



---

**Commission économique pour l'Europe****Comité de l'énergie durable****Groupe d'experts des systèmes de production  
moins polluante d'électricité****Seizième session**

Genève, 23 et 24 novembre 2020

Point 4 de l'ordre du jour provisoire

**Atteindre la neutralité carbone****Le rôle des technologies de l'information et  
de la communication dans la transition vers  
des bâtiments à haut rendement énergétique  
et des villes intelligentes et durables****Note du secrétariat****I. Introduction**

1. Le présent document vise à ouvrir un débat, d'abord au sein du Groupe d'experts des systèmes de production moins polluante d'électricité, puis au sein du Comité de l'énergie durable, sur les implications du progrès des technologies de l'information, qui contribuent et contribueront encore à mettre l'énergie au service du développement durable en permettant ou en améliorant :

- a) Le suivi ;
- b) La communication ;
- c) La gestion et l'analyse des données ;
- d) La coordination des interventions en temps réel ;
- e) L'établissement de prévisions ;
- f) La gestion globale des systèmes ;
- g) L'optimisation de l'interconnexion entre secteurs ;
- h) La gestion des mesures à long terme ;
- i) La prise de décisions d'investissement complexes.

2. La principale question pour le Groupe d'experts, et donc pour le Comité, est de savoir si la Commission économique pour l'Europe (CEE) doit s'employer à accélérer l'adoption des nouvelles technologies ou plutôt prévenir d'éventuels risques en élaborant et



en mettant en œuvre des instruments normatifs, par exemple des pratiques optimales ou des règles.

3. Un certain nombre de termes sont utilisés pour décrire l'éventail des technologies qui sous-tendent le progrès de la gestion de l'information, l'une des tendances lourdes de notre époque :

a) La **dématérialisation** désigne le fait de convertir des informations au format numérique pour faciliter la collecte, le traitement, la transmission, le partage, le stockage et la consultation efficaces des données ;

b) La **numérisation** désigne le fait d'utiliser les technologies et les données numériques pour moderniser les méthodes de travail, transformer l'interaction entre parties prenantes et créer de nouveaux modèles commerciaux ;

c) Les **technologies de l'information et de la communication (TIC)** désignent tout appareil de communication ou de gestion de données, y compris les caméras, les écrans, les microphones, les dispositifs Bluetooth, les radios, les téléviseurs, les téléphones portables, les ordinateurs, le matériel réseau, les dispositifs de stockage et de gestion de données et les systèmes satellitaires, ainsi que les services et applications connexes. Ces appareils et leurs applications transforment radicalement la façon dont interagissent les personnes, les organisations et même les objets ;

d) L'**intelligence** des technologies (appliquée aux villes, aux autoroutes, aux réseaux, aux maisons, etc.) ne désignait auparavant que le suivi, l'analyse et la remontée de l'information, mais aujourd'hui, elle englobe également l'automatisation ;

#### *L'évolution des technologies de la communication*

*Le monde numérique en est aujourd'hui à sa cinquième génération de technologies de la communication (5G). La première génération, apparue dans les années 1980, désignait des technologies cellulaires sans fil fondées sur des normes de télécommunication analogiques. Les réseaux mobiles de deuxième génération étaient numériques et pouvaient accueillir plusieurs utilisateurs sur un même canal. La troisième génération de technologies de communication sans fil a vu l'arrivée des réseaux GPRS (2,5G), qui permettaient un transfert plus rapide des données. La quatrième génération a permis l'utilisation de protocoles Internet aux fins de la transmission de données vocales et l'accès à l'Internet à haut débit sans connexion à un réseau wi-fi. Le réseau 5G vise à connecter pratiquement tout et tout le monde, y compris les machines, les objets et les appareils. Il offre des vitesses plus élevées tout en étant plus fiable, plus puissant et plus accessible.*

e) L'**Internet des objets** désigne l'interconnexion, via Internet, de dispositifs intégrés dans des objets du quotidien, qui peuvent envoyer et recevoir des données.

4. Les technologies de l'information, dans leurs acceptions les plus larges, connaissent un vif essor. L'intelligence artificielle, la gestion des données géospatiales, l'automatisation et d'autres avancées sous-tendent un progrès technologique de plus en plus rapide. Dans les foyers, les villes, les systèmes de transport et les réseaux, notamment, les appareils interconnectés et intelligents se multiplient. Les robots (y compris les drones) deviennent de plus en plus intelligents et mobiles. Le progrès technologique renforcera la résilience des systèmes grâce à l'automatisation des processus de découverte, de rectification, d'adaptation et de réparation. Parallèlement, cette résilience sera mise à l'épreuve par des pirates informatiques dotés de moyens plus sophistiqués, qui perturberont les systèmes et constitueront une menace pour la cybersécurité.

5. Les retombées de l'essor technologique iront bien au-delà de simples gains d'efficacité sur les plans économique et technique. Elles se feront sentir à de nombreux niveaux, y compris au niveau individuel, à l'échelle du foyer, de la communauté et de la ville, ainsi qu'aux échelons national, régional et international. Comme on a pu l'observer pendant la pandémie de COVID-19, la coordination et la connectivité transforment l'organisation du quotidien, y compris du travail, de l'école et d'autres activités. On ne connaît pas encore toutes les implications de ces transformations. La « tribu » ou la communauté d'une personne se définit de plus en plus par l'appartenance à des réseaux virtuels et de moins en moins par la localisation géographique. Cette évolution a une incidence positive sur l'égalité des genres, l'égalité sociale, l'élimination de la pauvreté et les conditions de travail, notamment. Malheureusement, tous ses effets ne sont pas bénéfiques. Une plus grande connectivité peut donner lieu à des atteintes à l'intimité de la vie privée ou à des situations d'autoségrégation dans des réseaux ghettoïsés de personnes malveillantes aux vues analogues. Si les risques peuvent être maîtrisés, le renforcement des performances, de l'efficacité et de la transparence devrait permettre d'améliorer l'expérience des utilisateurs, mais aussi de créer et de connecter de nouveaux secteurs.

6. Dans le secteur de l'énergie, le progrès technologique renforcera considérablement les capacités d'intégration de nouveaux acteurs (consommateurs mieux informés, prestataires de services supplémentaires, etc.) et de nouveaux modèles commerciaux (sources d'énergies renouvelables intermittentes, production décentralisée, etc.). L'automatisation des processus de détermination et d'adaptation des prix augmentera l'élasticité de la demande par rapport aux prix. Les avancées technologiques accéléreront l'évolution des modèles commerciaux et les changements dans les forces en présence à mesure que les obstacles à l'entrée et à la sortie seront supprimés et que des quantités énormes d'informations exploitables seront mises à disposition.

7. Le présent document offre un aperçu de l'utilisation des TIC dans les maisons, dans les systèmes de transport et dans les villes, explique comment les TIC peuvent contribuer à mettre l'énergie au service du développement durable, décrit les enjeux et les lacunes à cet égard, et prépare le terrain à un débat sur le rôle que la CEE pourrait jouer dans ce domaine.

## II. Applications

### A. Bâtiments intelligents à haut rendement énergétique

8. La domotique désigne les technologies d'automatisation utilisées dans les maisons dites « intelligentes »<sup>1</sup>. Ces technologies permettent de contrôler l'éclairage, la température, les appareils multimédias et divers autres dispositifs. Elles peuvent aussi englober certains équipements de sécurité, notamment des alarmes et des systèmes de contrôle de l'accès à une propriété. Lorsqu'ils sont connectés à Internet, les appareils de domotique, pris séparément et collectivement, constituent une composante importante de l'Internet des objets. Généralement, un système de domotique relie les appareils à un dispositif central ou « passerelle ». Il peut être contrôlé soit depuis un terminal (tablette, ordinateur ou téléphone portable), soit depuis une interface Web, qui peut également être accessible depuis l'extérieur via Internet. Le contrôle peut être automatisé de sorte que le système soit ajusté soit en fonction de paramètres internes tels que la température, l'humidité et la qualité de l'air, soit en fonction de paramètres externes tels que la qualité de l'environnement ou les prix du marché. De nombreux fournisseurs concurrents proposent des appareils de domotique, mais il existe très peu de normes reconnues au niveau mondial, et le secteur est très fragmenté.

9. Les propriétaires et gestionnaires de bâtiments peuvent utiliser des outils d'analyse de données, des capteurs de haute technicité et des technologies ultramodernes pour contrôler l'environnement intérieur de leurs bâtiments et l'efficacité de leurs systèmes. Des algorithmes et des techniques d'apprentissage automatique permettent d'anticiper des problèmes tels que la moisissure, et donc de planifier des interventions préventives avant

<sup>1</sup> <https://fr.wikipedia.org/wiki/Domotique>.

que les coûts de réparation ne deviennent trop importants ou que les préoccupations de santé ne s'aggravent. Quant à la gestion de bâtiments à distance, la domotique limite considérablement le nombre de visites nécessaires et réduit les émissions de carbone tout en contribuant à repérer et à aider les occupants vulnérables qui pourraient se trouver en situation de précarité énergétique. L'efficacité des capteurs dont sont équipés les bâtiments connectés peut être optimisée au moyen de conseils sur l'efficacité énergétique, de recommandations et de contrôles programmables. La révolution numérique va vraisemblablement s'accélérer étant donné que les entreprises et les administrations tant locales que nationales auront de plus en plus souvent recours à des solutions technologiques pour remédier aux conséquences sanitaires et économiques à long terme de pandémies telles que celle que nous traversons.

10. Le contrôle des bâtiments à distance en temps réel prouve que les projets de renforcement de l'efficacité énergétique contribuent sensiblement au maintien en état des bâtiments, sont bénéfiques pour la santé des habitants et permettent à ceux-ci de faire des économies. L'intérêt de ces projets est donc à la fois financier et sanitaire. Les avantages des technologies de l'information vont bien au-delà des économies directes. On peut notamment citer les suivants :

a) Le contrôle précis de l'état d'un bâtiment en temps réel, grâce auquel les gestionnaires peuvent effectuer des opérations de maintenance à titre préventif. Les interventions préventives sont en moyenne cinq fois moins coûteuses que les mesures prises a posteriori ;

b) L'accès instantané à l'information, qui permet d'alléger les formalités administratives, d'améliorer la communication, de réduire le nombre de visites et de mieux cibler celles-ci ;

c) L'accès aux données, grâce auquel les sociétés d'assurance et les institutions financières peuvent faire davantage confiance aux gestionnaires de bâtiments et éventuellement abaisser le montant des primes ;

d) Le partage des données, qui peut guider les consommateurs dans la conception de leur habitation, y compris dans le choix des systèmes et des matériaux ;

e) La détection précoce de potentiels problèmes, qui préserve la santé des occupants, contribue au maintien en état des bâtiments et accroît ainsi la valeur de ces derniers.

11. Le fait de bien régler le chauffage et la ventilation des bâtiments et d'installer un système de filtrage efficace réduit les risques d'allergies et de transmission de maladies. Les virus se propagent plus facilement dans les espaces clos, et une mauvaise ventilation dans une pièce donnée, conjuguée à une trop grande concentration de personnes, augmente le nombre de particules virales et favorise leur accumulation. Il semblerait que des températures basses, qui peuvent être dues à un chauffage inadéquat ou à une mauvaise isolation, réduisent l'immunité aux virus. Les gains les plus significatifs sur le plan de la santé sont obtenus par la prévention, en utilisant les données pour comprendre comment la qualité de vie des occupants peut être améliorée. Les informations recueillies peuvent informer les propriétaires sur les performances de divers éléments de leurs bâtiments, par exemple sur les types de chaudières les plus efficaces ou sur les types de bâtiments dont l'isolation doit être refaite en priorité. De mauvaises conditions ambiantes sont coûteuses et provoquent des problèmes de santé. Ainsi, les pays chauds et secs où la climatisation est insuffisante sont propices à la propagation des virus en raison du faible taux d'humidité, tandis que les habitants de pays humides et tempérés sont plus sujets aux difficultés respiratoires.

## B. Villes intelligentes<sup>2, 3</sup>

12. Une ville intelligente et durable est une ville novatrice qui utilise les TIC et d'autres moyens pour améliorer la qualité de vie, l'efficacité du fonctionnement et des services urbains et la compétitivité, tout en répondant aux besoins des générations présentes et futures sur les plans économique, social, environnemental et culturel. Il s'agit d'une zone urbaine dans laquelle différents types de capteurs électroniques reliés à Internet collectent des données, qui servent à gérer efficacement les installations, les ressources et les services. Ces capteurs améliorent les opérations partout dans la ville. Les autorités traitent et analysent les données recueillies par les habitants, les appareils, les bâtiments et diverses installations pour contrôler et gérer le trafic et les systèmes de transport, les centrales électriques, les équipements collectifs, les réseaux d'approvisionnement en eau, la collecte des déchets, les systèmes de détection de la criminalité, les systèmes d'information, les écoles, les bibliothèques, les hôpitaux et divers services collectifs. Les TIC sont utilisées pour améliorer la qualité, l'efficacité et l'interactivité des services urbains, pour réduire les coûts et la consommation de ressources, ainsi que pour accroître les échanges entre les citoyens et les pouvoirs publics. Des applications adaptées aux villes intelligentes sont mises au point pour gérer les flux urbains et assurer des interventions immédiates. Une ville intelligente pourrait donc être plus résiliente face à des problèmes nouveaux.

## C. Réseaux intelligents (électricité et gaz)<sup>4</sup>

13. Un réseau électrique intelligent est essentiellement un réseau électrique amélioré, qui, en plus de faire circuler l'électricité entre les producteurs, les réseaux de transmission et de distribution et les consommateurs, permet l'échange d'informations entre ceux-ci et éventuellement avec des tiers. Ses principales caractéristiques fonctionnelles sont les suivantes :

- Autoréparation en cas de perturbations dans l'acheminement de l'électricité ;
- Participation des consommateurs à la gestion active de la demande ;
- Résilience face aux attaques physiques et aux cyberattaques ;
- Production d'une électricité de qualité, adaptée aux besoins du XXI<sup>e</sup> siècle ;
- Compatibilité avec tous les modes de production et de stockage ;
- Facilitation de l'émergence de nouveaux produits, services et marchés ;
- Optimisation des installations et fonctionnement efficace.

14. Un réseau intelligent utilise les technologies numériques pour améliorer la fiabilité, la résilience, la souplesse et l'efficacité (tant économique qu'énergétique) du système de distribution d'électricité. Il dépend toutefois des capacités de télécommunication. Qu'elles soient axées sur des objectifs locaux, régionaux ou nationaux, la plupart des applications des réseaux intelligents sont tributaires des réseaux de télécommunication, qui permettent de relier une unité de production, des capteurs en réseau ou un compteur intelligent aux processus opérationnels des compagnies d'électricité.

15. La transition vers un système électrique intelligent peut s'opérer au niveau d'une ville ou aux échelons national et régional, mais également à l'échelle d'un miniréseau ou d'un microréseau. Les réseaux intelligents peuvent contribuer sensiblement à l'optimisation des systèmes électriques en facilitant le suivi et la gestion des flux d'électricité de la production à la livraison. Toutefois, pour répondre aux besoins de la lutte contre les changements climatiques et de la société de l'information du XXI<sup>e</sup> siècle, il faut mettre au point des réseaux intelligents dans lesquels le suivi et le contrôle se font en temps réel.

<sup>2</sup> [https://fr.wikipedia.org/wiki/Ville\\_intelligente](https://fr.wikipedia.org/wiki/Ville_intelligente).

<sup>3</sup> <http://www.unece.org/housing/sustainablemartcities.html>.

<sup>4</sup> Voir le document ECE/ENERGY/GE.5/2011/2.

16. Un réseau intelligent intègre une large palette de technologies existantes et émergentes, qui permettent un fonctionnement décentralisé et plus efficace du secteur de l'électricité. Ces technologies sont notamment :

- **Les compteurs communicants.** Situés au niveau du réseau de production-transport d'électricité ou chez les consommateurs, ces compteurs peuvent communiquer des informations sur le prix horaire et l'utilisation de l'électricité à l'opérateur du système, aux consommateurs ou directement à d'autres appareils et dispositifs ;
- **Les technologies de visualisation.** Il s'agit de dispositifs de contrôle utilisés par les opérateurs de systèmes (systèmes avancés de surveillance et d'acquisition de données, synchrophaseurs, autres capteurs permettant une surveillance en temps réel, appareils de communication et systèmes de cybersécurité) ;
- **Les technologies de transmission avancées.** Il s'agit de lignes à courant continu à haute tension contrôlables et d'autres éléments de transmission avancés qui améliorent le fonctionnement du système de transmission ;
- **Les technologies de production et de stockage décentralisés.** L'acceptation la plus large du terme « réseau intelligent » englobe certaines technologies de production et de stockage décentralisés de l'électricité.

17. Qu'il consiste en l'adaptation d'un réseau existant ou en la construction d'un nouveau réseau (ou d'extensions d'un réseau), le déploiement d'un réseau intelligent n'est pas une fin en soi, mais plutôt un moyen d'assurer la fourniture de l'électricité sûre, fiable, propre et économique dont les utilisateurs finaux ont besoin.

18. À mesure que des réseaux intelligents sont déployés le long de la chaîne de valeur de l'acheminement d'électricité, les points d'interconnexion avec d'autres réseaux d'information se multiplient. Par conséquent, la menace de cyberattaques dirigées contre ces systèmes critiques de gestion de l'électricité va s'accroître de manière exponentielle. Il est donc indispensable que les politiques et les normes fassent de la cybersécurité un élément central et essentiel de la conception et de l'exploitation des réseaux intelligents. Un certain nombre d'organisations internationales dont les activités ont trait à l'énergie s'intéressent aux réseaux intelligents et aux normes applicables à ceux-ci.

19. Les compteurs de gaz intelligents améliorent le suivi de l'utilisation et de la demande de gaz. Les réseaux gaziers intelligents vont plus loin encore en maximisant la capacité d'intégration de la production décentralisée de gaz renouvelable, et accélèrent ainsi la décarbonisation des utilisations finales du gaz (chauffage, cuisine, procédés industriels et transport). Ils peuvent être reliés à des réseaux énergétiques complémentaires, en particulier aux réseaux électriques, et donc favoriser le développement des énergies renouvelables et accroître la souplesse du système énergétique dans son ensemble.

20. Un réseau gazier intelligent est un réseau de gaz fondé sur les technologies numériques, qui intègre des nanocapteurs innovants, économiques et intelligents. Les données sont collectées et communiquées via un réseau radio, et traitées au moyen de technique d'analyse et d'intelligence artificielle. Ces innovations permettent une surveillance dynamique du réseau, y compris un équilibrage au niveau local. Un réseau gazier intelligent doit remplir quatre missions bien définies :

- Intégrer de nouvelles technologies de l'information et de la communication ;
- Améliorer l'efficacité de l'acheminement du gaz (suivi de la performance des systèmes et de leurs composants) ;
- Communiquer avec les réseaux de distribution d'électricité, de chauffage, d'acheminement de l'eau et de télécommunication ;
- Accroître la proportion de gaz « vert ».

21. Grâce aux technologies intelligentes, les réseaux de distribution de gaz contribuent à la promotion d'une économie circulaire, étant donné que les déchets récupérés sont utilisés pour produire du gaz vert, qui est ensuite injecté dans le réseau. Les réseaux gaziers intelligents optimisent également les coûts de l'énergie au niveau local en rendant le réseau électrique plus souple. En outre, ils facilitent l'intégration d'énergies renouvelables issues de sources

intermittentes dans le bouquet énergétique (énergie éolienne et énergie solaire, par exemple), et concourent ainsi aux objectifs de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

22. Les gazoducs intelligents sont un élément clef des réseaux gaziers intelligents. Ils reposent sur trois grands principes :

- La *surveillance* à distance des installations permet de détecter tout dysfonctionnement et de garantir la meilleure qualité de service possible ;
- La *détection* à distance améliore la reconstitution des flux en rendant possible la combinaison des données recueillies par les divers compteurs et capteurs situés à des points névralgiques du réseau. De plus, elle renforce l'efficacité des interventions dans les situations d'urgence et optimise les investissements et les stocks ;
- Le *contrôle* à distance de certaines installations, qui existe déjà pour les stations d'injection de biométhane, contribuera à maximiser l'injection de gaz renouvelable et à mieux équilibrer l'offre et la demande.

#### D. Systèmes de transport intelligents<sup>5</sup>

23. Les TIC employées dans le domaine des transports routiers sont souvent appelées « systèmes de transport intelligents » (STI). Elles englobent une large gamme de systèmes organisationnels et technologiques, qui visent à faciliter la mise en place de systèmes de transport efficaces et fluides, ainsi que l'optimisation de la circulation routière. Un STI est une application avancée, qui offre des services innovants et adaptés à différents modes de transport et de gestion de la circulation. Il permet aux utilisateurs d'être mieux informés et de faire un usage plus sûr, mieux coordonné et plus « intelligent » des réseaux de transport.

24. Les STI contribuent à optimiser l'utilisation des systèmes de transport existants et de l'énergie disponible, à réduire le nombre d'accidents et à accroître l'efficacité du transport dans son ensemble. Il s'agit notamment d'appareils de pointe conçus sur mesure, qui peuvent transmettre des informations en temps réel aux usagers de la route et aux forces de l'ordre tout en facilitant les paiements électroniques et l'accès à distance à des comptes prépayés. Les technologies grâce auxquelles les autorités et les exploitants peuvent améliorer la gestion des réseaux de transport et rendre le transport terrestre plus durable relèvent généralement des STI. Les STI embarqués et installés le long des routes englobent toutes les technologies destinées à renforcer la sécurité du véhicule et des infrastructures et à rendre le transport fluide et confortable grâce à l'utilisation de fonctions particulières des véhicules et à la possibilité d'interagir avec les infrastructures routières, voire parfois avec d'autres véhicules.

### III. Perspectives, enjeux et lacunes

25. Le progrès de la gestion de l'information ouvre un large éventail de perspectives pour le secteur de l'énergie, mais présente aussi de nombreux risques. Les perspectives offertes sont notamment le suivi efficace des performances, la collecte de données tout au long des chaînes de valeur de tous les secteurs, la remonté et le partage de résultats détaillés, l'amélioration à court terme des opérations, l'immédiateté des interventions, ainsi que le suivi à long terme d'indicateurs utiles, qui permet de prendre des mesures stratégiques face à l'émergence de nouvelles tendances et d'orienter les investissements dans les infrastructures. Grâce au développement de l'« intelligence » des systèmes, le suivi est non plus seulement réactif, mais également préventif. Par exemple, le compteur intelligent d'une maison peut détecter une augmentation de la fréquence des surtensions ou des excursions de fréquence et signaler qu'un système ou un circuit nécessite une intervention pour éviter un dysfonctionnement majeur. Fait important, les possibilités de connexion des TIC dont sont équipés les systèmes de transport, les foyers, les villes et les

<sup>5</sup> [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/publications/Intelligent\\_Transport\\_Systems\\_for\\_Sustainable\\_Mobility.PDF](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/publications/Intelligent_Transport_Systems_for_Sustainable_Mobility.PDF).

systèmes énergétiques semblent se multiplier. Elles ne sont pas encore exploitées, mais une telle connectivité offrirait des résultats encore meilleurs.

26. La transformation en profondeur des systèmes énergétiques peut recouvrir toutes sortes de réalités, telles que le passage au « tout intelligent » (réseaux, villes, maisons, appareils et Internet des objets), le développement de modèles commerciaux fondés sur la production et la distribution décentralisées d'énergie ou la participation des consommateurs à la gestion active de la demande, qui augmenterait l'élasticité de la demande par rapport aux prix. L'adoption des technologies de l'information à grande échelle et la numérisation des secteurs économiques ouvriront d'immenses perspectives si elles sont correctement maîtrisées et pourront accroître la résilience des futurs systèmes énergétiques face à des facteurs externes tels que le piratage ou d'autres perturbations.

27. La numérisation est au cœur des changements que connaît la société moderne et de l'évolution de notre façon de vivre, de voyager et de faire des affaires. Dans les économies modernes, sans infrastructures numériques, il n'y aurait ni production, ni distribution, ni consommation d'énergie. Toutefois, à mesure que les acteurs industriels et les entreprises de services publics de distribution investissent massivement dans la numérisation, des questions se posent quant aux enjeux de sécurité, aux risques de dépendance, à la protection de la vie privée et à de potentielles perturbations. On dispose de peu d'informations sur la valeur que les technologies numériques apportent au secteur de l'énergie.

28. Le renforcement de l'efficacité énergétique dans les bâtiments représente le meilleur moyen d'économiser les ressources et de lutter contre les changements climatiques. En outre, il est économiquement rationnel de chercher à améliorer l'enveloppe et l'isolation des bâtiments, ainsi que l'efficacité des systèmes de chauffage, des systèmes de refroidissement et d'autres éléments apparentés. La transition vers une consommation d'énergie durable nécessite de prendre des mesures à différents niveaux, de l'installation d'équipements dans des bâtiments individuels à la création d'infrastructures à l'échelle des quartiers, des villes et des régions. Certaines solutions énergétiques sont complémentaires (un bâtiment peut par exemple être équipé de différents types d'équipements économes en énergie, de l'éclairage aux systèmes de chauffage, de ventilation et de climatisation), tandis que d'autres supposent de faire un choix (chauffage individuel ou chauffage urbain, par exemple). Dans la pratique, la mise en œuvre de solutions en matière d'efficacité énergétique et d'énergie renouvelable implique une multitude de parties prenantes, des consommateurs d'énergie aux installateurs en passant par les entreprises de services publics de distribution, les administrateurs de programmes énergétiques et les autorités publiques. Dans ces conditions, une coordination efficace et fondée sur des données de haute qualité est un facteur de réussite important. Des perspectives s'ouvrent dans les domaines des appareils intelligents, des maisons intelligentes, des bâtiments intelligents, des villes intelligentes et des réseaux intelligents, et les enjeux sont notamment l'émergence de nouveaux modèles commerciaux, la gestion des données, la coexistence entre le nouveau et l'ancien, ainsi que le verrouillage technologique. Les technologies intelligentes présentent des risques évidents sur les plans de la résilience et de la cybersécurité, et soulèvent des préoccupations quant à la possibilité de réaliser des économies d'échelle dès les phases initiales de leur déploiement.

29. Nombre de pays et de villes ont commencé à utiliser les mégadonnées et les données géospatiales dans le cadre de projets de gestion durable de l'énergie, par exemple pour évaluer les possibilités offertes par les énergies renouvelables au niveau national, élaborer des plans d'infrastructures énergétiques urbaines ou recenser les potentielles économies d'énergie pour chaque consommateur. Dans bien des pays, de nombreux projets expérimentaux mettent en valeur l'utilisation de technologies modernes dans le cadre de travaux de rénovation énergétique. Néanmoins, les performances de bon nombre de bâtiments à la pointe du progrès technique déclinent au fil du temps en raison d'une mauvaise appréciation du savoir-faire technique requis. En outre, il est de plus en plus difficile de parvenir à un consensus entre résidents sur les investissements nécessaires. Aux difficultés d'ordre technologique, administratif et financier vient donc s'ajouter un facteur humain, qui représente un obstacle énorme dans l'organisation de travaux de rénovation énergétique d'immeubles résidentiels.



## **A. L'innovation numérique est essentielle pour renforcer l'intégration des énergies renouvelables**

a) La numérisation brouille la distinction entre production et consommation en favorisant la gestion intelligente de la demande, la souplesse du système, l'intégration des sources d'énergies renouvelables intermittentes et la gestion de la production décentralisée d'énergie renouvelable ;

b) L'apprentissage automatique améliore les prévisions météorologiques en temps réel dans le contexte de la production d'électricité à partir de sources d'énergies renouvelables intermittentes et facilite le choix de l'emplacement des installations éoliennes et photovoltaïques ;

c) L'installation de capteurs avancés dans les éoliennes peut prolonger la durée de vie de celles-ci.

## **B. On prévoit que 650 millions de personnes n'auront toujours pas accès à l'électricité en 2030**

a) La numérisation peut offrir davantage de souplesse dans les modalités de paiement et il sera essentiel, pour accroître la contribution des solutions hors réseau, que les installations soient contrôlables à distance. Les analyses géospatiales peuvent aider les responsables politiques à prendre des décisions ;

b) Une analyse géospatiale des extensions de réseaux, des miniréseaux et des systèmes hors réseau a été menée afin de déterminer la façon la plus économique d'assurer un accès universel à l'électricité, et il s'est avéré que, pour 54 % des personnes n'ayant pas accès à l'électricité, la production décentralisée d'énergie renouvelable était la solution la plus adaptée.

## **C. La numérisation est cruciale pour améliorer l'efficacité énergétique au niveau des utilisateurs finaux**

a) Le transport est de plus en plus « intelligent » et connecté, et donc de plus en plus sûr et efficace. La numérisation du transport par camion et de la logistique pourrait réduire la consommation d'énergie de 20 % à 25 %, par exemple grâce à la circulation en peloton, à l'optimisation des itinéraires et à l'échange de données tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Grâce à la connectivité et à l'automatisation, des camions circulant en peloton peuvent rouler à faible distance les uns des autres en toute sécurité pour réduire le frottement de l'air et accroître leur rendement énergétique ;

b) Dans les bâtiments, la numérisation pourrait réduire la consommation d'énergie d'environ 10 % grâce au traitement des données en temps réel, qui améliorerait l'efficacité des opérations. Les thermostats intelligents peuvent prévoir les comportements des occupants sur la base des habitudes de ceux-ci et utiliser des prévisions météorologiques en temps réel pour mieux anticiper les besoins de chauffage ou de refroidissement de l'air. Les services énergétiques numériques pourraient aussi donner aux consommateurs les moyens de participer plus activement à la gestion des systèmes énergétiques. On compte actuellement environ un milliard de foyers, dans lesquels 11 milliards d'appareils connectés pourraient offrir 185 GW de flexibilité énergétique et permettre ainsi d'économiser quelque 270 milliards de dollars d'investissements dans des infrastructures électriques.

## **D. Numérisation et procédés industriels**

a) La production industrielle connaît une transformation radicale. Le monde physique de la production industrielle et le monde numérique des technologies de l'information fusionnent pour créer des systèmes de production numérisés et interconnectés, également appelés « systèmes cyberphysiques ». Dans ce domaine, nous

commençons tout juste à prendre la mesure des possibilités offertes par les technologies numériques ;

b) De nouvelles technologies de pointe permettent d'accélérer le déploiement des énergies renouvelables dans le secteur manufacturier, de réduire les émissions de carbone, d'optimiser l'utilisation de l'énergie, d'accroître la productivité et de diminuer les coûts dans des proportions sans précédent. La numérisation des procédés industriels aboutira à l'auto-organisation de la production, et donc à des gains d'efficacité et de rentabilité, tout en offrant davantage de possibilités d'adaptation de ces procédés au fonctionnement des systèmes électriques ;

c) La démocratisation de l'accès aux TIC et l'accès à Internet à un coût abordable dans les pays les moins avancés renforceront aussi les capacités de fabrication de produits sur mesure au meilleur prix grâce à la flexibilité offerte par ces technologies ;

d) Il sera également possible de développer de nouveaux modèles commerciaux en exploitant les données recueillies au stade de la fabrication d'un produit et tout au long de son cycle de vie (par exemple à l'étape du recyclage), y compris les retours des consommateurs ;

e) Les mégadonnées pourraient contribuer au développement durable, par exemple en facilitant l'établissement de statistiques utiles à la prise de décisions plus avisées sur les questions économiques, environnementales et sociétales ;

f) L'adaptation du milieu de travail et l'évolution des professions recherchées, ainsi que les conséquences de ces changements pour la société, sont des enjeux auxquels il conviendra de prêter attention ;

g) La numérisation peut suivre deux voies distinctes : la transformation par mise à niveau et, dans les pays en développement, le saut technologique.

## **E. La numérisation et les pays en développement**

a) Alors que les pays développés progressent dans la numérisation des systèmes existants, la réalité est tout autre dans les pays en développement. Bien souvent, les consommateurs n'ont pas accès à des services énergétiques fiables. Dans de nombreux cas, les foyers sont raccordés au réseau électrique, mais l'entreprise publique en charge de la fourniture de l'énergie ne respecte pas des normes de fiabilité suffisantes ;

b) La moitié des entreprises de services publics de distribution des pays en développement sont insolvables et n'ont pas suffisamment de liquidités pour financer leurs opérations. Même si les consommateurs sont solvables, l'entreprise chargée de les approvisionner en énergie ne l'est pas ;

c) La numérisation offre des solutions, mais elles sont très différentes de celles que mettent en place les pays développés. La numérisation de la facturation et des paiements, par exemple, faciliterait les transactions en reliant les utilisateurs finaux aux services chargés de la facturation. Si le système numérique est connecté aux utilisateurs finaux par l'intermédiaire de sous-stations, il sera possible de mettre en place des protocoles de base ;

d) Les compteurs intelligents illustrent bien les obstacles auxquels se heurtent les pays en développement. La partie matérielle peut être relativement abordable, mais la partie logicielle et la maintenance sont souvent très coûteuses. L'ensemble est donc hors de portée de la plupart des consommateurs de ces pays.

30. Il importe de prendre conscience de la multitude des possibilités offertes par le déploiement des technologies de l'information à grande échelle et de la nécessité d'une stratégie de mise en œuvre efficace. La numérisation, les études géologiques et la découverte de ressources sont des domaines clés pour le secteur des énergies renouvelables, et l'écosystème de financement de ces énergies s'améliore nettement.

31. Il faut réfléchir attentivement à la façon dont les services énergétiques sont fournis. Le débat porte toujours sur l'électricité, mais bien souvent, les services énergétiques

consistent en l'approvisionnement en combustibles. Là encore, la numérisation aura une incidence positive. Du point de vue de l'organisation du travail, la transition vers les technologies intelligentes peut présenter des risques, et il importe de mesurer les implications sociales de toute stratégie de numérisation.

32. L'accès à l'énergie n'est pas synonyme d'accès à des services énergétiques. Il faut réinventer le secteur de l'énergie, qui doit être un secteur de services et non le secteur de produits qu'il a toujours été. La numérisation sera un moteur important à cet égard. À mesure que le monde progresse sur la voie de la numérisation, faut-il s'inquiéter de l'efficacité des approches fondées sur le principe de la sécurité positive (compte tenu par exemple des risques posés par le piratage ou par les phénomènes climatiques) ? Qu'advient-il des stratégies numériques en cas de panne d'électricité ? Les terres rares essentielles à la mise en œuvre de toute stratégie numérique solide seront-elles disponibles en quantités suffisantes ?

33. La numérisation ouvre un certain nombre de perspectives, notamment de coopération et de convergence intersectorielles, comme en témoignent par exemple les réseaux intelligents et les véhicules électriques. Les architectes, les entreprises de construction et les ingénieurs perfectionnent les enveloppes des bâtiments en optimisant le choix des matériaux et la conception, puis en veillant à employer les meilleures techniques de construction pour réduire les besoins énergétiques, de sorte que ceux-ci puissent être satisfaits au moyen de sources d'énergie à émissions de carbone faibles ou nulles. Des professionnels des systèmes s'occupent des installations de chauffage, de ventilation et de climatisation, ainsi que des installations électriques. Les fournisseurs d'énergie sont essentiels pour répondre aux besoins énergétiques des systèmes à l'aide de solutions à émissions de carbone faibles ou nulles. L'énergie peut être fournie soit selon un modèle de distribution décentralisée (panneaux photovoltaïques sur les toits ou stockage sur place) soit par raccordement à un réseau. Un quatrième groupe de professionnels se charge de l'installation des TIC nécessaires pour relier le bâtiment à son cadre bâti. Les TIC connectent tous les éléments susmentionnés et optimisent le fonctionnement du système dans son ensemble, facilitant ainsi la participation active des consommateurs à la gestion de l'énergie et la pleine intégration des sources d'énergies renouvelables intermittentes. Jusqu'à présent, chacun des quatre groupes intervient sans concertation avec les trois autres. Leur collaboration permettrait d'adopter une approche intégrée et de maximiser la contribution des bâtiments à la concrétisation de la vision ambitieuse dont le Programme 2030 est porteur.

34. Dans le secteur financier et le secteur de la sous-traitance, le progrès des TIC peut modifier les profils de risque en améliorant la qualité et la transparence de l'information, en renforçant les capacités de prévision, en facilitant l'entrée de nouveaux acteurs sur le marché et l'adoption de nouveaux modèles commerciaux, en favorisant à la fois la production décentralisée et la participation des consommateurs à la gestion de l'énergie, et en augmentant l'élasticité des prix grâce à l'automatisation des processus de détermination et d'adaptation des prix (notamment dans le secteur de l'électricité, où il peut atténuer les fluctuations de prix et le risque de queue<sup>6</sup>). Toutes ces évolutions auront une incidence sur le secteur financier et le secteur de la sous-traitance. L'essor de la technologie de la chaîne de blocs<sup>7</sup> et des technologies connexes offre de nouveaux outils pour remédier en temps réel aux risques physiques et aux risques liés aux prix.

35. L'intégration des systèmes à grande échelle et l'efficacité de la production et de la consommation d'énergie sont des domaines dans lesquels d'importants progrès peuvent être faits pour réduire les coûts et accroître la performance environnementale. Il s'agit notamment d'améliorer la consommation spécifique de chaleur, l'intégration des énergies renouvelables, la prestation et la valorisation des services d'équilibrage et de gestion de réseaux, ainsi que la participation des consommateurs aux marchés énergétiques en temps réel.

<sup>6</sup> Le terme statistique « risque de queue » désigne une distribution de probabilités caractérisée par une probabilité relativement élevée de variations extrêmes, qui a une influence sur les risques attendus.

<sup>7</sup> La technologie de la chaîne de blocs est fondée sur un registre distribué, répliqué et partagé, qui associe de multiples participants à la gestion et à l'enregistrement des transactions. Les transactions sont enregistrées non plus dans une base de données centrale, mais par les participants au marché.

36. La pandémie de COVID-19 a mis en évidence un immense potentiel d'accroissement du partage de connaissances et de données d'expérience par l'intermédiaire de plateformes en ligne. Ce potentiel demeure sous-exploité, car les parties prenantes tentent de recréer dans un environnement virtuel l'environnement physique auxquelles elles sont habituées, alors que l'amélioration des TIC, des applications et de la vitesse de transmission de l'information ouvre la voie à de nouveaux mécanismes d'interaction dans les domaines de l'enseignement, du renforcement des capacités, du partage de connaissances et de la négociation.

## IV. Conclusions

37. Les TIC continuent d'évoluer et les changements qu'elles induisent ne cessent de s'accélérer. La révolution des technologies de l'information n'en est encore qu'à ses balbutiements. Dans leur acception la plus large, ces technologies englobent les systèmes de suivi et de collecte de données, les systèmes de transmission, de stockage, de partage et d'analyse de données, ainsi que les systèmes de traitement d'informations déjà rigoureusement vérifiées. De nouveaux modèles commerciaux voient le jour et les anciens modèles montrent leurs limites. Les technologies de l'information peuvent accroître considérablement les performances des systèmes énergétiques dans leur ensemble tout en réduisant la production de déchets et les besoins en ressources. Compte tenu de ce qui précède, il est recommandé que le Comité de l'énergie durable de la CEE, agissant par l'intermédiaire d'une équipe spéciale intersectorielle relevant du Groupe d'experts des systèmes de production moins polluante d'électricité, mène les activités suivantes :

- Suivre l'évolution de la situation, des perspectives et des enjeux, et en rendre régulièrement compte ;
- Faciliter l'échange d'informations entre États membres sur les expériences et perspectives de déploiement de technologies de l'information ;
- Mettre en évidence les possibilités de collaboration entre les comités sectoriels de la CEE et avec d'autres organisations actives dans les mêmes domaines ;
- Débattre de la nécessité d'adopter des normes et des règles pour l'ensemble des applications des technologies de l'information, et réfléchir au calendrier optimal à cet égard.

---