

**Conseil économique et social**

Distr. générale  
23 février 2015  
Français  
Original: anglais

**Commission de la science et de la technique  
au service du développement****Dix-huitième session**

Genève, 4-8 mai 2015

Point 3 a) de l'ordre du jour provisoire

**Analyse prévisionnelle stratégique et programme  
de développement pour l'après-2015****Rapport du Secrétaire général***Résumé*

Dans le présent rapport sont recensées, analysées et présentées des questions essentielles à débattre concernant le rôle de l'analyse prévisionnelle stratégique dans l'élaboration des politiques, en particulier dans les pays en développement. Le chapitre II donne un aperçu de l'analyse prévisionnelle stratégique et de la manière dont celle-ci est utilisée à travers le monde. Le chapitre III illustre les principales tendances de la science, de la technologie et de l'innovation (STI) qui présenteront probablement un intérêt pour le développement après 2015, sur la base des résultats d'une méta-analyse de rapports et de contributions élaborés récemment par des experts internationaux, et procède à une évaluation critique de leurs incidences potentielles sur le plan socioéconomique et sur le développement. Le chapitre IV met en évidence les principaux enseignements tirés en matière d'orientations. Le chapitre V expose des conclusions et des propositions qui sont soumises à l'examen des gouvernements et des autres parties prenantes concernées.



## Table des matières

	<i>Page</i>
Introduction .....	3
I. Analyse prévisionnelle stratégique: théorie et pratique .....	3
A. Les méthodes d'analyse prévisionnelle couramment utilisées.....	3
B. L'analyse prévisionnelle stratégique à travers le monde .....	4
II. Principales tendances de la science, de la technologie et de l'innovation en rapport avec le programme de développement pour l'après-2015.....	6
A. Les technologies liées aux ressources naturelles .....	6
B. Les systèmes énergétiques durables.....	9
C. La technologie au service de l'atténuation des changements climatiques, de l'adaptation à leurs effets et de la compensation des émissions de carbone .....	12
D. Les technologies convergentes .....	14
E. Urbanisation et habitat .....	17
III. Enseignements tirés de l'exercice de prospective et des travaux de la recherche prévisionnelle..	19
IV. Conclusions et propositions .....	20

## Introduction

1. À sa dix-septième session, en mai 2014, la Commission de la science et de la technique au service du développement a choisi l'analyse prévisionnelle stratégique et le programme de développement pour l'après-2015 comme l'un des deux thèmes prioritaires de la période intersessions 2014-2015.

2. Pour contribuer à une meilleure compréhension de ce thème prioritaire et aider la Commission dans les délibérations de sa dix-huitième session, le secrétariat de la Commission a réuni un groupe d'étude à Genève (Suisse) du 26 au 28 novembre 2014. Le présent rapport se fonde sur les conclusions du groupe d'étude, notamment les débats d'experts tenus lors du café de l'analyse prévisionnelle stratégique organisé à cette occasion, sur les rapports nationaux communiqués par les membres de la Commission et sur les contributions d'experts de différentes régions.

### I. Analyse prévisionnelle stratégique: théorie et pratique<sup>1</sup>

3. Par analyse prévisionnelle stratégique (analyse prévisionnelle des tendances technologiques ou analyse prospective des technologies), on entend l'évaluation systématique de la STI à long terme et de ses incidences potentielles sur la société, dans le but de recenser des domaines de recherche scientifique et de développement technologique susceptibles d'influer sur le changement et de produire les plus grands effets bénéfiques sur la société.

4. En tant qu'élément situé le plus en amont du processus de développement technologique, l'analyse prévisionnelle contribue aux stratégies, politiques et plans technologiques en proposant différentes voies pour atteindre l'objectif défini. Par conséquent, elle guide le développement de l'infrastructure technologique, soutient l'innovation et propose des incitations et une assistance aux entreprises dans le domaine de la gestion et du transfert de technologie, aboutissant à renforcer la compétitivité et la croissance.

5. Les analyses prévisionnelles stratégiques sont établies à l'issue d'un processus participatif qui prend la forme d'un débat structuré entre les décideurs, les experts, les entreprises du secteur, les représentants de la société civile et d'autres parties intéressées, aboutissant à une compréhension commune des questions qui se posent à long terme. Les évaluations peuvent être réalisées en utilisant une ou plusieurs méthodes en même temps afin de recueillir systématiquement des informations d'anticipation auprès d'un large éventail de sources de savoir.

#### A. Les méthodes d'analyse prévisionnelle couramment utilisées

6. Diverses méthodes d'analyse prévisionnelle sont utilisées dans différents pays à travers le monde. Le partage de l'expérience acquise dans ce domaine fait partie intégrante d'un processus de recherche appelé «inventaire», qui implique un suivi et une analyse systématiques des pratiques adoptées, des acteurs présents et des résultats obtenus en matière d'analyse prévisionnelle. Les travaux d'inventaire récemment menés laissent penser que l'analyse prévisionnelle stratégique suscite un intérêt croissant, principalement car les activités prospectives sont devenues plus qu'un simple moyen de soutenir l'élaboration de politiques ou de stratégies en matière de STI. Le champ de l'analyse prévisionnelle s'étend constamment: il comprend un éventail plus large d'objectifs, à savoir

<sup>1</sup> L. Georghiou, J. C. Harper, M. Keenan, I. Miles et R. Popper, 2008, *The Handbook of Technology Foresight: Concepts and Practice* (Cheltenham, Edward Elgar Publishing).

l'analyse de la contribution potentielle de la STI, la promotion de la création de réseaux, l'établissement de priorités pour la STI, l'appui à l'élaboration de méthodes et au renforcement des capacités, et l'élaboration de visions partagées. En outre, les travaux d'inventaire montrent que l'analyse prévisionnelle multidimensionnelle ou multifonctionnelle est désormais un phénomène courant.

7. L'inventaire des pratiques prévisionnelles a aidé à recenser les méthodes qui sont largement utilisées dans le monde. Il ressort de l'examen de près de 1 000 analyses prévisionnelles réalisées dans le monde entier que les 10 méthodes les plus utilisées sont, par ordre d'importance: les groupes d'experts, les scénarios, l'extrapolation des tendances, les ateliers de l'avenir, les groupes de réflexion, la méthode Delphi<sup>2</sup>, les entretiens, les technologies clefs<sup>3</sup>, les questionnaires et/ou enquêtes et l'analyse des forces, faiblesses, possibilités et menaces<sup>4</sup>. Deux des plus importants facteurs influant sur le choix des méthodes sont leur nature (qualitative, quantitative ou semi-quantitative) et leur combinaison (relation de dépendance ou d'influence à l'égard des autres méthodes). Si les méthodes qualitatives sont favorisées, certaines méthodes se prêtent mieux à une utilisation combinée, le groupe de réflexion étant, par exemple, fréquemment employé avec la méthode Delphi.

8. Les technologies de l'information et de la communication sont de plus en plus appliquées à la plupart des approches prévisionnelles, en particulier l'interaction et les activités fondées sur des données factuelles. De nombreuses applications sont disponibles à l'appui de la modélisation, de l'exploitation des données, de la numérisation, des processus participatifs et de la visualisation, telles que les enquêtes en ligne, l'analyse des données massives, la prospective sur Internet et les plates-formes de créativité.

## B. L'analyse prévisionnelle stratégique à travers le monde

9. L'inventaire des 10 méthodes les plus utilisées par région fait ressortir des particularités régionales telles que le recours fréquent à la méthode des technologies clefs en Europe du Sud et en Amérique du Nord<sup>5</sup>. D'autres pratiques régionales sont mises en évidence dans la présente section.

### *Europe*

10. Les analyses prévisionnelles réalisées en Europe mettent l'accent sur l'anticipation et la collaboration par le biais d'une gouvernance et d'une prise de décisions coordonnées. Elles prennent une forme de plus en plus institutionnalisée et le partage de l'expérience acquise dans ce domaine suscite un intérêt croissant, par exemple à travers l'European Foresight Platform et l'International Foresight Academy.

<sup>2</sup> La méthode Delphi utilise un groupe d'experts qui répondent de manière anonyme aux questionnaires et reçoivent ensuite des informations en retour sous la forme d'une représentation statistique des réponses du groupe, après quoi le processus se répète. L'objectif est de réduire l'éventail des réponses et de se rapprocher d'un consensus entre experts (Rand Corporation, 2015, Topics: Delphi method, disponible à l'adresse: <http://www.rand.org/topics/delphi-method.html> (consultée le 13 février 2015)).

<sup>3</sup> Cette méthode recense les technologies les plus influentes pendant une période donnée, afin d'établir des priorités en matière de recherche-développement.

<sup>4</sup> Une analyse de ce type a été menée par R. Popper à partir de données de European Foresight Monitoring Network (2005-2009), iKnow (2008-2011) et European Foresight Platform (2009-2012). Voir: <http://www.foresight-platform.eu/> et R. Popper, 2008, How are foresight methods selected? *Foresight*, 10(6): 62-89.

<sup>5</sup> S. Bitar, 2013, *Why and How Latin America Should Think About the Future* (Washington, Inter-American Dialogue) et M. Keenan et R. Popper, 2008, Comparing foresight style in six world regions, *Foresight*, 10(6): 16-38.

11. Certains pays comme la France mènent depuis plusieurs dizaines d'années de nombreux travaux de prospective qui influent encore sur les pratiques actuelles. D'autres pays, par exemple l'Irlande et le Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, ont dans ce domaine une histoire plus courte qui est influencée par des traditions mettant l'accent sur la technologie et la durabilité. En Europe orientale, il ne reste pas grand-chose de la tradition communiste de réflexion sur l'avenir qui s'inscrivait dans le cadre de la planification centralisée. Les travaux récents ont été fortement influencés par la prévision des tendances technologiques telle qu'elle est pratiquée en Europe du Nord et en Europe occidentale. La Commission européenne et l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel ont joué un rôle important dans ce transfert de pratiques. Les activités prévisionnelles sont relativement récentes en Europe du Sud; plus de la moitié des analyses prévisionnelles portaient sur les tendances technologiques en Espagne.

#### *Amérique latine*

12. En Amérique latine, l'analyse prévisionnelle a évolué lentement mais progressivement. De nombreux pays ont lancé des programmes et projets nationaux intégrant des notions et des méthodes inspirées d'un large éventail d'analyses internationales, réalisées essentiellement en Europe. Toutefois, les pays de la région ont aussi adopté leur propre style de prévision en utilisant de manière créative leurs modestes ressources, ce qui a abouti parfois à des innovations concrètes sur le plan des pratiques suivies et des instruments utilisés, allant de nouveaux systèmes de gestion et mécanismes d'appui en ligne à de nouveaux moyens de faire participer les parties intéressées. Des organisations internationales telles que l'Organisation de l'Accord Andrés Bello sur l'intégration éducative, scientifique et culturelle, la Commission économique pour l'Amérique latine et les Caraïbes de l'ONU, l'Organisation des Nations Unies pour le développement industriel et, plus récemment, la Commission européenne, ont aussi joué un rôle dans l'appui aux programmes prévisionnels et aux activités de renforcement des capacités dans la région.

#### *Amérique du Nord*

13. De nombreuses méthodes prévisionnelles figurant parmi les plus fréquemment utilisées ont été mises au point aux États-Unis d'Amérique dans les années 1950 et 1960 et ont été largement employées dans les secteurs public et privé. La plupart des activités prévisionnelles sont menées par les États et au niveau fédéral au Canada et aux États-Unis. Le National Intelligence Council des États-Unis produit un rapport sur les tendances mondiales afin d'encadrer le dialogue stratégique qui se tient au sein des pouvoirs publics et en dehors. Les entreprises des États-Unis sont particulièrement attachées à l'examen des orientations technologiques sectorielles.

#### *Asie*

14. Le Japon a été à l'avant-garde de l'élaboration de prévisions technologiques nationales et, depuis 1970, utilise la méthode Delphi pour prédire et orienter l'évolution technologique. Il a non seulement été influent en Europe, mais son expérience a inspiré des exercices du même type en Chine et en République de Corée ainsi qu'en Asie du Sud-Est. Dans le cadre du Forum de coopération économique Asie-Pacifique, un centre de prévision technologique a été créé en 1998 afin de mener des études régionales et de développer les capacités des pays membres; ses travaux ont été largement influencés par les pratiques suivies en Amérique du Nord, en Australie, au Japon, ainsi qu'en Europe du Nord et en Europe occidentale.

*Afrique*

15. La plupart des analyses prévisionnelles réalisées en Afrique sont financées ou menées par des organisations internationales telles que la Banque africaine de développement, l'Union européenne, l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, l'International Food Policy Research Institute, le Programme commun des Nations Unies sur le VIH/sida et le Programme des Nations Unies pour le développement. La majorité de ces analyses portent sur l'Afrique dans son ensemble et seules quelques-unes sont consacrées à des pays en particulier.

## **II. Principales tendances de la science, de la technologie et de l'innovation en rapport avec le programme de développement pour l'après-2015**

16. Le programme de développement pour l'après-2015 consacrera une stratégie universelle destinée à en finir avec la pauvreté et à construire un monde plus adapté aux besoins des êtres humains et aux impératifs de transformation de l'économie, tout en veillant à protéger l'environnement, à faire régner la paix et à donner effet aux droits de l'homme. La Commission a fait observer que dans le cadre des efforts déployés au niveau mondial pour élaborer ce programme, il faut clairement définir le rôle important que la STI jouera dans la réalisation des aspirations au développement<sup>6</sup>.

17. En tant que porte-drapeau du système des Nations Unies pour les questions liées à la STI, la Commission a souligné qu'il importait de créer des capacités dans ce domaine, de promouvoir l'entreprenariat et de renforcer les capacités d'innovation pour favoriser un développement équitable et durable. Dans le cadre de son thème prioritaire consacré à l'analyse prévisionnelle stratégique, le secrétariat de la Commission a organisé un exercice de prospective, auquel des experts internationaux ont apporté leur contribution, afin de recenser les principales tendances de la STI qui sont susceptibles de contribuer à l'élaboration du programme de développement pour l'après-2015 et à la réalisation des objectifs de développement durable<sup>7</sup>. Ces tendances ont été examinées par le groupe d'étude intersessions 2014-2015, notamment lors des débats d'experts tenus au café de l'analyse prévisionnelle stratégique, dans les cinq domaines auxquels le présent chapitre est consacré, à savoir: les ressources naturelles, l'énergie, les changements climatiques, la convergence et l'urbanisation.

### **A. Les technologies liées aux ressources naturelles**

18. L'évolution industrielle et technologique, ainsi que la modification des modes de consommation associés à la croissance économique et à la prospérité, contribue à la hausse de la demande de ressources biologiques renouvelables et de stocks non renouvelables de minéraux, de métaux et de combustibles fossiles. La planète est un système physique fermé où les ressources disponibles sont finies. Les ressources ne sont pas rares dans l'absolu, mais elles peuvent être réparties de manière inégale dans le monde, rendant les conditions d'accès incertaines et susceptibles de nourrir des conflits.

<sup>6</sup> E/CN.16/2014/2.

<sup>7</sup> En coordination avec V. Carabias-Huetter, conférencier en prospective technologique à l'Institut du développement durable de l'Université des sciences appliquées de Zurich, et avec les contributions d'experts de l'International Foresight Academy et de la Commission européenne, notamment Y. Blumer, M. Hoppe, H. Spiess, D. Wemyss et C. Zipper de l'Université des sciences appliquées de Zurich, K. Haegeman du Centre commun de recherche de la Commission européenne, R. Johnston de l'Université de Sydney, I. Mariani, B. Park de l'Institut de politique scientifique et technologique de la République de Corée et R. Popper de l'Université de Manchester.

19. L'innovation joue un rôle complexe dans la configuration de la demande et de l'offre de ressources. Les technologies révolutionnaires peuvent créer de nouvelles utilisations des ressources et de nouveaux moyens de localiser et d'exploiter les gisements, risquant d'accroître les contraintes qui pèsent sur l'environnement. Mais l'innovation peut aussi permettre aux sociétés d'utiliser moins de ressources finies et polluantes au profit de solutions plus durables. L'impact de l'intensification de la concurrence mondiale dont les ressources font l'objet dépendra donc dans une large mesure de la possibilité d'aller vers un mode de développement technologique qui permet de satisfaire les besoins des sociétés par des moyens plus économes en ressources. Dans les sections suivantes sont examinées les technologies susceptibles de contribuer à une gestion plus efficace des ressources alimentaires et des ressources en eau.

## 1. Alimentation

20. L'évolution de la demande et de l'utilisation des produits agricoles influe sur la production alimentaire. Le passage d'un régime alimentaire privilégiant les céréales à un régime alimentaire contenant davantage de protéines, de graisses et de sucres ainsi que l'utilisation croissante des plantes pour la production d'énergie ont pour effet de créer des synergies entre des intérêts divergents eu égard à l'amélioration qualitative et à l'augmentation quantitative des denrées alimentaires, aux capacités environnementales de l'agriculture, à l'adaptation aux changements climatiques, à l'accessibilité économique de la nourriture et à l'accroissement de la vulnérabilité. Les quatre tendances technologiques clefs évoquées ci-après sont examinées dans l'optique de l'élimination de la faim, de la sécurité alimentaire et de la hausse de la productivité agricole. Il s'agit: des nanoaliments; de la culture de viande et de la production efficace de bétail; des technologies de l'information et de la communication utilisées dans la production agricole; et des aliments fonctionnels.

21. Les nanotechnologies peuvent s'appliquer à l'ensemble de la chaîne alimentaire et peuvent entraîner une diminution des intrants et des déchets, une hausse de la productivité dans les procédés agricoles ainsi que l'amélioration de la qualité et de la sécurité de l'alimentation et des ressources en eau, aboutissant à accroître l'efficacité de la production agro-alimentaire.

22. La demande croissante de viande dans les pays en développement peut être satisfaite grâce, entre autres solutions, à l'intensification de la production. Ce processus d'intensification fait appel à des techniques favorisant la croissance qui ont abouti à une plus grande efficacité et à une diminution de l'impact sur l'environnement. Des vaccins sont disponibles pour le bétail, afin de protéger les personnes et les animaux de pathogènes dangereux, mais il n'existe pas de système de production et de distribution rentable. D'autres solutions sont disponibles telles que la fabrication *in vitro* de viande au moyen de techniques d'ingénierie tissulaire.

23. Des capteurs sont de plus en plus utilisés pour suivre en temps réel le bétail, les récoltes et les machines. L'automatisation de certaines tâches effectuées par des robots ou microrobots améliore la récolte, la cueillette, le désherbage et l'irrigation. Grâce aux téléphones mobiles et aux tablettes, les agriculteurs, ainsi que les fournisseurs, les détaillants et les décideurs, ont accès aux marchés, aux engrais et aux bulletins météorologiques. Le recours aux technologies mobiles et à d'autres technologies de l'information et de la communication peut aussi avoir un impact notable sur les revenus des agriculteurs. Parmi les services actuellement disponibles figurent l'information commerciale (sur les prix), les prévisions météorologiques locales et les diagnostics de maladies. L'extension des réseaux mobiles (deuxième génération et, de plus en plus, troisième et quatrième générations) devrait offrir de nouvelles possibilités de soutenir les zones rurales.

24. Les aliments fonctionnels ont optimisé les objectifs nutritionnels visant à fournir les substances nutritives nécessaires à l'amélioration de la santé physique, à la diminution des risques de santé, voire à la guérison des malades. Ces aliments sont nés au Japon en 1991, où ils ont été conçus pour répondre à certains besoins sanitaires et pour lutter contre l'augmentation du coût des soins de santé. Ils peuvent contribuer à améliorer la qualité de vie des populations vieillissantes.

25. La sécurité alimentaire reste un problème dans les pays en développement, en particulier sur le plan de la qualité nutritive. Les pays en développement ont un fort potentiel agricole qui ne peut être concrétisé que grâce à une plus grande efficacité. Une hausse notable de la productivité contribue à garantir la sécurité alimentaire et l'apport constant d'intrants technologiques favorise la hausse continue des rendements. Les nanotechnologies peuvent aussi contribuer grandement à la sécurité alimentaire en accroissant la compétitivité des producteurs de denrées alimentaires et en améliorant leur accès aux marchés. L'amélioration des procédés de production de viande peut suffire à répondre à la demande mondiale et peut présenter des avantages sur le plan financier, en matière de santé, pour le bien-être des animaux et dans le domaine de l'environnement par rapport à la viande traditionnelle. Toutefois, les sociétés peuvent avoir besoin de temps avant de s'habituer à d'autres types de viande, en particulier car le processus de production est jugé non naturel.

## 2. Eau

26. Certains des problèmes les plus difficiles à résoudre dans le domaine de l'eau sont la rareté de cette ressource, en particulier du fait de l'épuisement des eaux souterraines, la qualité de l'eau dans les pays en développement, l'accès à l'eau et à l'assainissement en milieu rural et urbain et le recyclage des matériaux<sup>8</sup>. La mise en place d'infrastructures de distribution d'eau et d'assainissement dans les pays en développement doit être accélérée grâce à des innovations qui entraînent une moindre consommation d'eau, d'énergie ou de capital. Les tendances technologiques actuelles axées sur la décentralisation de l'assainissement et la filtration des eaux usées dans le but de récupérer de l'énergie et des nutriments peuvent aider à élargir l'accès à l'eau et à l'assainissement ainsi qu'à améliorer la qualité de l'eau. Il est possible d'améliorer la gestion des ressources en eau grâce à trois technologies prometteuses: la mise en place d'un système d'assainissement décentralisé et durable; la récupération d'énergie et de nutriments à partir des eaux usées; le traitement de l'eau potable et des eaux usées grâce à des membranes et à une filtration avancée de l'eau.

27. Les nouveaux systèmes d'assainissement mis en place dans les pays en développement répondent aux coûts et aux problèmes institutionnels liés à l'extension des infrastructures et au raccordement à une station d'épuration centralisée. Les systèmes durables d'assainissement prennent en compte l'ensemble de la chaîne de services, ainsi que les produits finaux, et éliminent les éléments pathogènes. Ils intègrent souvent le lavage des mains ou les chasses d'eau et recourent à de nouveaux matériaux et moyens de traitement tels que le sable, le sol et la séparation de l'urine, tout en procédant à la récupération d'énergie, à la réutilisation des nutriments et à un assainissement écologique.

28. L'énergie et les nutriments contenus dans les eaux usées peuvent être isolés et récupérés afin d'être réutilisés. Les processus de digestion anaérobiques des eaux usées et des déchets solides peuvent servir à produire des sources d'énergie telles que du biogaz à base de méthanol. Des piles à combustible microbiennes commencent à être utilisées pour

---

<sup>8</sup> Pour un examen approfondi de la gestion des eaux dans le secteur agricole, voir Conférence des Nations Unies sur le commerce et le développement (CNUCED), 2011, *Water for Food: Innovative Water Management Technologies for Food Security and Poverty Alleviation* (New York et Genève, publication des Nations Unies).



produire de l'électricité grâce au métabolisme de micro-organismes qui traitent les eaux usées. Le phosphore et l'azote se trouvent en concentration appréciable dans les biosolides et l'urine. Les produits finals peuvent donc être compostés ou le phosphore peut être directement récupéré au moyen d'une précipitation chimique, d'une pyrolyse ou d'autres moyens.

29. Les procédés de séparation qui extraient la pollution, les sels ou les solides de l'eau douce ou des eaux usées permettent de réutiliser l'eau en toute sécurité et peuvent être économiquement productifs, tout en employant des sources qui n'étaient pas utilisables auparavant. Les nanotechnologies de filtration, de filtration par membrane et de désalinisation de l'eau de mer sont des solutions dont la faisabilité technique et économique progresse. Parmi les nouvelles techniques conçues figurent l'osmose inverse et la récupération d'énergie à haut rendement ainsi que l'intégration d'énergies renouvelables telles que le solaire.

30. La durabilité à long terme devrait être obtenue dans le domaine de l'assainissement en minimisant les risques sanitaires et l'impact environnemental moyennant des dépenses initiales peu élevées. Les sources décentralisées d'énergie et d'engrais peuvent contribuer au développement économique. Les infrastructures peuvent néanmoins entraver l'application de nouvelles technologies lorsque celles-ci impliquent la rénovation des systèmes d'assainissement. Des dispositifs de traitement moins chers, plus petits et à haut rendement énergétique permettent à un plus grand nombre de personnes d'avoir accès à l'eau potable, contribuant ainsi à la productivité économique, à la santé générale et à la qualité de l'environnement. Les nanofiltres devraient servir dans les régions en développement à obtenir de l'eau potable d'ici à 2020<sup>9</sup>.

## **B. Les systèmes énergétiques durables**

31. Un système énergétique comprend trois composantes interdépendantes. Du côté de la demande, il faut des prestataires de services et des transporteurs d'énergie spécialisés, par exemple dans les combustibles ou l'électricité. Du côté de l'offre, il existe diverses sources d'énergie potentielles, qui sont soit les combustibles fossiles soit les énergies renouvelables. L'interface entre l'offre et la demande est un système complexe de marchés locaux et mondiaux, d'infrastructures de transport (y compris le réseau électrique) et d'institutions (distributeurs), qui veille à ce que la production d'énergie satisfasse la demande. Ce système exige donc des infrastructures, dont le coût initial est élevé et le cycle de vie est long, s'étalant normalement sur des dizaines d'années, associe divers acteurs et est influencé par plusieurs facteurs non techniques tels que la réglementation et les modes de consommation.

32. Selon l'Agence internationale de l'énergie, la demande mondiale d'énergie augmentera de manière notable dans les décennies à venir, principalement dans les pays en développement. Dans les pays développés, la demande d'énergie devrait se stabiliser à moyen terme. Un certain nombre de tendances technologiques devraient contribuer à la mise en place de systèmes énergétiques plus durables, résilients et intégrés au cours des prochaines décennies. Les sections ci-après illustrent les trois composantes d'un système énergétique et mettent en évidence la difficulté de la tâche des décideurs, qui doivent satisfaire l'augmentation de la demande mondiale d'énergie tout en allant progressivement vers des systèmes plus durables.

---

<sup>9</sup> R. Silbergliitt, P. S. Antón, D. R. Howell et A. Wong, 2006, *The Global Technology Revolution 2020, In-depth Analyses* (Santa Monica, Arlington et Pittsburgh, Rand Corporation).

## 1. Demande d'énergie

33. L'efficacité énergétique, essentiellement dans l'industrie et les transports, devrait augmenter progressivement sous l'effet des progrès technologiques et de l'évolution des coûts. Le montant annuel des investissements supplémentaires dans l'efficacité énergétique des transports, des bâtiments et de l'industrie devrait augmenter de 336 milliards de dollars environ jusqu'en 2029, et être en grande partie consacré à la modernisation des équipements actuels<sup>10</sup>. Ces mesures pourraient produire un retour sur investissement lorsque les économies d'énergie prévues auront été réalisées. La bioénergie peut jouer un rôle essentiel dans l'atténuation des changements climatiques, mais il existe des problèmes tels que la durabilité des pratiques et l'efficacité des systèmes bioénergétiques. L'accroissement de l'efficacité énergétique devrait être économiquement viable à long terme en raison de la baisse du coût budgétaire des combustibles fossiles et de la diminution des capacités de production nécessaires. Dans le même temps, dans les pays en développement, la croissance démographique et économique peut réduire l'impact d'un accroissement de l'efficacité, et les ressources disponibles pour investir dans l'efficacité énergétique peuvent être plus modestes.

34. Dans les pays développés, où la fiabilité de l'approvisionnement électrique est largement garantie, toute hausse future de la demande peut être due à l'essor des voitures électriques ou des pompes à chaleur. Dans les pays en développement, la demande devrait être principalement due à une utilisation plus répandue des technologies de l'information et de la communication, ce qui permettra d'élargir l'accès aux marchés, aux communications et à l'échange d'informations et d'ouvrir des débouchés économiques grâce à la prestation de services, contribuant à améliorer la qualité de vie. L'électrification accrue des pays en développement et l'utilisation croissante de combustibles propres pour la cuisine et le chauffage devraient avoir des conséquences bénéfiques notables pour la santé. L'utilisation traditionnelle de la biomasse sera remplacée par une combustion plus efficace des combustibles solides qui réduira les émissions de polluants atmosphériques tels que le dioxyde de soufre, l'oxyde d'azote, le monoxyde de carbone et le carbone noir.

35. Les normes de construction des bâtiments dans des zones urbaines en expansion influent considérablement sur la demande d'énergie, notamment pour le chauffage et le refroidissement, et sur le développement d'infrastructures énergétiques comme le réseau électrique. Les très faibles consommations d'énergie exigées dans les codes de construction des bâtiments adoptés et dans les normes relatives aux appareils électroménagers utilisés dans les nouveaux bâtiments devraient entraîner des économies d'énergie, des réductions des émissions et des retombées annexes notables et variées. La consommation domestique représente une grande part de la demande mondiale d'énergie, allant jusqu'à 40 % de la consommation totale dans les pays en développement<sup>11</sup>. Dans les trente prochaines années, la migration urbaine dans les pays en développement devrait rendre nécessaire la construction de nombreuses infrastructures de logement et de l'infrastructure énergétique correspondante. Dans certains pays développés, les normes en vigueur ont déjà contribué à stabiliser, voire à réduire, la demande totale d'énergie des bâtiments. L'Union européenne a fixé comme objectif que tous les nouveaux bâtiments aient une consommation d'énergie quasiment nulle d'ici au 31 décembre 2020<sup>12</sup>.

<sup>10</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014, *Changements climatiques 2014: l'atténuation du changement climatique* (Cambridge et New York, Cambridge University Press).

<sup>11</sup> L. Pérez-Lombard, J. Ortiz et C. Pout, 2008, A review on buildings energy consumption information, *Energy and Buildings*, 40(3): 394-398.

<sup>12</sup> Parlement européen et Conseil de l'Union européenne, 2010, Directive 2010/31 sur la performance énergétique des bâtiments, 19 mai, disponible à l'adresse <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:FR:PDF> (consulté le 13 février 2015).

## 2. Offre d'énergie

36. L'extraction de combustibles fossiles non traditionnels tels que les gaz de schiste, les sables bitumineux et le gaz naturel provenant du charbon a considérablement augmenté au cours des dix dernières années, ce qui contribue à étendre sensiblement la durée de vie statique des combustibles fossiles, c'est-à-dire le volume des réserves divisé par la consommation annuelle actuelle. Les sources non traditionnelles sont devenues économiquement intéressantes grâce aux progrès technologiques (forages horizontaux, fracturation hydraulique, puits multilatéraux et appareils de surveillance microsismologique) et à la hausse des prix de l'énergie. Si les réserves non traditionnelles atténuent la hausse des prix des combustibles fossiles, elles ne le feront qu'entre le moyen et le long terme en raison du décalage existant entre la prospection et la production.

37. Les sources d'énergie renouvelables telles que le soleil et le vent sont généralement qualifiées de carbone neutre et peuvent être exploitées de manière décentralisée, rapidement mises en réseau et utilisées pour relier les régions. Toutefois, l'impact de ces sources dans les différentes régions dépend de leur disponibilité au niveau local, qui est un élément clef des coûts de production. De fortes subventions ont été accordées pour développer les sources d'énergie renouvelables, notamment par le biais de subventions publiques directes à la technologie, de tarifications préférentielles et d'un financement extérieur, par exemple pour l'atténuation des changements climatiques. Les technologies relativement bien ancrées exploitant des sources d'énergie renouvelables telles que le biogaz, l'énergie éolienne et l'énergie solaire, devraient arriver à une plus grande maturité, entraînant une baisse des coûts et une diminution des risques d'installation. La production d'énergie à partir de ces sources devrait augmenter de manière notable au cours des prochaines décennies pour représenter jusqu'à 65 % de la production totale d'ici à 2015 contre près de 20 % actuellement<sup>13</sup>.

38. De nombreuses technologies des énergies renouvelables, telles que celles exploitant l'énergie houlomotrice, marémotrice ou géothermique, la biomasse et la fusion nucléaire, n'ont pas encore atteint le stade d'une large commercialisation industrielle. À la faveur de subventions, de conditions économiques avantageuses, de l'acceptation des consommateurs, d'innovations progressives ou de leur plus grande diffusion, ces technologies peuvent aussi se développer. L'innovation peut permettre de réduire de 20 % environ l'intensité énergétique.

## 3. Interface entre la demande et l'offre d'énergie

39. Les sources d'énergie renouvelables posent de nouveaux problèmes à l'interface entre la demande et l'offre, c'est-à-dire en matière de transport, de distribution, de stockage et de prestation de services aux consommateurs. Par exemple, la production intermittente d'électricité à grande échelle exigera soit l'augmentation des capacités de réserve soit l'adoption de mesures de gestion de la demande, afin que l'offre puisse satisfaire la demande. En outre, de nouvelles technologies telles que les panneaux solaires d'un coût abordable ou les microturbines à (bio)gaz peuvent permettre aux consommateurs de devenir aussi des producteurs, transformant les chaînes traditionnelles d'approvisionnement en réseaux. L'un des problèmes les plus difficiles à résoudre en matière de distribution d'électricité consiste donc à gérer le réseau en conciliant production intermittente et décentralisée et production centralisée, et en prenant en compte de manière souple les consommateurs/producteurs et les capacités de stockage. Les trois tendances technologiques ci-après améliorent l'interface: le recours à des systèmes intelligents; le développement de l'infrastructure de transport d'énergie; et le stockage de l'énergie.

<sup>13</sup> Agence internationale de l'énergie, 2014, *Energy Technology Perspectives 2014: Harnessing Electricity's Potential* (Paris).

40. L'essor des services de technologie de l'information et l'exploitation des données massives ont abouti à l'individualisation de l'utilisation de l'énergie par les consommateurs finals. Les dispositifs intelligents qui mesurent la consommation d'énergie, donnent des informations instantanées en retour, s'adaptent au mode de vie de chacun et répondent à l'évolution du réseau énergétique ont tous pour conséquence de rendre la demande plus adaptable aux besoins courants et plus en phase avec l'utilisation de l'énergie. Les systèmes intelligents aident les consommateurs à accroître l'efficacité énergétique grâce à un meilleur transfert de l'information. En outre, l'intégration au réseau d'énergies renouvelables décentralisées est possible grâce à des codes réseau, c'est-à-dire des pratiques opérationnelles qui tiennent compte des interruptions des producteurs d'énergie renouvelable. De nombreux pays adaptent leurs réseaux de transport afin d'être à même d'intégrer une part plus élevée et variable d'électricité produite à partir de sources renouvelables<sup>14</sup>.

41. Le développement d'une infrastructure de transport d'énergie implique des dépenses initiales élevées et exige une viabilité financière à long terme. Il s'agit d'un facteur essentiel de l'intégration des sources d'énergie renouvelables. En Europe, par exemple, il faut mettre en place un réseau électrique à haut voltage qui est capable de relier de manière fiable les sites de production d'électricité à grande échelle à partir de sources renouvelables en mer du Nord (éolien offshore) et en Afrique du Nord (électricité thermique solaire) à des zones de forte demande (principalement les grandes villes européennes). Dans les pays en développement, le recours à des systèmes de production d'électricité hors réseau et décentralisés est prometteur, bien que cela exige des capacités de stockage ou une grande souplesse du côté de la demande afin de faire l'économie de systèmes de transport coûteux et de minimiser les déperditions d'électricité sur le réseau causées par le transport sur de longues distances.

42. De nouvelles technologies de stockage de l'énergie favoriseront dans une large mesure l'intégration des énergies renouvelables, qui peut apporter la souplesse nécessaire à l'approvisionnement des zones rurales. Contrairement aux produits pétroliers et au gaz naturel, les systèmes de stockage joueront un rôle de plus en plus important, en particulier pour l'électricité, car il est difficile de la stocker et une adéquation permanente doit être trouvée entre la production et la consommation d'électricité en l'absence de dispositif tampon sur le réseau. Les systèmes de stockage comprennent des méthodes traditionnelles telles qu'une installation hydroélectrique de pompage, mais aussi des solutions technologiques qui ne sont pas encore disponibles à grande échelle, essentiellement en raison de leur coût: batteries, supercondensateurs, piles combustibles pouvant être alimentées à l'hydrogène, etc.

### **C. La technologie au service de l'atténuation des changements climatiques, de l'adaptation à leurs effets et de la compensation des émissions de carbone**

43. La technologie joue un rôle important dans la lutte contre les changements climatiques et leurs effets, comme l'ont notamment constaté le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat et l'Organisation de coopération et de développement économiques<sup>15</sup>. Les scénarios étudiés par l'Organisation de coopération et de développement économiques définissent différentes voies technologiques pour réduire les émissions et limiter les concentrations à 450 parties par million tout en conservant

---

<sup>14</sup> Agence internationale pour les énergies renouvelables, 2014, *REmap 2030: A Renewable Energy Roadmap* (Abou Dhabi).

le même calendrier de réduction des émissions, mais selon différents scénarios de développement technologique, à savoir:

- 450 action accélérée: Toutes les technologies disponibles sont utilisées pour maintenir le coût de l'atténuation au niveau le plus bas possible, dans les limites fixées par les contraintes en matière de capacité;
- Faible efficacité énergétique et sources d'énergie renouvelables: On suppose que les progrès réalisés en matière d'efficacité énergétique seront moins marqués que dans les hypothèses par défaut du scénario 450 action accélérée en raison d'une amélioration moins sensible et du rôle des facteurs de production et d'une augmentation plus lente de la production d'énergie renouvelable;
- Abandon progressif du nucléaire: On suppose que les installations nucléaires en cours de construction et planifiées jusqu'en 2020 seront construites et raccordées au réseau et qu'après 2020, aucune nouvelle centrale nucléaire ne sera construite, de sorte que la capacité mondiale totale sera réduite d'ici à 2050 du fait de la fermeture prévue des installations existantes;
- Absence de captage et de stockage du carbone: On suppose que les technologies de captage et de stockage du carbone ne seront pas davantage utilisées que dans le scénario 450 action accélérée<sup>16</sup>.

44. À court terme, jusqu'en 2020, toute modification de la panoplie des technologies d'atténuation des changements climatiques devrait avoir des effets limités sur la composition et le volume de l'électricité produite. À plus long terme, jusqu'en 2050, les technologies des énergies renouvelables devraient jouer un rôle croissant et l'électricité ainsi produite devrait satisfaire la moitié environ des besoins des pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques, ainsi que de la Chine, du Brésil, de l'Inde, de l'Indonésie, de la Fédération de Russie et de l'Afrique du Sud, qui utiliseront aussi des centrales nucléaires à forte intensité capitalistique et des centrales thermiques à combustibles fossiles associant captage et stockage du carbone. Selon l'Organisation de coopération et de développement économiques, les «résultats révèlent de fortes complémentarités entre le nucléaire et les combustibles fossiles (avec ou sans captage et stockage du carbone) dans la plupart des régions»<sup>17</sup>. Dans le scénario prévoyant un abandon progressif du nucléaire, la Chine, le Brésil, l'Inde, l'Indonésie, la Fédération de Russie et l'Afrique du Sud en particulier peuvent être confrontés à une production insuffisante d'électricité.

45. La décarbonisation (c'est-à-dire la diminution de l'intensité de carbone) de la production d'électricité est une composante essentielle des stratégies d'atténuation efficaces visant à stabiliser les émissions à des niveaux peu élevés. Les scénarios d'atténuation prévoyant des mesures qui stabilisent les concentrations dans l'atmosphère dans une fourchette allant de 430 à 530 parties par million d'équivalent dioxyde de carbone d'ici à 2100 entraînent des modifications notables des flux annuels d'investissement pendant la période 2010-2029 par rapport aux scénarios de base. Pendant cette période, les investissements annuels dans les technologies traditionnelles exploitant les combustibles fossiles pour la production d'électricité devraient diminuer de 30 milliards de dollars environ, alors que les investissements annuels dans la production d'électricité à faible intensité de carbone (c'est-à-dire provenant de sources renouvelables, du nucléaire et de la production d'électricité avec captage et stockage du carbone) devraient augmenter de 147 milliards de dollars environ<sup>18</sup>.

<sup>15</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014, et Organisation de coopération et de développement économiques, 2012, *Perspectives de l'environnement à l'horizon 2050* (Paris).

<sup>16</sup> Organisation de coopération et de développement économiques, 2012.

<sup>17</sup> Ibid.

<sup>18</sup> Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2014.

46. Les émissions de gaz à effet de serre provenant de la production d'énergie peuvent être réduites de manière notable en remplaçant les centrales thermiques fonctionnant actuellement au charbon par des centrales modernes à cycle combiné et d'une grande efficacité fonctionnant au gaz naturel ou par des centrales de production combinée de chaleur et d'électricité, à condition que l'on dispose de gaz naturel et que les émissions fugaces liées à l'extraction et à la production soient faibles ou atténuées. Dans les scénarios d'atténuation prévoyant des concentrations dans l'atmosphère de 450 parties par million d'équivalent dioxyde de carbone environ d'ici à 2100, la production d'électricité à partir du gaz naturel sans captage ni stockage du carbone joue le rôle de technologie de transition, dont l'utilisation devrait augmenter avant d'enregistrer un pic, puis revenir à des niveaux inférieurs aux niveaux actuels d'ici à 2050 et diminuer encore dans la deuxième moitié du siècle.

47. Les centrales électriques associant captage et stockage du carbone devraient devenir compétitives autour de 2030 et accroître leur compétitivité d'ici à 2050 dans les pays membres de l'Organisation de coopération et de développement économiques, ainsi qu'en Chine, au Brésil, en Inde, en Indonésie, en Fédération de Russie et en Afrique du Sud. Dans le scénario prévoyant zéro captage et stockage du carbone, la transition à des technologies de remplacement, notamment aux sources d'énergie renouvelables, entraînerait probablement une hausse du prix de l'électricité et une modification des modes de consommation. Dans chaque scénario, les améliorations des technologies et la hausse de la productivité auront de fortes incidences sur les possibilités d'atténuer les changements climatiques qu'offre le bouquet énergétique.

## **D. Les technologies convergentes**

48. L'histoire du progrès technologique atteste que, souvent, le changement n'est pas linéaire mais exponentiel. La dynamique vient de plus en plus de la convergence des technologies<sup>19</sup>. L'accélération du changement technologique peut aussi aboutir à des avancées susceptibles d'influer sur les secteurs économiques où le changement a été historiquement plus lent, notamment l'énergie et les transports. Les sections ci-après portent sur trois domaines de convergence – les biotechnologies, les nanotechnologies ainsi que les matériaux et les procédés de fabrication de pointe – recensés à l'occasion de l'exercice de prospective organisé par le secrétariat de la Commission pour déterminer les technologies susceptibles de changer la donne dans le cadre de la réalisation des objectifs de développement durable.

### **1. Tendances et applications des biotechnologies**

49. Les progrès récemment accomplis dans l'aptitude à manipuler et à modifier les systèmes vivants ont permis d'apporter des améliorations dans les domaines du contrôle de la santé, de la lutte contre les maladies, des traitements thérapeutiques et des appareils de prothèse et ont donné la possibilité de produire des organismes spécialement conçus. Les réactions à ces tendances varient beaucoup dans le monde: des pays et des régions choisissent de se développer plus lentement en raison de questions éthiques et de craintes liées aux risques environnementaux alors que d'autres s'engagent dans un mode de développement plus rapide. D'ici à 2020, les applications biotechnologiques ci-après seront techniquement réalisables:

- La réalisation de plusieurs essais biologiques sur un seul échantillon en même temps, ce qui permettra d'identifier rapidement les analystes à partir de très petites quantités de matériaux, à des fins aussi bien de diagnostic médical que d'évaluation médico-légale;

---

<sup>19</sup> R. Silbergitt, *et al.*, 2006.

- La pratique d'une médecine personnalisée, s'appuyant sur de grandes bases de données relatives aux patients et à leur état de santé, ainsi que l'aptitude à séquencer rapidement et en parallèle des gènes;
- La conception d'insectes génétiquement modifiés, notamment de parasites qui produisent une descendance stérile ou qui ne portent ou ne transmettent aucun vecteur de maladie;
- La large diffusion des capacités de cultiver des denrées alimentaires de base génétiquement modifiées, dont l'impact serait particulièrement notable dans le monde en développement;
- L'aptitude à concevoir et à tester de nouveaux médicaments grâce à des simulations informatiques ainsi que de nouvelles capacités de tester les effets secondaires préjudiciables sur des systèmes types assemblés sur des puces d'ordinateur;
- L'application de traitements médicamenteux ciblés à des organes ou des tumeurs grâce à la reconnaissance moléculaire;
- La mise au point d'implants et de prothèses qui reproduisent les fonctions biologiques, rétablissent les fonctions essentielles d'organes ou de tissus existants, voire améliorent ces fonctions<sup>20</sup>.

50. Ces tendances technologiques devraient rendre les soins de santé plus individualisés, prévisibles, économiques et faciles d'accès, y compris dans les zones reculées. Si certaines nouvelles technologies peuvent rendre les traitements plus complexes et plus chers, d'autres donneront lieu à des traitements moins chers, plus efficaces et accessibles au plus grand nombre. Des exemples de ces applications sont les thérapies médicamenteuses ciblées et les méthodes diagnostiques et chirurgicales de plus en plus précises qui utilisent des matériaux et des processus biologiques.

51. Les mécanismes de financement fondés sur la science citoyenne, le financement participatif et les investissements providentiels sont conçus pour mettre en place une médecine individualisée, prédictive, préventive et participative dans le monde en développement. L'aide au développement peut s'efforcer d'appuyer ces mécanismes novateurs, afin d'aider les pays en développement à tirer pleinement parti des ouvertures technologiques, telles que l'informatique de santé, et à renforcer leurs écosystèmes d'innovation biotechnologique.

## 2. Tendances et applications des nanotechnologies

52. Les nanotechnologies, c'est-à-dire la recherche-développement scientifique à l'échelle nanométrique et les technologies qui en découlent, sont un domaine en plein essor dans le monde entier; cet intérêt planétaire est fondé sur la conviction que l'aptitude à comprendre et à influencer les interactions atomiques et moléculaires à l'échelle nanométrique sont une condition préalable et favorable à l'acquisition de toute une série de capacités technologiques, allant de matériaux intelligents à multiples fonctions à des médicaments spécialement conçus en passant par de nouvelles générations de systèmes d'information et de communication<sup>21</sup>. Les applications ci-après des nanotechnologies seront réalisables d'ici à 2020:

- La mise au point de nouvelles familles de capteurs chimiques et biologiques sélectifs et très sensibles;
- L'amélioration de la gestion et des capacités des batteries;

<sup>20</sup> Ibid.

<sup>21</sup> Ibid.

- Le port de capteurs individuels, surtout par les militaires et les urgentistes;
- L'incorporation de puces à des biens commerciaux (technique qui existe déjà et qui devrait se généraliser);
- Le port de dispositifs individuels de surveillance médicale dotés de fonctions d'enregistrement et de communication;
- La mise au point de nanostructures fonctionnelles destinées à contrôler l'administration de médicaments et à améliorer le fonctionnement d'implants et d'appareils de prothèse;
- Le développement de l'aptitude à mettre en place une surveillance et un suivi généralisés de l'homme et de l'environnement<sup>22</sup>.

53. Les nanotechnologies sont particulièrement pertinentes car les propriétés des matériaux changent lorsque leur taille diminue. L'aptitude à concevoir et à produire des matériaux ainsi que des structures et des dispositifs de plus en plus complexes à l'échelle atomique ou moléculaire offre ainsi de nombreuses solutions qui peuvent considérablement renforcer la capacité de déceler toute dégradation de l'environnement et d'y remédier. Parmi les exemples de nanotechnologies figurent les technologies de conversion et de stockage de l'énergie telles que les photopiles sensibles aux colorants. Il est probable que les nanomatériaux permettent de mettre au point des matériaux de construction fonctionnels tels que du béton dépolluant et autonettoyant.

### **3. Tendances et applications des matériaux et des procédés de fabrication de pointe**

54. Le domaine multidisciplinaire des matériaux de pointe s'est développé au cours des dernières décennies en intégrant la physique, la chimie, la métallurgie, la céramique, la science polymérique et, plus récemment, la biologie, pour devenir une source précieuse de progrès technologiques. Les matériaux de pointe permettent d'utiliser un grand nombre d'applications biotechnologiques et nanotechnologiques. Compte tenu des progrès constants accomplis dans la science, la conception et la fabrication de matériaux, les applications ci-après peuvent être réalisables d'ici à 2020:

- La fabrication de tissus qui incorporent des sources électriques, de l'électronique et de la fibre optique;
- Le port de vêtements qui répondent aux stimuli extérieurs tels que les variations de température ou la présence de substances spécifiques;
- La fabrication à la demande de composants et de petits produits répondant aux spécifications de particuliers ou d'entreprises (initialement limitée à des articles peu complexes);
- L'adoption généralisée de méthodes de fabrication écologiques qui réduisent sensiblement l'utilisation de matériaux dangereux dans le commerce et le volume des déchets dangereux;
- La production de revêtements nanostructurés et de matériaux composites dont la solidité, la dureté ainsi que la résistance à l'usure et à la corrosion sont grandement renforcés;
- Le recours à l'électronique organique pour accroître la luminosité des systèmes d'éclairage et des écrans;

---

<sup>22</sup> Ibid.



- La production en série de photopiles utilisant des matériaux composites, en partie nanostructurés, organiques ou biomimétiques;
- La mise en place de systèmes de purification et de dépollution de l'eau reposant sur des membranes activées et des filtres nanostructurés;
- L'utilisation de catalyseurs spécialement conçus pour les procédés chimiques, combinant rapidité de numération et identification des matériaux;
- La production spéciale de tissus multifonctionnels *in vivo* à partir de structures biodégradables (probablement limitée initialement à certains types de tissus et d'organes)<sup>23</sup>.

55. Les avancées enregistrées dans la science des matériaux sont souvent suivies de la création de produits innovants. Dans les années qui viennent, des technologies de rupture devraient voir le jour dans les domaines des nanomatériaux (tels que le graphène, les nanotubes en carbone et les nanoparticules), de la photonique et des circuits tridimensionnels, de la mémoire universelle et des matériaux multicouches, sur lesquels se fondent les produits et les procédés des technologies de l'information et de la communication.

56. Tous les aspects de la production, allant de la recherche-développement à l'innovation, aux processus de production, aux interdépendances entre fournisseurs et clients ainsi qu'à l'entretien et à la réparation des produits pendant leur cycle de vie, devraient être marqués par une adaptabilité constante. Les produits et procédés seront durables; à la fin de leur vie utile, les produits seront intrinsèquement réutilisables, pourront être réincorporés dans le processus de fabrication et seront recyclables. Des systèmes à circuit fermé permettront d'éliminer les déchets de la production d'énergie et les eaux usées et de recycler les déchets matériels. Les avancées enregistrées dans la science des matériaux, la microélectronique et les technologies de l'information, les biotechnologies et les nanotechnologies influenceront profondément sur la production et aideront les fabricants à surmonter les problèmes à venir.

57. D'ici à 2020, les techniques de production verte proposeront probablement diverses solutions plus écologiques pour remplacer les procédés de fabrication qui utilisent ou produisent actuellement des matières dangereuses. Elles devraient permettre aux fabricants d'être capables de maintenir leur production dans un cadre réglementaire plus strict tout en consommant moins de ressources non renouvelables, en créant moins de déchets dangereux et en réduisant les incidences de leurs activités sur l'environnement. La fabrication additive (impression en trois dimensions) contribuera à réduire le temps de transport sur de longues distances de produits ou de composants qui sont actuellement fabriqués en série, et peut transférer la production industrielle des zones périurbaines aux centres-villes.

58. Il est important de noter que les matériaux et les techniques de fabrication de pointe en sont à leurs balbutiements. Leurs incidences à long terme, en particulier sur les chaînes de valeur, sont un thème de recherche qui n'a pas encore été étudié.

## E. Urbanisation et habitat<sup>24</sup>

59. Les villes sont des marchés et des lieux d'innovation. Elles sont à l'avant-garde de la création de richesses économiques car la plupart des innovations et des emplois rémunérés se trouvent dans des zones urbaines. L'urbanisation est donc un facteur de développement économique non seulement pour les villes mais aussi pour les régions alentour ou les pays

<sup>23</sup> Ibid.

<sup>24</sup> Pour un examen approfondi de ce sujet, voir E/CN.16/2013/2.

voisins. La croissance économique des villes et les améliorations de l'infrastructure sont des facteurs avérés d'intensification des migrations urbaines. En outre, les villes sont un excellent exemple de systèmes sociaux et techniques où les facteurs techniques et socioéconomiques évoluent de pair. Par exemple, l'urbanisation est intimement liée à la mobilité, à l'exploitation des ressources naturelles et à l'énergie. La présente section illustre la manière dont les nouvelles technologies interagissent avec ces tendances.

60. Selon le Département des affaires économiques et sociales de l'ONU, d'ici l'année 2050, la part de la population mondiale vivant dans les zones urbaines augmentera pour atteindre environ 66 %, sous l'effet de l'urbanisation en Asie, en Amérique latine et, en particulier, en Afrique<sup>25</sup>. Dans de nombreuses régions, les villes moyennes devraient se développer plus rapidement que les mégapoles de plus de 10 millions d'habitants. Une tendance lourde est l'extension des zones urbaines; les efforts déployés pour promouvoir une réurbanisation du centre-ville, aussi appelée densification ou développement de villes compactes, ne contrebalanceront probablement pas cette tendance à la banlieusarisation et la périurbanisation, bien que des effets notables puissent être obtenus en construisant dans des zones urbaines compactes des infrastructures pour la prestation de divers services tels que le logement, l'assainissement, les soins de santé ou l'accès à l'électricité.

61. Il est de plus en plus complexe d'acheminer des biens et d'allouer des ressources dans les zones urbaines. Alors qu'auparavant, la plupart des denrées alimentaires et autres biens de consommation destinés à la ville étaient produits aux alentours, les grandes villes d'aujourd'hui sont intégrées dans des réseaux de commerce international. Si la dépendance des zones urbaines à l'égard des zones rurales avoisinantes diminue, leur dépendance à l'égard des marchés mondiaux ne cesse de croître.

62. L'urbanisation peut tirer parti des tendances technologiques dans les trois domaines suivants: information et communication; véhicules et moteurs, matériaux, infrastructures et exploitation; autosuffisance.

63. Les autorités municipales devraient avoir accès à des technologies de l'information et de la communication de plus en plus perfectionnées (par exemple, à des systèmes d'information géographique) afin de gérer et de visualiser en temps réel ou presque de larges quantités de données relatives au développement de la ville, recueillies à l'aide notamment de capteurs, de satellites et de dispositifs mobiles d'externalisation ouverte. Ces technologies optimiseront aussi les systèmes de transport grâce à des applications de mobilité de masse, notamment de régulation du flux de la circulation et de gestion de la flotte, et aux technologies automobiles intelligentes. Dans les transports publics, la délivrance et le paiement électroniques de billets amélioreront les services, entraînant une hausse du taux d'utilisation des capacités. Enfin, les cartes, applications et services de voyage intelligents devraient associer différents services publics et privés, par exemple des initiatives privées de covoiturage, débouchant sur une mobilité sans rupture.

64. Les avancées technologiques enregistrées dans l'automobile et les moteurs devraient contribuer à améliorer les transports et la mobilité, notamment grâce à des trains à grande vitesse et à des véhicules autonomes, à des automobiles électriques, hybrides et économes en carburant, à des matériaux légers, à des nanosolutions pour les batteries ou les moteurs et à des techniques permettant de réduire la mobilité physique, comme celles utilisées pour la communication ou la virtualisation, voire l'impression en trois dimensions.

65. L'agriculture urbaine, s'appuyant en partie sur les biotechnologies ou organisée en structures à plusieurs étages grâce aux techniques de construction, peut réduire le volume des denrées alimentaires provenant des zones rurales et accroître l'autosuffisance

---

<sup>25</sup> Département des affaires économiques et sociales de l'ONU, 2014, *World Urbanization Prospects* (New York, publication des Nations Unies).

des populations urbaines. De nouvelles technologies telles que l'énergie solaire ou éolienne peuvent réduire la dépendance des villes à l'égard des zones rurales avoisinantes sur le plan énergétique, en permettant de produire de l'énergie en milieu urbain. En outre, une meilleure isolation thermique des bâtiments permet de réduire le recours aux combustibles fossiles.

### **III. Enseignements tirés de l'exercice de prospective et des travaux de la recherche prévisionnelle**

66. L'exercice de prospective organisé par le secrétariat de la Commission et les travaux de recherche prévisionnelle menés pour les besoins du présent rapport ont permis de recenser un ensemble de technologies qui sont susceptibles de contribuer au développement, en particulier dans le cadre du programme de développement pour l'après-2015. Les enseignements tirés ont permis de dégager quatre orientations, qui sont examinées en détail dans le présent chapitre.

#### **1. Les choix technologiques dépendent de la situation du pays**

67. Tous les pays ne sont pas confrontés aux mêmes enjeux; chaque pays a atteint un stade de développement différent et possède des capacités, une culture et des priorités différentes en matière de technologie. En outre, il faut garder à l'esprit que, d'une technologie à l'autre, de grandes différences existent entre les capacités de mise en œuvre, les dépenses d'investissement et l'impact à long terme. Les décideurs doivent évaluer les technologies en se demandant si celles-ci sont adaptées à la situation et pertinentes. Leurs choix devraient être fondés sur les besoins socioéconomiques et le contexte culturel propre à leur pays, d'autant que certaines technologies pourraient contribuer à la réalisation de nombreux objectifs de développement durable.

#### **2. Les technologies ne peuvent à elles seules contribuer au développement**

68. Le progrès technologique ne se traduit pas nécessairement par un développement. Par exemple, la convergence découlant des technologies de l'information et de l'électrification est susceptible d'apporter des solutions dans les domaines de l'agriculture, des soins de santé et de la bonne gouvernance. Toutefois, ces solutions technologiques ne se traduisent pas nécessairement par la fin des inégalités sociales et peuvent même, dans certains cas, accroître les inégalités. L'intervention des pouvoirs publics est donc nécessaire pour éviter de créer de nouvelles inégalités ou d'aggraver celles qui existent.

69. Les politiques mises en œuvre doivent s'attaquer au déficit d'infrastructures, en particulier de celles dont les nouvelles technologies ont besoin – accès à l'électricité et aux technologies de l'information et la communication notamment – et encourager les travaux de recherche transdisciplinaires et interdisciplinaires en fonction des résultats des études prévisionnelles sur les technologies. Une attention particulière devrait aussi être accordée à la création de capacités car les pays doivent avoir les moyens de connaître et de mettre à profit les effets bénéfiques des progrès scientifiques et technologiques. En outre, les technologies doivent s'accompagner de modifications comportementales et d'incitations, afin d'avoir un impact notable. Les incitations monétaires et non monétaires, ainsi que les mesures d'information, peuvent contribuer à modifier le comportement. Par exemple, les émissions peuvent être sensiblement réduites en modifiant les modes de consommation, en changeant le régime alimentaire et en réduisant le gaspillage alimentaire.

### **3. Le rôle des technologies convergentes s'accroît**

70. Il ressort de l'analyse de l'évolution des technologies réalisée au chapitre II que les technologies convergentes jouent un rôle croissant. Les technologies de l'information et de la communication sont les principaux facteurs de cette convergence et sont de plus en plus présentes dans divers domaines sociaux et économiques, notamment la production alimentaire, la mobilité, l'organisation, l'approvisionnement en énergie et la santé. Leur application peut être généralisée à divers aspects, allant de l'agriculture à l'approvisionnement en énergie en passant par l'urbanisation. Il s'agit d'une question qui mérite d'être examinée par les décideurs.

### **4. La collaboration peut contribuer à faire avancer l'analyse prévisionnelle des tendances technologiques dans les pays en développement**

71. La collaboration régionale et internationale joue un rôle important dans le développement de l'analyse prévisionnelle des tendances technologiques dans les pays en développement. Les pays appartenant à une même région gagneraient à utiliser les mécanismes institutionnels régionaux, à mettre en commun les ressources disponibles et à optimiser leur impact grâce à des analyses prévisionnelles conjointes, afin de s'attaquer aux problèmes communs. Les pays qui n'appartiennent pas à la même région mais qui font face à des problèmes analogues en matière de développement, par exemple les pays en développement sans littoral, les pays les moins avancés et les petits États insulaires en développement, peuvent envisager de lancer des initiatives conjointes en matière d'analyse prévisionnelle. Il est important de favoriser l'échange d'expériences entre les pays en développement et les pays qui ont réussi à résoudre des problèmes analogues par le passé.

## **IV. Conclusions et propositions**

72. Le présent chapitre contient une série de questions essentielles qu'il est proposé à la Commission d'examiner et qui s'inspire des conclusions formulées par le groupe d'étude intersessions 2014-2015, notamment lors des débats d'experts tenus à l'occasion du café de l'analyse prévisionnelle stratégique et de l'exercice de prospective.

### **1. Conclusions**

73. Le groupe d'étude a formulé les conclusions suivantes:

a) L'analyse prévisionnelle stratégique a évolué au cours des dernières décennies pour se transformer en un processus participatif auquel les pays et les régions recourent de plus en plus pour recueillir des renseignements sur les tendances à venir afin que l'allocation des ressources permette aux sociétés de s'y préparer. Les méthodes et mécanismes institutionnels utilisés diffèrent en fonction des objectifs précis de l'exercice de prospective;

b) Il ressort que plusieurs nouvelles technologies influent grandement sur le programme de développement pour l'après-2015, notamment dans les domaines des ressources naturelles, de l'énergie durable, de l'atténuation des changements climatiques, de l'adaptation à ces changements et de la compensation des émissions de carbone, de la convergence des technologies, de la santé et de la résilience aux catastrophes, de l'urbanisation et de l'habitat ainsi que des transports durables et de la mobilité. Ces technologies n'ont pas automatiquement des effets bénéfiques sur la société et l'intervention des pouvoirs publics est nécessaire pour éviter l'apparition de nouvelles inégalités;

c) La convergence des technologies, qui est essentiellement stimulée et facilitée par les technologies de l'information et de la communication, rend nécessaire l'adoption d'approches transdisciplinaires et interdisciplinaires lorsque l'on répond à des problèmes sociétaux complexes en faisant appel à la STI;

d) L'analyse prévisionnelle des tendances technologiques peut aider les décideurs à mieux comprendre les tendances qui ne sont pas durables et contribuer à l'exécution du programme de développement pour l'après-2015 en prenant régulièrement en compte ses résultats. Les tendances technologiques devraient être analysées à la lumière des tendances socioéconomiques plus générales, afin de déterminer leur impact sur la société;

e) L'analyse prévisionnelle des tendances technologiques peut aider à anticiper la politique de l'innovation et les besoins d'investissement du secteur privé, en particulier en ce qui concerne les infrastructures essentielles nécessaires au développement durable et à la réalisation des objectifs de développement durable. L'analyse prévisionnelle permet de comprendre la dynamique du changement, les enjeux et les choix à venir ainsi que les nouvelles idées, afin que les décideurs en tiennent compte lors de l'élaboration des politiques;

f) L'analyse prévisionnelle devient de plus en plus un exercice multipartite essentiel pour comprendre et concevoir les choix stratégiques à faire face aux enjeux mondiaux complexes d'aujourd'hui, qui sont difficiles à définir, exigent de nouveaux modes de pensée, brouillent les responsabilités, dépassent les frontières nationales et rendent nécessaire une approche à long terme;

g) La formation professionnelle peut grandement contribuer à préparer la main-d'œuvre à des technologies de rupture. Des stratégies appropriées peuvent être élaborées à la fois pour la formation professionnelle initiale et pour la formation en cours d'emploi. Pour que la formation professionnelle obtienne des résultats notables, il est indispensable d'instaurer des partenariats entre les universités, les organisations non gouvernementales et le secteur privé.

## 2. Propositions

74. La Commission voudra peut-être examiner les propositions ci-après:

a) Partager les conclusions formulées sur la STI, les technologies de l'information et de la communication et leurs incidences au sein du Forum politique de haut niveau pour le développement durable, dans le Rapport mondial sur le développement durable et dans les processus relatifs à la mise en œuvre des objectifs de développement durable;

b) Mettre en place un portail de connaissances afin de partager les examens collégiaux des analyses prévisionnelles réalisées aux niveaux national et régional, ce qui aiderait les États membres à cerner les tendances à venir et les partenariats stratégiques potentiels;

c) Contribuer au renforcement des capacités, à la sensibilisation et à l'étude des impacts pour les besoins des analyses prévisionnelles des États membres;

d) Encourager la CNUCED à faire en sorte que les examens de la politique de la science, de la technologie et de l'innovation accordent davantage d'importance à l'analyse prévisionnelle stratégique, éventuellement en consacrant un chapitre à ce thème.

75. Les États membres voudront peut-être envisager:
- a) D'intégrer pleinement la STI dans les plans nationaux de développement socioéconomique et de veiller à ce que les objectifs en matière de STI soient déterminés par les besoins de la société, au lieu d'analyser les tendances de la STI en vase clos;
  - b) De recourir à l'analyse prévisionnelle stratégique afin de déceler les lacunes potentielles de l'éducation à moyen et à long terme et d'y remédier grâce à une panoplie de mesures portant notamment sur la formation professionnelle, les activités de conseil, le libre accès ainsi que la définition de quotas et d'objectifs visant à encourager les étudiants à s'inscrire en science, technologie, ingénierie et mathématiques;
  - c) De renforcer la formation professionnelle afin de préparer les sociétés aux technologies de rupture en mettant en place des établissements nationaux de formation professionnelle spécialisés, en renforçant la coopération entre les établissements de formation professionnelle et l'industrie et en finançant des structures de formation, des programmes d'échange d'étudiants et l'acquisition de matériel;
  - d) De se servir de l'analyse prévisionnelle comme d'un processus destiné à encourager un débat structuré entre tous les acteurs, notamment les représentants des pouvoirs publics, de la science, de l'industrie, de la société civile et du secteur privé (en particulier les petites et moyennes entreprises), afin que les questions à long terme soient comprises de tous et qu'un consensus se dégage sur les politiques à mettre en œuvre;
  - e) De lancer des analyses prévisionnelles stratégiques sur les enjeux mondiaux et régionaux à intervalles réguliers;
  - f) D'utiliser les mécanismes régionaux existants pour amorcer une coopération en matière d'études prévisionnelles, en particulier afin d'apprendre de l'expérience des pays qui ont surmonté les obstacles au développement grâce à la STI et aux technologies de l'information et de la communication, et de s'attaquer collectivement aux enjeux communs;
  - g) De coopérer à la mise en place d'un système d'inventaire destiné à partager les résultats des analyses prévisionnelles des tendances technologiques avec les autres États membres de la Commission.
-