, et il est aujourd'hui mis à la disposition d'autres utilisateurs.

40. Des progrès ont été marqués dans le domaine des châssis, notamment avec la création d'une capsid virale totalement synthétique pour la fièvre aphteuse, qui a permis d'obtenir un nouveau vaccin. Une grande part des travaux menés jusqu'ici a porté sur les châssis bactériens qui, s'ils constituent des supports de recherche utiles, n'en sont pas moins limités par leur capacité à construire certaines structures que l'on trouve chez les eucaryotes et ne sont souvent pas optimisés pour une production à grande échelle. Plusieurs progrès ont été enregistrés dans le recours à la levure, plutôt qu'à la bactérie, comme châssis, notamment les suivants: mise au point d'un cadre pour la programmation des facteurs de transcription eucaryote pour faciliter la conception de circuits de synthèse dans la levure; méthode de transfert de l'intégralité des génomes de la bactérie à la levure; progrès dans la caractérisation des souches de levure à fission de génome réduit. Un progrès mérite d'être signalé plus particulièrement, à savoir le projet mené en concertation à l'échelle internationale, visant à élaborer un génome de levure de synthèse<sup>9</sup>. La première réunion de coordination internationale s'est tenue en avril 2013, en Chine. La deuxième est prévue en juillet 2013, au Royaume-Uni.

41. Des progrès ont été réalisés en matière de composants, notamment avec: la création de bioéquivalents des portes logiques AND (ET), NAND (NON-ET), OR (OU), XOR (OU exclusif), NOR (NON-OU) et XNOR (NON-OU exclusif); la création de bioéquivalents des portes logiques NOT, AND, NAND et N-IMPLY; et les ARN régulateurs synthétiques.

42. Les progrès sur les moyens de maîtriser le matériel génétique des produits fabriqués englobent le rôle joué par un microbiome intestinal humain sain; et l'impact de l'inflammation lors du transfert horizontal de gènes dans l'intestin.

43. Des progrès ont été réalisés pour ce qui est de faire face à la dimension dynamique et au bruit qui sont inhérents à la biologie, notamment avec: les efforts déployés pour compartimenter les voies métaboliques dans les organelles; la démonstration avec la levure que ce cloisonnement peut accroître les rendements; et l'amélioration de la capacité à maîtriser l'expression d'un gène sur plusieurs générations de cellules avec une certaine précision sur le plan quantitatif.

44. En s'appuyant sur les travaux antérieurs tendant à concevoir des enzymes, travaux qui ont donné les moyens de concevoir par informatique et de reconfigurer des enzymes à partir de zéro, des progrès ont été réalisés pour ce qui est de: la mise au point d'approches itératives de la conception par informatique; la capacité à concevoir des cavités protéiques spécifiques pour la catalyse. Dans un article paru en mai 2012, dans la revue *Nature*, sur les biocatalyseurs mis au point, 20 enzymes mises au point par l'industrie pharmaceutique ont

---

<sup>9</sup> <http://syntheticyeast.org>.

été recensées, au nombre desquelles des cétoréductases, des transaminases, des hydrolases, des enzymes oxydatives et des aldolases<sup>10</sup>.

45. Des progrès ont été réalisés dans la conception des structures, notamment les suivants: conception par informatique de nanostructures à base de protéines capables d'auto-assemblage; maîtrise accrue du pliage tridimensionnel pour la création de formes complexes de type tétraèdres; construction et utilisation de moteurs moléculaires, propres à contrôler l'espace chiral dans une réaction de catalyse; élaboration de machines moléculaires destinées à la fonction biologique miroir, permettant de synthétiser des peptides ayant une séquence spécifique.

46. Dans une récente étude sur les considérations liées à la sécurité biologique réalisée dans le cadre du concours international de machines génétiquement conçues (Genetically Engineered Machines, ou iGEM), on a relevé «une augmentation du nombre d'équipes faisant état d'éléments liés à la sécurité, et des progrès d'ensemble pour ce qui est de l'évaluation de la sécurité dans leurs projets». En 2013, la commission sur la sécurité de l'iGEM, qui s'intéresse aussi aux questions de sûreté biologique, a révisé les procédures imposées aux participants en matière de sécurité et de sûreté. Tous les concurrents doivent désormais fournir des informations de base sur la sécurité. Tout projet nécessitant des mesures de précaution supérieures aux mesures de base généralement requises doit faire l'objet d'un examen plus approfondi. Tout projet présentant des problèmes de sécurité non réglés à l'issue du second examen est placé sous une surveillance plus stricte. Tous les projets doivent avoir été approuvés par la commission chargée de la sécurité pour que les travaux puissent débiter.

#### **D. Collecte et manipulation des données biologiques**

47. Des progrès ont été marqués en bio-informatique et en biologie computationnelle, notamment avec: la mise au point d'outils pour l'analyse de très grands ensembles de données, et la détermination des failles à cet égard; la mise au point de nouveaux algorithmes pour la recherche de séquences de gènes dans les bases de données de génomes; et la multiplication des risques de faux positifs avec la production croissante de données.

48. On a progressé dans la modélisation et la simulation, notamment avec la création du premier modèle informatique de cellule intégrale, qui se trouve être celui d'un agent pathogène humain et qui permet de prédire les manifestations physiques de la manipulation génétique; la création d'un modèle informatique permettant de prédire les effets secondaires possibles.

49. Des progrès ont été réalisés en matière de logiciel et d'outils, notamment avec la création d'outils de dépistage qui améliorent la capacité à aligner des données de séquençage avec les organismes d'origine. Les efforts visant à dépister les séquences de gènes synthétisées à des fins commerciales pourraient s'en trouver améliorés.

#### **E. Conversion de données biologiques en données numériques et processus inverse**

50. Les progrès enregistrés dans la technologie de séquençage sont notamment les suivants: le fait d'être parvenu à surmonter les obstacles qui se posaient au lancement des séquenceurs d'ADN miniatures MinION sur clef USB, dont il a été débattu lors de

<sup>10</sup> <http://www.nature.com/nature/journal/v485/n7397/full/nature11117.html>.

l'examen mené en 2012; l'arrivée d'outils pour la détection à l'échelle du génome de nucléotides simples et des écarts dans le nombre de copies dans une seule cellule humaine; des améliorations dans la compilation de données de séquence brutes en génomes complets; les procédés de séquençage de l'ARN directement. L'on a tenté de comparer les technologies de séquençage de pointe. De nouvelles données ont aussi été divulguées sur les résultats des technologies de paillasse. Des progrès ont été marqués dans l'utilisation de la capacité de séquençage, y compris son utilisation à des fins d'identification de l'ascendance.

51. Les progrès en technologie de synthèse comprennent: la création d'un prototype d'imprimante laser d'ADN (bien que les lasers servent en fait à trier les matériaux synthétisés) qui pourrait permettre de réduire de façon considérable les coûts de synthèse; la création de démarches bureaucratiques pour exploiter davantage les séquences génétiques déjà présentes dans les laboratoires et qui, lorsqu'elles sont couplées aux améliorations en termes d'automatisation, permettent à l'utilisateur de compiler les gènes de synthèse désirés à partir de ce dont il dispose déjà. Les progrès dans l'utilisation de la technologie de synthèse sont notamment l'application au stockage de données et l'intégration de la prestation de services de laboratoire externalisés.

## **F. Technologies génériques d'avenir**

52. À la base de nombre des progrès évoqués dans ce qui précède, on trouve un ensemble de technologies qui permettent d'exécuter plus facilement, à moindre coût, plus rapidement ou de façon plus fiable bien des procédures et pratiques de base en jeu dans l'élargissement du champ de notre compréhension et de la création de nouvelles applications. Des progrès ont été enregistrés en matière de microfluidique à l'échelle d'une cellule, dans des conditions de haut débit, notamment les suivants: progrès en matière de physique des gouttelettes; méthodes d'encapsulation de cellule; méthodes de détection et de déclenchement; s'agissant de l'application dans des conditions de haut débit, pour l'amélioration des composantes telles que la taille des gouttelettes, densité des capsules et viscoélasticité des gouttelettes. Ainsi, les travaux de recherche peuvent être menés à une échelle bien plus petite, ce qui présente des avantages en termes de coûts, de rapidité et de nombre de candidats qui peuvent être explorés.

## **IV. Recensement et gestion de l'information sur les progrès pertinents**

### **A. Recensement des progrès susceptibles de présenter un intérêt**

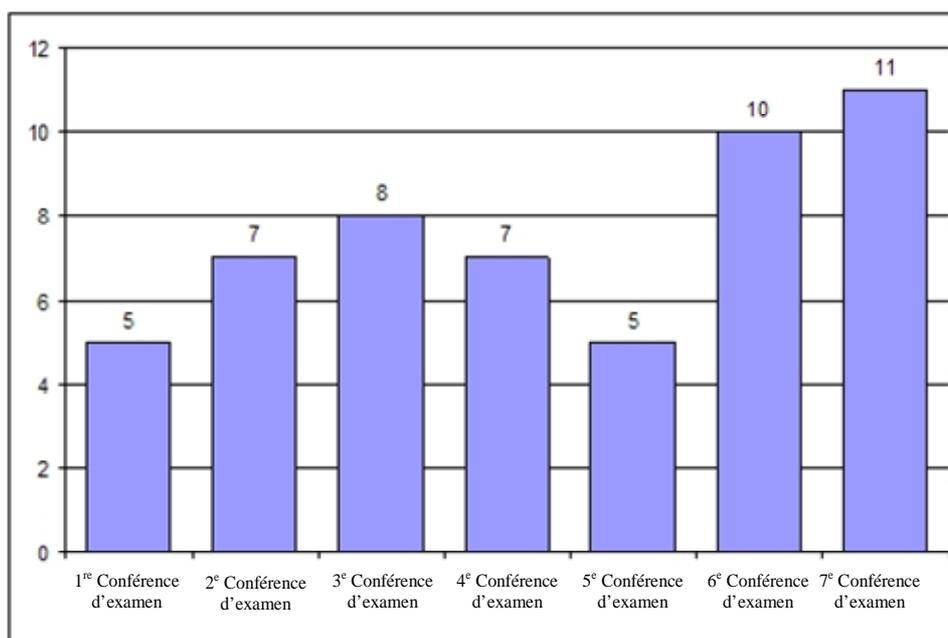
53. En 2012, les informations de fond concernant les progrès pertinents de la science et de la technique provenaient en très grande partie des éléments communiqués par les États parties, les organismes internationaux, les organisations non gouvernementales et l'Unité d'appui à l'application au cours de la période qui a précédé la septième Conférence d'examen. Ces informations remontent maintenant à huit ans et risquent fort de ne plus correspondre aux capacités actuelles dans le domaine. Les examens à venir pourraient bien ne plus pouvoir reposer autant sur ces informations. Il n'est pas clairement établi à partir de quand les progrès doivent être considérés comme pertinents et les informations de fond requises doivent être relayées, et qui doit s'en charger. Les décisions prises à la septième Conférence d'examen ne donnent pas d'indications précises quant aux procédures à suivre pour l'examen de l'évolution de la science et de la technique, hormis la disposition

prévoyant d'inclure le point permanent de l'ordre du jour dans le programme intersessions pour la période 2012-2015.

54. Lors des examens menés dans le cadre des conférences d'examen se tenant tous les cinq ans, un nombre limité d'États parties ont communiqué des éléments (voir fig. 1). À la Réunion d'experts de 2012, six États parties ont soumis des documents de travail sur la question et 22 États parties, une organisation régionale, une organisation internationale et trois personnalités invitées à la Réunion ont fait des déclarations au cours de l'examen du point permanent de l'ordre du jour au titre duquel est établi le présent document.

Figure 1

**Nombre d'États parties ayant soumis, lors des conférences d'examen tenues jusqu'ici, des renseignements sur les progrès pertinents accomplis dans le domaine de la science et des techniques**



55. Avant chaque examen des domaines scientifique et technique mené par les États parties lors des conférences d'examen, des représentants d'organisations internationales et d'établissements scientifiques spécialisés et des experts non gouvernementaux ont fait part des progrès qu'ils considéraient comme pouvant présenter un intérêt. Aucune décision n'a été prise par la septième Conférence d'examen quant à la mise à disposition de ressources pour appuyer ces initiatives. Par le passé, certains États parties avaient mis à disposition, à titre volontaire, de telles ressources pour ce type d'examen. À la connaissance de l'Unité d'appui à l'application, aucune réunion n'a été organisée par ces organismes et organes pour recenser les progrès intéressant les travaux des États parties en 2013, et aucun financement n'a été prévu à cette fin.

56. Selon une décision prise à la septième Conférence d'examen, l'Unité d'appui à l'application doit «faciliter, selon que de besoin, l'application par les États parties des décisions et recommandations de la ... Conférence d'examen», y compris la décision concernant l'examen des progrès scientifiques et techniques. L'Unité d'appui à l'application continuera, dans toute la mesure des moyens mis à sa disposition, de fournir des informations de fond sur les progrès présentant un intérêt. À la septième Conférence d'examen, ni personnel ni financement n'ont été spécifiquement mis à disposition pour mener à bien cette tâche. Aucune contribution volontaire n'a été reçue pour appuyer ces activités. L'ampleur et la portée des progrès que l'Unité d'appui à l'application peut

examiner s'en trouvent limitées. Auparavant, par sa participation aux réunions et aux ateliers indiqués dans ses rapports annuels, l'Unité d'appui à l'application se trouvait informée d'un vaste spectre de progrès. La participation à ces réunions a été, et demeure, possible grâce aux contributions volontaires. Actuellement, avec la réduction de fait des effectifs de l'Unité d'appui à l'application, les moyens dont celle-ci dispose pour déceler les progrès pouvant présenter un intérêt pour la Convention sont moins importants qu'ils ne l'étaient lors du programme de travail intersessions précédent.

## **B. Gestion de l'information sur les progrès**

57. Compte tenu du rythme auquel la science et la technique progressent, il y a lieu de porter les progrès pertinents à l'attention des États parties aussi rapidement que possible. Les supports d'information modernes offrent des plates-formes qui permettent de mettre cette information à disposition quasiment en temps réel. L'Unité d'appui à l'application a actualisé la section concernée du site Web de la Convention pour y afficher les informations sur les progrès pertinents de la science et de la technique ([www.unog.ch/bwc/science](http://www.unog.ch/bwc/science)). La présentation des pages du site suit le format adopté dans le présent document et les documents d'information établis pour la Réunion d'experts de 2012 et la septième Conférence d'examen.

58. Dans chacun des domaines sur lesquels portent les documents d'information, des précisions sont apportées sur chaque progrès retenu, y compris un lien menant au travail de recherche, à la publication ou à toute autre source d'information dont il est issu, des informations détaillées sont fournies et il est fait part de considérations sur l'intérêt que ce progrès peut présenter pour la Convention.

59. L'Unité d'appui à l'application compte actualiser le présent document de façon régulière, en y ajoutant des précisions sur les progrès qu'il recense, ainsi que les renseignements fournis par les États parties, les organisations internationales, les établissements scientifiques spécialisés et d'autres experts non gouvernementaux compétents. Toutes les personnes qui soumettent de tels renseignements sont invités à prendre connaissance des progrès déjà affichés en ligne et à adopter un format de présentation analogue à celui utilisé sur le site.

---