

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

Mettre en place des systèmes énergétiques résilients :

mesures à prendre pour renforcer la sécurité
énergétique dans la région de la CEE, à un coût
abordable et avec des émissions nettes nulles



CEE

COMMISSION ÉCONOMIQUE POUR L'EUROPE

Mettre en place des systèmes énergétiques résilients :

**mesures à prendre pour renforcer la sécurité énergétique
dans la région de la CEE, à un coût abordable
et avec des émissions nettes nulles**

CEE Série Énergie n° 146



NATIONS UNIES
Genève, 2022

©2022 Nations Unies

Tous droits réservés dans le monde entier

Les demandes de reproduction ou de photocopie d'extraits de la présente publication doivent être adressées au Copyright Clearance Center depuis le site Web copyright.com.

Pour tout autre renseignement concernant les droits et licences, y compris les droits dérivés, s'adresser à :

United Nations Publications,
405 East 42nd Street
New York, NY 10017
États-Unis d'Amérique
Courriel : permissions@un.org
Site Web : <https://shop.un.org>

Les observations, interprétations et conclusions exprimées dans la présente publication sont celles des auteurs et ne reflètent pas nécessairement les vues de l'Organisation des Nations Unies, de ses fonctionnaires ou des États Membres.

Les appellations employées dans la présente publication et la présentation des données qui y figurent n'impliquent de la part de l'Organisation des Nations Unies aucune prise de position quant au statut juridique des pays, territoires, villes ou zones, ou de leurs autorités, ni quant au tracé de leurs frontières ou limites.

La mention d'une entreprise, d'un procédé breveté ou d'une marque commerciale n'implique pas l'aval de l'Organisation des Nations Unies.

La photocopie et la reproduction d'extraits sont autorisées à condition que la source soit indiquée précisément.

Publication des Nations Unies établie par la Commission économique pour l'Europe.

Conception graphique de la couverture : Shuyue Li

ECE/ENERGY/146

PUBLICATION DES NATIONS UNIES
eISBN : 978-92-1-002387-0
ISSN : 1014-9120
eISSN : 2412-0928

Remerciements

Le présent document a été établi par les six organes subsidiaires du Comité de l'énergie durable en vue de la trente et unième session du Comité qui s'est tenue du 21 au 23 septembre 2022.

Le secrétariat remercie les Présidents des Groupes d'experts de la CEE dont les noms suivent pour leur rôle moteur et leur appui continu : Jim Robb, Président du Groupe d'experts des systèmes de production moins polluante d'électricité, Kostiantyn Gura, Président du Groupe d'experts de l'énergie renouvelable, Raymond Pilcher, Président du Groupe d'experts du méthane provenant des mines de charbon et de l'action pour une transition juste, Stefan Büttner, Président du Groupe d'experts de l'efficacité énergétique, Francisco de la Flor, Président du Groupe d'experts du gaz, et David MacDonald, Président du Groupe d'experts de la gestion des ressources.

Table des matières

Remerciements	iv
Acronymes et sigles	vi
Introduction	1
Définition d'un système énergétique résilient	2
Mesures transversales à prendre immédiatement	1
Mener des actions de sensibilisation quant à la nécessité de concevoir et d'élaborer des systèmes énergétiques résilients et neutres en carbone.....	1
Créer des cadres réglementaires propices à la mise en place de systèmes énergétiques résilients et neutres en carbone.....	1
Financer la mise en place de systèmes énergétiques résilients et neutres en carbone.....	2
Solutions détaillées pour la conception de systèmes énergétiques résilients : demande d'énergie par secteur	4
Secteur du bâtiment.....	5
Secteur de l'industrie.....	6
Secteur des transports.....	7
Solutions détaillées pour la conception de systèmes énergétiques résilients : approvisionnement en énergie selon le type de combustible et stockage	8
Énergies renouvelables.....	8
Bioénergie.....	9
Gaz naturel.....	10
Charbon.....	11
Énergie nucléaire.....	11
Hydrogène.....	12
Solutions détaillées pour la conception de systèmes énergétiques résilients : innovation technologique dans la demande et l'offre d'énergie	13
Conclusion	14
Annexe I - Cadre applicable aux systèmes énergétiques résilients	15

Introduction

Dans l'ensemble de la région de la Commission économique pour l'Europe (CEE), les États membres sont confrontés à des défis sans précédent en raison de la pandémie de COVID-19, des crises géopolitiques dans la région, des perturbations des chaînes d'approvisionnement et des effets des changements climatiques. Ces événements ont exposé au grand jour la vulnérabilité des systèmes énergétiques des pays de la CEE et mis en évidence l'urgente nécessité de mettre en place des systèmes énergétiques résilients. Les États membres réexaminent actuellement la question de l'énergie dans le but de définir, d'améliorer et de mettre en œuvre des stratégies susceptibles de répondre à leurs besoins énergétiques et économiques immédiats sans compromettre la réalisation du Programme de développement durable à l'horizon 2030 (Programme 2030) et de l'Accord de Paris.

Il importe que les États membres de la CEE adoptent une approche globale à cet égard, en prenant les mesures suivantes : 1) fixer des objectifs et des priorités, notamment des objectifs à court et à long terme dans les domaines de l'énergie, de l'économie et de l'environnement ; 2) recenser, comparer, analyser et hiérarchiser les options permettant d'atteindre les objectifs à court et à long terme dans leur ensemble, en étudiant les compromis nécessaires et les possibilités de synergie ; 3) concevoir, financer et mettre en œuvre des politiques, des projets et des programmes à court et à long terme à l'aide de mécanismes appropriés clairement définis tels que des règlements, des législations et des mesures incitatives ; 4) évaluer les incidences dans le temps de ces actions sur la réalisation des objectifs, et les adapter si nécessaire ; 5) collaborer et partager des pratiques exemplaires, en particulier avec des pairs de la région de la CEE.

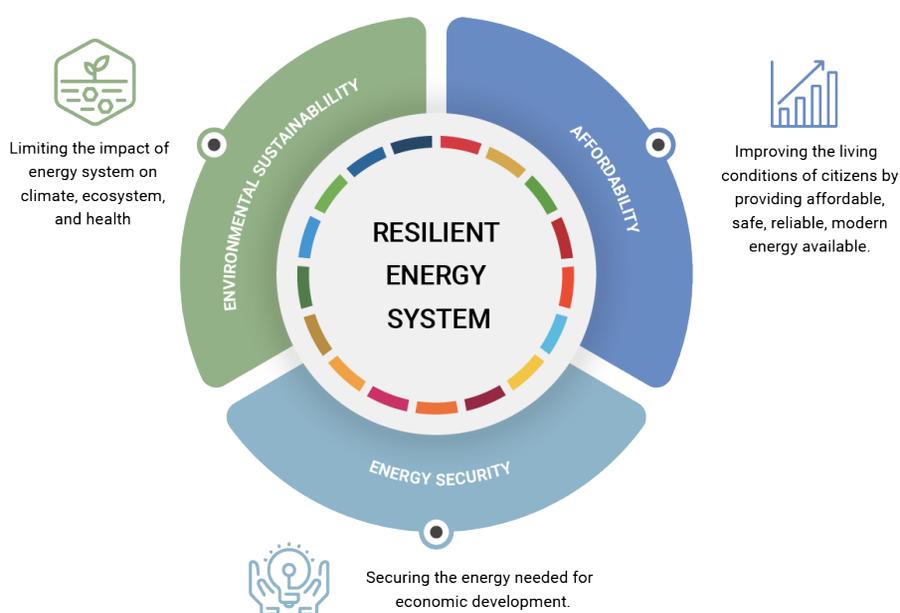
En septembre 2022, à la trente et unième session du Comité de l'énergie durable, les États membres ont décidé d'exécuter en priorité dans toute la région de la CEE des activités liées à la résilience énergétique et de créer une plateforme régionale sur les systèmes énergétiques résilients pour favoriser un dialogue inclusif. Cette base de données permettra de coordonner les efforts, de collecter des données et de fournir des informations, des conseils, des formations et une assistance technique aux États membres aux fins de la mise en place de systèmes énergétiques résilients, et d'en faire la promotion. Les groupes d'experts relevant du Comité, à savoir le Groupe d'experts des systèmes de production moins polluante d'électricité, le Groupe d'experts du méthane provenant des mines de charbon et de l'action pour une transition juste, le Groupe d'experts de l'efficacité énergétique, le Groupe d'experts du gaz, le Groupe d'experts de l'énergie renouvelable et le Groupe d'experts de la gestion des ressources, ont formulé un certain nombre de recommandations visant à ce que les États membres envisagent d'appuyer la deuxième série d'activités énumérées ci-dessus. Ces recommandations, formulées à l'appui de la plateforme et décrites ci-après, peuvent aider les États membres à réaliser leurs objectifs à court et à long terme dans les domaines énergétique, économique et environnemental grâce à la mise en place de systèmes énergétiques résilients.

Définition d'un système énergétique résilient

Un système énergétique résilient est un système dans lequel l'énergie contribue de manière optimale au développement social, économique et environnemental d'un pays ; il est capable de résister à tout choc imprévu et d'être rapidement à nouveau en état de fonctionnement, et sa planification et son fonctionnement tiennent compte des effets potentiels des changements climatiques sur les ressources énergétiques. L'énergie durable repose sur trois piliers : i) la sécurité énergétique, ii) la qualité de vie, et iii) la durabilité environnementale¹. Ces trois piliers sont interdépendants et aucun d'entre eux ne définit à lui seul la notion d'énergie durable, qui est la pierre angulaire qui sous-tend la réalisation du Programme 2030 et de l'Accord de Paris. La définition d'un système énergétique résilient s'appuie donc sur la combinaison de ces trois piliers :

FIGURE 1

Un système énergétique résilient



- **Sécurité énergétique – Obtenir l'énergie nécessaire au développement économique.** D'importants facteurs sociaux, économiques, environnementaux et technologiques entrent en jeu dans ce domaine. Dans certains pays, la sécurité énergétique est synonyme d'indépendance énergétique, tandis que dans d'autres, elle est abordée dans le contexte régional, en mettant l'accent sur l'interconnectivité et le commerce.
- **Qualité de vie – Fournir une énergie abordable qui soit disponible pour tous à tout moment.** Un système énergétique résilient améliore les conditions de vie de tous les citoyens en leur donnant accès à une énergie sûre, durable, fiable et moderne, à un prix abordable. Cet objectif recouvre l'accès physique aux réseaux électriques et aux réseaux autonomes, ainsi que la qualité et le caractère abordable de l'accès à des services énergétiques au sens large. Lors de l'évaluation de la résilience d'un système, il importe de tenir compte des coûts et de la nécessité de garantir un approvisionnement ininterrompu en services énergétiques, s'agissant notamment de l'électricité, du chauffage, du refroidissement et des transports.

¹ Aux fins du présent document, les définitions du projet de la CEE sur les moyens de promouvoir l'énergie durable ont été utilisées ; CEE (janvier 2020), Moyens de promouvoir l'énergie durable – Accélérer la transition dans la région de la Commission économique pour l'Europe, disponible à l'adresse https://unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/CSE/Publications/Final_Report_PathwaysToSE.pdf.

- **Durabilité environnementale – Réduire les incidences du système énergétique sur le climat, les écosystèmes et la santé.** Le secteur de l'énergie est à l'origine de 75 % des émissions de gaz à effet de serre d'origine anthropique^{2,3}. C'est pourquoi il doit réduire son empreinte carbone tout au long de sa chaîne d'approvisionnement pour appuyer les efforts d'atténuation des changements climatiques. L'ensemble des secteurs et des utilisateurs finaux doivent consommer de façon plus efficace l'énergie et les ressources associées et prendre en compte les aspects de circularité qui permettent de réduire la demande d'énergie et d'accélérer la transition énergétique. Au-delà des préoccupations liées aux changements climatiques, ce pilier porte également sur d'autres thèmes connexes tels que la pénurie d'eau dans le secteur énergétique, les émissions dues aux transports et la pollution atmosphérique causée par la production et la consommation d'énergie.

L'équilibre entre ces trois piliers est un enjeu social, politique, économique et technologique complexe. La plateforme de la CEE sur les systèmes énergétiques résilients, grâce à des ressources telles que le présent document, aide grandement les États membres à recenser les différentes options et à mieux comprendre les compromis nécessaires à trouver et les possibilités de synergies à exploiter entre i) la sécurité énergétique, ii) la qualité de vie, et iii) la durabilité environnementale. Bien qu'il n'existe pas de solution simple, il est urgent de trouver un équilibre entre ces objectifs à la fois concurrents et interdépendants.

ENCADRÉ 1 Recommandations clefs aux fins de la mise en place de systèmes énergétiques résilients

Selon les experts du Comité de l'énergie durable, les responsables qui veulent construire des systèmes énergétiques résilients doivent en priorité prendre les cinq mesures suivantes pour améliorer l'efficacité systémique, optimiser l'utilisation des ressources et réduire l'empreinte carbone qui en résulte :

- 1. Appliquer en priorité des solutions permettant d'améliorer l'efficacité énergétique.** Il faut améliorer l'efficacité énergétique de l'ensemble du système (industrie, bâtiments et transports), ainsi que dans tous les systèmes de production, de transmission et de distribution énergétique, ce qui permettra de renforcer la capacité des systèmes énergétiques à absorber les chocs et à revenir rapidement à un niveau normal de fonctionnement.
- 2. Opérer la transition numérique des systèmes énergétiques** et tirer parti des possibilités offertes par l'amélioration de la culture numérique et la disponibilité de solutions numériques tout au long du processus de transition énergétique et à tous les niveaux des systèmes énergétiques. La transition numérique peut permettre de réduire la demande d'énergie finale et d'améliorer la résilience des systèmes énergétiques.
- 3. Accélérer la transition vers des carburants à faible teneur en carbone ou décarbonés.** Les pays devraient mettre en place des stratégies d'utilisation des combustibles afin de garantir la stabilité de leur économie et d'assurer leur sécurité énergétique, tout en remplaçant progressivement les combustibles à forte teneur en carbone par des produits de haute technologie à teneur faible ou nulle en carbone.
- 4. Gérer les ressources de manière efficace, durable et en tenant compte du principe de circularité,** en utilisant la Classification-cadre des Nations Unies pour les ressources (CCNU) et le Système des Nations Unies pour la gestion des ressources, qui sont conçus pour améliorer la gestion des ressources et la planification des projets. Il est essentiel de tenir compte du principe de circularité dans le processus décisionnel, car la transition énergétique nécessitera une plus grande circularité des matériaux et des ressources, grâce notamment à la conception de biens prévus pour être réparés ou recyclés.

2 Agence internationale de l'énergie (2021), « Greenhouse Gas Emissions from Energy: Overview », disponible à l'adresse <https://www.iea.org/reports/greenhouse-gas-emissions-from-energy-overview>.

3 Hannah Ritchie, Max Roser et Pablo Rosado (2020), « CO₂ and Greenhouse Gas Emissions », disponible à l'adresse <https://ourworldindata.org/co2-and-other-greenhouse-gas-emissions>.

ENCADRÉ 1 Recommandations clefs aux fins de la mise en place de systèmes énergétiques résilients *(suite)*

5. Accélérer le déploiement de technologies à teneur faible ou nulle en carbone afin de décarboniser progressivement les systèmes énergétiques. Il faut investir à grande échelle dans les énergies renouvelables et remplacer les carburants à forte teneur en carbone par d'autres produits de haute technologie à teneur faible ou nulle en carbone lorsque cela est techniquement possible et économiquement viable. Il faut également prendre des mesures pour réduire, grâce au développement du captage, de l'utilisation et du stockage du dioxyde de carbone (CUSC), l'empreinte carbone des carburants à base d'hydrocarbures qui continueront d'être utilisés, encourager le renforcement de la coopération et élaborer des cadres réglementaires, des technologies et des mécanismes de financement non discriminatoires pour favoriser l'investissement à l'échelle de la région dans toutes les technologies à teneur faible ou nulle en carbone.

Ces recommandations sont détaillées dans la suite du document, s'agissant notamment des prévisions sectorielles de demande d'énergie, des possibilités d'approvisionnement selon les différents combustibles et technologies, et des possibilités transversales dont disposent les décideurs pour mettre au point des systèmes énergétiques résilients.

ENCADRÉ 2 Principales considérations à l'intention des décideurs

Lors de l'examen des différentes possibilités qui s'offrent à eux, il importera que les décideurs tiennent compte des éléments suivants :

1. Être conscient qu'il n'existe pas de solution toute faite. Chaque pays met en place des systèmes énergétiques résilients en tenant compte du caractère unique de son contexte national – dotation en ressources naturelles, base technologique, modèle socioéconomique, patrimoine culturel et structures institutionnelles, juridiques et réglementaires – et de ses aspirations en matière de développement. Toutes ces caractéristiques doivent être prises en compte et évaluées dans le cadre du processus de planification.

2. Tenir compte des objectifs à long terme lors de l'élaboration des politiques. Si certaines des stratégies mises en œuvre par les États membres, en matière par exemple d'efficacité énergétique, s'inscrivent clairement dans la durabilité à long terme ou les objectifs environnementaux, d'autres, comme l'augmentation à court terme du recours aux combustibles fossiles, présentent des risques. Il est donc important que les États membres définissent et appliquent un ensemble optimal de stratégies à court, à moyen et à long terme qui les aideront à bâtir des systèmes énergétiques résilients qui les protégeront des chocs à venir et leur permettront d'atteindre leurs objectifs à court et à long terme en matière de sécurité énergétique, d'économie et d'environnement.

3. S'attaquer aux obstacles comportementaux afin de libérer tout le potentiel des technologies innovantes à teneur faible ou nulle en carbone et de la transition numérique. Bien que les technologies et les capacités nécessaires à la mise en place de systèmes énergétiques résilients existent, ce processus reste sporadique et lent. Il faut prendre en compte les aspects psychologiques de ce processus et exploiter les possibilités d'optimisation organisationnelle et comportementale liées aux comportements des utilisateurs du système énergétique⁴.

4. Former une main-d'œuvre capable d'assurer une transition énergétique juste et remédier à la pénurie de compétences et de main-d'œuvre. Il faut investir dans la formation d'experts, notamment dans le cadre d'initiatives de renforcement des capacités et de programmes de développement des compétences, afin de disposer d'une main-d'œuvre capable d'élaborer, de déployer et d'entretenir les technologies et services liés à l'énergie propre et à l'efficacité énergétique, et de fournir des conseils dans ce domaine.

5. Intégrer les questions de résilience dans les activités de planification en cours, dans la mesure du possible. Les décideurs devraient intégrer les questions liées à la résilience dans les stratégies et plans existants, tels que les stratégies nationales en matière d'énergie ou de relance économique, les plans de modernisation des infrastructures énergétiques et/ou les contributions déterminées au niveau national (CDN) dans le contexte de la Convention cadre sur les changements climatiques, afin de tirer parti des éventuelles synergies et de compléter et de renforcer les autres mesures prises, tout en évitant les chevauchements d'activité.

6. Tenir compte des effets des changements climatiques sur l'offre et la demande. Par exemple, la hausse des températures entraînera une augmentation de la demande de climatisation, tandis que les pénuries d'eau, les inondations, les phénomènes météorologiques extrêmes et l'élévation du niveau de la mer constituent des menaces pour la production et la distribution de l'énergie dans la région de la CEE. Les décideurs devraient réfléchir à des plans d'intervention pour renforcer la résilience des systèmes énergétiques.

⁴ CEE, « Addressing Behavioural Barriers towards Energy Benefits Enabled by Digitalization » (ECE/ENERGY/GE.6/2022/6), à paraître, octobre 2022.

Mesures transversales à prendre immédiatement

Pour que la région de la CEE dispose de systèmes énergétiques résilients, sûrs et respectueux de l'environnement à un coût abordable, il faudra déployer des technologies à émissions de carbone faibles ou nulles. Pour y parvenir, les experts estiment qu'il faudra : i) mener des campagnes de sensibilisation auprès de toutes les parties prenantes pour leur expliquer les raisons de la fragilité du système énergétique actuel et la nécessité de bâtir un système résilient, ainsi que la manière d'y parvenir ; ii) élaborer un cadre réglementaire clair et concevoir un système énergétique qui permette de déployer et d'intégrer efficacement toutes les technologies pertinentes ; iii) mettre en place des mécanismes de financement et mobiliser des fonds publics et privés. Pour appuyer directement ces mesures, les décideurs pourront mener les actions détaillées ci-après.



Mener des actions de sensibilisation quant à la nécessité de concevoir et d'élaborer des systèmes énergétiques résilients et neutres en carbone

- **Définir les éléments de langage qui trouveront un écho auprès de tous les acteurs**, en tenant compte des crises actuelles et des répercussions qui en résultent pour les parties prenantes.
- **Informar les parties prenantes des pratiques exemplaires** en matière de consommation énergétique et d'économie d'énergie. La plupart de ces solutions ne nécessitent que peu ou pas d'investissement et procurent des avantages considérables.
- **Familiariser les parties prenantes avec tous les avantages et les risques** associés à d'autres technologies et solutions à teneur faible ou nulle en carbone.
- **Créer un environnement propice** à la dissipation des craintes, à l'élimination des barrières mentales, à l'acquisition de la confiance nécessaire à la mise en œuvre des solutions proposées, et à l'initiative individuelle pour atteindre les objectifs fixés.
- **Recenser et appliquer les approches** à l'efficacité prouvée qui ont permis de renforcer les compétences et connaissances des parties prenantes et ont donc facilité l'adoption généralisée et décentralisée des solutions et mesures techniques et non techniques proposées.



Créer des cadres réglementaires propices à la mise en place de systèmes énergétiques résilients et neutres en carbone

- **Élaborer et appliquer des cadres réglementaires clairs et non discriminatoires** d'un point de vue technique pour toutes les technologies à émissions de carbone nulles ou faibles nécessaires à la mise en place de systèmes énergétiques résilients dans la région.
- **Promouvoir une approche fondée sur les interactions aux fins de la gestion de la base de ressources naturelles** de la région, en établissant des liens solides avec la sécurité alimentaire, la sécurité de l'eau et de l'énergie et la préservation de la nature⁵.
- **Mettre en place dans l'ensemble de la région des cadres cohérents de planification, d'élaboration des politiques et de gestion des marchés** pour envoyer des signaux favorables aux investisseurs et mobiliser des financements privés en faveur de projets gourmands en capitaux.
- **Examiner les infrastructures d'interconnexion dans l'ensemble de la région.** La conception de réseaux est une tâche très complexe sur le plan technique. Il convient d'étudier soigneusement tout changement qu'il serait envisagé d'apporter à la structure existante et d'en bien comprendre les implications.

⁵ CEE (2021), *Natural Resource Nexuses in the ECE region*, disponible à l'adresse <https://unece.org/info/Sustainable-Energy/UNFC-and-Sustainable-Resource-Management/pub/355180>.

- **Séparer les interconnexions afin d'isoler les perturbations** qui pourraient toucher le système et d'éviter qu'elles ne se répercutent en cascade.
- **Assurer la (cyber)sécurité dès la phase de conception** à tous les niveaux du système énergétique afin de favoriser la réactivité et la résilience grâce à des solutions numériques.
- **Veiller à la circularité dès la phase de conception** afin d'améliorer la sécurité énergétique, d'assurer la disponibilité des matières premières secondaires et de renforcer la résistance aux chocs.
- **Envisager d'intégrer les systèmes énergétiques.** La planification et l'exploitation coordonnées des systèmes énergétiques (des différents vecteurs énergétiques, infrastructures et secteurs de consommation) pourraient favoriser les gains d'efficacité et contribuer à la diversité et au partage des ressources.
- **Étudier des moyens concrets de rendre l'énergie abordable** dans la région de la CEE en examinant les réglementations et les tarifs actuels et en déterminant les possibilités d'améliorer le rapport coût-efficacité de la production d'énergie et de sa fourniture à l'utilisateur final.



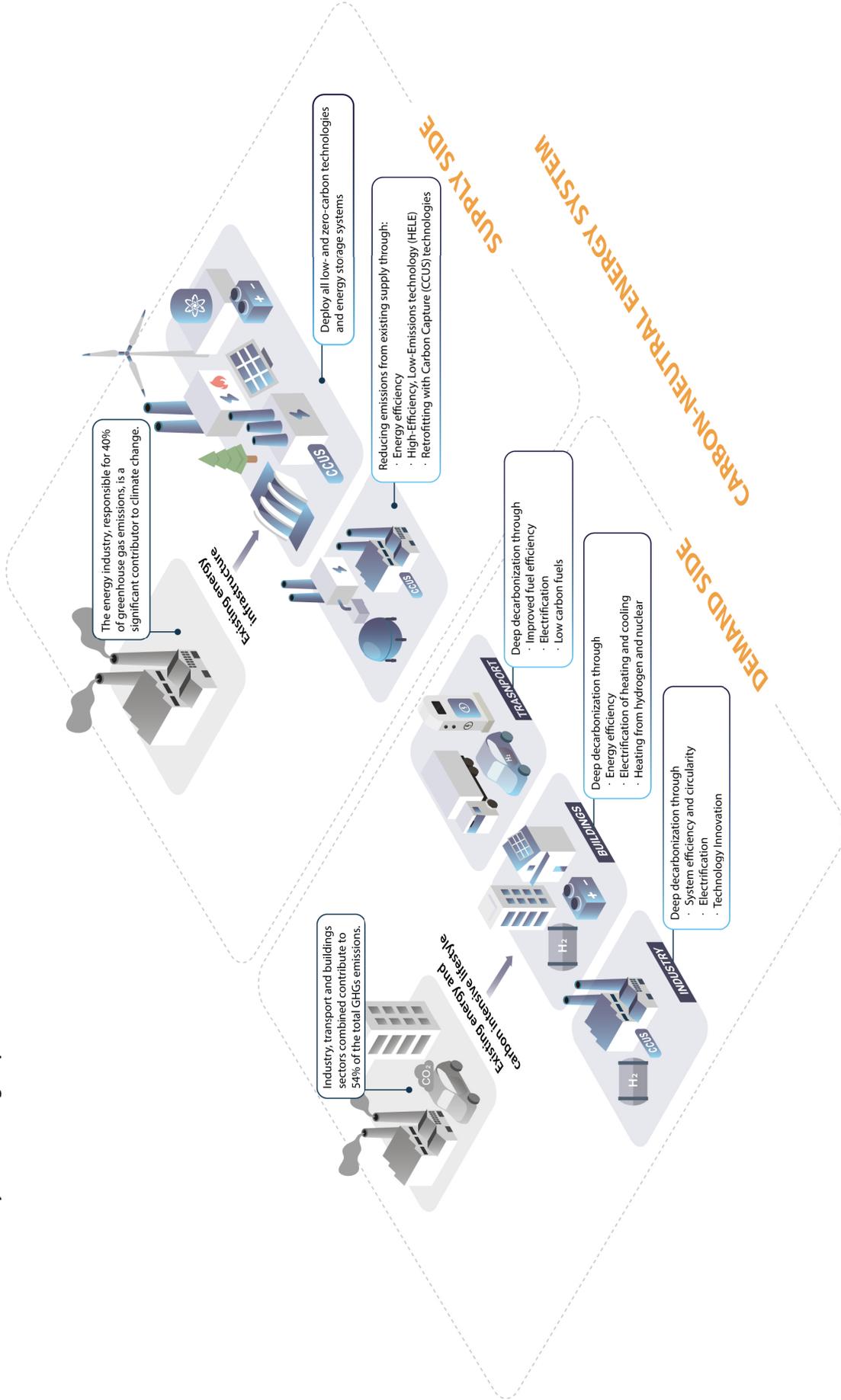
Financer la mise en place de systèmes énergétiques résilients et neutres en carbone

- **Mettre en place une coopération avec la communauté financière mondiale** aux fins de l'élaboration d'un cadre d'investissement qui facilitera le développement et le déploiement de toutes les technologies à teneur faible ou nulle en carbone (notamment les technologies fondées sur le CUSC, le captage, l'utilisation ou la conversion du méthane émis lors de l'extraction des combustibles fossiles, la production d'hydrogène renouvelable et à faible teneur en carbone, l'énergie nucléaire – pour les pays qui défendent cette source – et les énergies renouvelables).
- **Appuyer les projets de développement** en mettant en place une structure adaptée de partage des risques et faciliter l'accès à un financement à faible coût pour accélérer le déploiement de nouvelles technologies innovantes.
- **Élaborer des classifications de la finance climatique et durable** fondées sur des méthodes scientifiques et neutres d'un point de vue technologique, et appuyer la transition vers une économie sobre en carbone.
- **Encourager les organismes de financement internationaux à mettre les fonds nécessaires à la disposition** des projets de CUSC et d'exploitation du méthane provenant des mines de charbon et des mines abandonnées et du gaz de charbon, les filières de production d'hydrogène renouvelable et à faible teneur en carbone, et les projets de centrale nucléaire de nouvelle génération (dans les pays qui appuient l'énergie nucléaire).
- **Évaluer les approches actuelles en matière de tarification du carbone et de subventions énergétiques** dans la région de la CEE et au-delà afin de recenser les améliorations et les pratiques exemplaires qui pourraient être appliquées dans la région, en veillant à ce que la tarification tienne compte des externalités et que le marché envoie les signaux appropriés aux consommateurs et aux investisseurs.
- **Encourager les décideurs et les utilisateurs finaux à prendre la décision d'investissement.** Dans de nombreux cas, les aspects du projet liés à l'énergie et à la décarbonisation dépassent le champ de compétence et d'expérience des décideurs (financiers), ce qui conduit ces derniers à surestimer les risques, d'où un frein à l'investissement, alors même que des fonds sont disponibles.

On trouvera dans la suite du document une présentation détaillée des possibilités et des solutions techniques recommandées par les experts concernant la demande sectorielle d'énergie et l'approvisionnement énergétique selon le type de combustible. En appui à ces solutions, les décideurs devraient, selon les besoins, envisager de concevoir, de mettre en œuvre et d'adopter des politiques, normes, lois, mesures d'incitation et programmes volontaires de renforcement des capacités.

FIGURE 2

Schématisation d'un système énergétique transformé



Solutions détaillées pour la conception de systèmes énergétiques résilients : demande d'énergie par secteur

Il existe trois grandes catégories d'activités sur lesquelles les décideurs devraient concentrer leurs efforts pour renforcer la résilience des systèmes énergétiques du point de vue de la demande : l'efficacité énergétique, la transition numérique et la substitution de combustible dans les secteurs du bâtiment, de l'industrie et des transports.

- **L'efficacité énergétique** est l'un des facteurs déterminants d'un système énergétique sûr et résilient, et elle nécessite une réflexion et une gouvernance intégrées. Elle peut permettre de réduire la consommation, de contribuer à la gestion de la courbe de charge et de limiter les investissements d'infrastructure, tout en procurant des avantages sociaux et environnementaux. Il faut étudier et déployer à grande échelle les solutions qui améliorent l'efficacité énergétique tant du côté de la demande que de l'offre. Il reste encore de vastes possibilités à exploiter, même si les défis qu'elles posent ne sont souvent pas d'ordre technique, mais davantage liés au système ou au niveau d'adoption par les utilisateurs. Il faudrait pour cela organiser des campagnes de sensibilisation efficaces pour faire connaître aux parties prenantes les mesures facilement applicables et à coût faible ou nul qui auraient un effet important à court terme sur la consommation d'énergie.
- **La transition numérique à l'échelle du système** pourrait permettre de combler de nombreuses lacunes systémiques tout en offrant de nouvelles possibilités grâce à un bouleversement de la façon dont les dispositifs, les systèmes et les acteurs communiquent. Les technologies numériques pourraient apporter une souplesse considérable du côté de la demande, ce qui pourrait jouer un rôle central dans l'équilibre du réseau et la réduction à moindres frais de l'empreinte carbone des systèmes énergétiques. L'apprentissage automatique et l'intelligence artificielle peuvent contribuer à optimiser la consommation d'énergie, à repérer les inefficacités et les anomalies et à automatiser le passage d'une source d'énergie à une autre, en fonction du prix et de la disponibilité⁶. Les outils numériques permettent d'optimiser l'utilisation des ressources en temps réel et d'établir des feuilles de route individuelles pour la décarbonisation^{7,8,9}.
- **La substitution de produits technologiques à teneur faible ou nulle en carbone à des combustibles à forte intensité de carbone** requiert un effort de la part des utilisateurs. Par exemple, la production locale d'énergie propre, telle que la production d'énergie solaire sur les toits, ou l'utilisation sur place de ressources qui sinon auraient été perdues, telles que la chaleur résiduelle, pourrait grandement soulager les systèmes énergétiques, réduire l'exposition aux chocs du côté de l'offre et des prix, et améliorer l'autosuffisance et la capacité à éviter les pannes coûteuses et préjudiciables.

6 CEE, « Digitalization: enabling the new phase of energy efficiency » (GEEE-7/2020/INF.3), disponible à l'adresse <https://unece.org/documents/2020/12/informal-documents/digitalization-enabling-new-phase-energy-efficiency>.

7 CEE, « Voie à suivre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'industrie manufacturière : facteurs déterminants en vue d'une évaluation au niveau économique des mesures de décarbonisation dans l'industrie », ECE/ENERGY/GE.6/2021/3, disponible à l'adresse <https://unece.org/sed/documents/2021/07/working-documents/pathway-reducing-greenhouse-gas-footprint-manufacturing>.

8 CEE, « Transition numérique : accélérer la transformation des systèmes électriques », ECE/ENERGY/GE.5/2022/4 et ECE/ENERGY/GE.6/2022/4, disponible à l'adresse <https://unece.org/sed/documents/2021/06/working-documents/improving-efficiency-buildings-through-digitalization>.

9 CEE, « Voie à suivre pour réduire les émissions de gaz à effet de serre dans l'industrie manufacturière : facteurs déterminants en vue d'une évaluation au niveau économique des mesures de décarbonisation dans l'industrie », ECE/ENERGY/GE.6/2021/3, disponible à l'adresse <https://unece.org/sed/documents/2021/07/working-documents/pathway-reducing-greenhouse-gas-footprint-manufacturing>.

Secteur du bâtiment

Pour améliorer l'efficacité énergétique, mettre en place des systèmes énergétiques résilients et appuyer la décarbonisation dans le secteur du bâtiment, les experts estiment que les décideurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes volontaires de renforcement des capacités répondant aux objectifs suivants :

- **Améliorer l'efficacité énergétique dans le secteur du bâtiment** en déployant des technologies numériques aux fins de la conception et de la fabrication de matériaux, de produits, de structures et de systèmes d'ingénierie, en décarbonisant les chaînes d'approvisionnement du secteur du bâtiment, en utilisant des matériaux et des techniques de construction à haut niveau de technicité, en rénovant et en isolant les bâtiments existants, et en veillant, grâce à des mécanismes de contrôle, à ce que les nouveaux bâtiments respectent les normes de durabilité et d'efficacité énergétique^{10,11}.
- **Amplifier les programmes de construction de bâtiments à énergie zéro** en développant la production d'énergie renouvelable distribuée sur les toits et en renforçant le rôle des prosommateurs. Utiliser des appareils intelligents, des compteurs intelligents et des solutions fondées sur l'intelligence artificielle associés à des analyses de données, à des boucles de rétroaction et à des outils de protection des données pour modéliser les besoins individuels, assurer une intégration efficace des sources d'énergie renouvelables et améliorer la coordination entre les systèmes de transmission et de distribution.
- **Moderniser les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation** et veiller à ce qu'ils fonctionnent efficacement. L'installation de pompes à chaleur et de systèmes de récupération thermique pourrait permettre de réduire considérablement les émissions et d'accroître les économies d'énergie dans les secteurs résidentiel, commercial et industriel. Des mesures incitatives devraient être prises pour favoriser la modernisation et le passage au numérique des systèmes traditionnels de chauffage, ventilation et climatisation, dans le but d'améliorer leur efficacité.
- **Adopter des solutions de chauffage (et de refroidissement) urbain sobres en carbone** en utilisant les énergies renouvelables, la chaleur résiduelle (par exemple, la chaleur résiduelle produite par les centres de données, les zones industrielles et les raffineries peut être utilisée pour chauffer des habitations ou des entreprises, comme le montrent de nombreux exemples en Europe), l'énergie nucléaire (dans les pays qui misent sur cette technologie), l'hydrogène et, dans les cas où des technologies de réduction des émissions sont utilisées à la fois pour l'approvisionnement et l'utilisation, les combustibles fossiles (par exemple, le charbon ou le gaz naturel, lorsque des solutions de réduction des émissions de méthane et de captage du carbone sont mises en œuvre respectivement lors de l'approvisionnement en combustible et dans la phase de postcombustion de la chaîne de valeur).
- **Appliquer un modèle dans lequel l'énergie et les ressources seraient considérées comme des services**, à la différence des modèles actuels fondés sur les matières premières et les produits, dans le but de s'orienter vers des modèles par abonnement et axés sur les résultats. Dans un tel modèle, un fournisseur d'énergie s'engage à fournir un service – par exemple, une température intérieure ou un niveau de luminosité – selon des modalités convenues plutôt que de l'énergie à un prix défini selon une unité précise (par exemple, le kWh). Le fournisseur est donc incité à améliorer l'efficacité énergétique, source directe d'économies d'énergie et d'optimisation des profits. Cette approche joue un rôle essentiel dans la transition vers une économie circulaire et permet d'accroître l'efficacité des ressources et de réduire l'empreinte carbone.

10 CEE, « Mise à jour des Orientations-cadres pour l'élaboration de normes sur l'efficacité énergétique dans les bâtiments » (ECE/ ENERGY/GE.6/2020/4), disponible à l'adresse <https://unece.org/documents/2020/12/updated-framework-guidelines-energy-efficiency-standards-buildings>.

11 CEE, « Améliorer l'efficacité des bâtiments en s'appuyant sur la numérisation – Recommandations de l'Équipe spéciale de la transition numérique dans le domaine de l'énergie » (ECE/ENERGY/GE.6/2021/5), disponible à l'adresse <https://unece.org/sed/documents/2021/06/working-documents/improving-efficiency-buildings-through-digitalization>.

Secteur de l'industrie

Pour améliorer l'efficacité énergétique, mettre en place des systèmes énergétiques résilients et appuyer la décarbonisation dans le secteur de l'industrie, les experts estiment que les décideurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes volontaires de renforcement des capacités répondant aux objectifs suivants :

- **Assurer un suivi de l'utilisation de l'énergie et des émissions afférentes**, dans le contexte de la consommation d'énergie et de ressources ainsi que de l'empreinte carbone et de l'empreinte méthane, et suivre l'utilisation de l'énergie sous toutes ses formes, idéalement au moyen d'un système de mesure automatique des données énergétiques¹².
- **Appliquer des approches fondées sur le numérique**, par exemple en mettant en place des compteurs intelligents et des capteurs de détection d'anomalies et de fuites, et en mettant en œuvre des techniques avancées de gestion de la charge et de souplesse énergétique fondées sur les données de consommation d'énergie et de ressources.
- **Déployer des technologies prêtes à être commercialisées** et présentant un fort potentiel d'économies d'énergie¹³, et prendre une série de mesures non techniques permettant d'économiser de l'énergie à court terme et de repérer des possibilités d'économies. Ces technologies, si elles étaient pleinement adoptées, pourraient faire baisser d'environ 30 % la demande énergétique dans le secteur de l'industrie^{ibid}.
- **Déployer des solutions innovantes à teneur faible ou nulle en carbone**. Pour certains secteurs industriels tels que la production d'acier, de ciment ou de produits chimiques, il n'est pas facile de réduire l'utilisation de combustibles fossiles. La mise en œuvre de technologies innovantes telles que le captage, utilisation et le stockage du dioxyde de carbone (CUSC) pourrait faciliter la décarbonisation de ces secteurs où il est difficile de faire baisser les émissions.
- **Améliorer la recyclabilité et la réparabilité des produits** afin de parvenir à une circularité totale en appliquant des modèles fondés sur la neutralité carbone. Cela permettrait de réduire l'empreinte carbone et d'alléger la pression exercée sur l'approvisionnement en matières premières et en produits intermédiaires. Appliquer les principes et prescriptions du Système des Nations Unies pour la gestion des ressources¹⁴.
- **Mettre en place**, à l'intention des microentreprises et petites et moyennes entreprises, qui souvent ne disposent pas des compétences et des capacités requises en interne, des mécanismes d'information sur les possibilités de renforcer leur résilience énergétique et de réduire leurs coûts énergétiques. Leur donner les moyens d'agir grâce à des programmes consultatifs aux niveaux local et régional, à des réseaux encadrés de collaboration interentreprises et à des référentiels multilingues en ligne proposant des formations et des matériels^{15, 16, 17}.

¹² CEE, « Framing the ambition of carbon neutrality », GEEE-7/2020/INF.2.

¹³ Ministère fédéral de l'économie et de la protection du climat, « Marktverfügbare Innovationen mit hoher Relevanz für die Energieeffizienz in der Industrie », disponible à l'adresse <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/marktverfuegbare-innovationen-mit-hoher-relevanz-fuer-energieeffizienz-in-der-industrie.pdf>.

¹⁴ CEE (2022), « Draft United Nations Resource Management System: Principles and Requirements », disponible à l'adresse https://unece.org/sites/default/files/2022-04/ECE_ENERGY_GE.3_2022_6.pdf.

¹⁵ Innoveas, « Trainings for Small and Medium sized Enterprises », disponible à l'adresse <https://innoveas.eu/>.

¹⁶ SME Climate Hub, disponible à l'adresse <https://smeclimatehub.org/>.

¹⁷ Green Industry Platform (GIP), disponible à l'adresse <https://www.greenindustryplatform.org/>.

Secteur des transports

Pour améliorer l'efficacité énergétique, mettre en place des systèmes énergétiques résilients et appuyer la décarbonisation dans le secteur des transports, les experts estiment que les décideurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes volontaires de renforcement des capacités répondant aux objectifs suivants :

- **Électrifier le secteur des transports** grâce à des politiques favorisant la réduction de la demande de pétrole et des émissions de carbone dans l'ensemble du secteur. Mettre en place des mécanismes de tarification, de comptage et de facturation. Cela doit être fait en même temps que la décarbonisation du réseau électrique, sous peine d'augmenter les émissions.
- **Utiliser des moyens numériques** pour éviter les embouteillages, améliorer les systèmes de gestion du trafic et du stationnement, augmenter la capacité des systèmes de transport sobres en carbone et favoriser le développement du transport multimodal et des systèmes de billetterie.
- **Sensibiliser les conducteurs à l'importance des mesures d'économies d'énergie** dans le secteur des transports, par exemple en ajustant la pression des pneus, en réduisant les charges, en évitant de laisser tourner le moteur à l'arrêt et en adaptant la vitesse afin de réduire l'empreinte carbone et d'améliorer le coût au kilomètre parcouru.
- **Élaborer de nouvelles solutions sobres en carbone**, telles que l'hydrogène renouvelable et à faible teneur en carbone, le stockage en batterie, les carburants de synthèse et le captage direct du CO₂ dans l'air. Ces solutions jouent un rôle central dans la décarbonisation des segments du secteur des transports dans lesquels il est difficile de réduire les émissions, notamment le transport routier à longue distance, l'aviation et le transport maritime.

Solutions détaillées pour la conception de systèmes énergétiques résilients : approvisionnement en énergie selon le type de combustible et stockage

Énergies renouvelables

Les technologies des énergies renouvelables ont un rôle clef à jouer dans la mise en place des systèmes énergétiques résilients nécessaires à la réalisation des objectifs du Programme 2030 et au respect des engagements pris dans l'Accord de Paris. Dans les pays d'Europe de l'Est et du Sud-Est, d'Asie centrale et du Caucase et dans la Fédération de Russie, la part de l'électricité renouvelable a connu une croissance sans précédent depuis 2018, sauf dans les secteurs des transports, du chauffage et du refroidissement. Dans les 17 pays étudiés, l'investissement public et privé dans les énergies renouvelables reste modeste au regard des tendances à l'échelle mondiale. Les pays de la région doivent investir massivement dans les énergies renouvelables¹⁸. Selon les experts, pour accélérer le développement des énergies renouvelables, les décideurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes volontaires de renforcement des capacités répondant aux objectifs suivants :

- **Accélérer le déploiement des technologies d'énergie renouvelable** (telles que le solaire et l'éolien). Les décideurs devraient tirer parti des avantages économiques et environnementaux qu'offrent les technologies des énergies renouvelables, notamment dans le cadre de programmes de renouvellement des infrastructures et en élaborant des scénarios de fin de vie pour favoriser la réutilisation de matériaux rares.
- **Appliquer la CCNU et le Système de gestion des ressources en tant que normes axées sur la société et l'environnement** afin d'évaluer de manière exhaustive le potentiel des ressources en énergies renouvelables et de favoriser leur développement dans le contexte d'autres secteurs énergétiques tels que ceux du gaz naturel ou de l'extraction de matières premières essentielles. Il s'agit de promouvoir une approche fondée sur les interactions entre l'eau, l'alimentation et la sécurité énergétique, tout en gérant les ressources naturelles de la région.
- **Encourager les projets de production d'énergie renouvelable distribuée** afin de minimiser les besoins en matière de transmission et de distribution d'énergie et de réduire les pertes sur le réseau. Les systèmes éoliens, hydroélectriques, géothermiques et solaires de taille réduite pourraient présenter un intérêt dans les endroits qui ne se prêtent pas à des installations à grande échelle. Le développement de systèmes souples de production d'électricité et de chaleur permet de trouver un équilibre entre les différents modes de production variable.
- **Déployer des petites installations photovoltaïques et thermiques autonomes sur les toits des bâtiments publics, commerciaux et privés** afin d'accélérer de manière significative la transformation du système énergétique. En les associant à différents types de stockage intelligent, il serait possible de créer une capacité de stockage tampon, ce qui soulagerait l'infrastructure de transport d'électricité et économiserait des ressources limitées. Cela permettrait également de protéger les consommateurs contre les pannes et les chocs énergétiques.
- **Étudier dans quelle mesure le charbon, en plus du gaz naturel, peut constituer à court terme un complément efficace** aux ressources solaires et éoliennes intermittentes pour assurer un approvisionnement continu en électricité lorsque l'approvisionnement en gaz est incertain. Si certains combustibles fossiles sont jugés efficaces à court terme, il est important d'améliorer autant que possible les technologies d'exploitation de ces sources de production d'électricité afin d'accroître leur efficacité tout en minimisant leur empreinte écologique.

¹⁸ CEE (2022), Renewable Energy Status Report, disponible à l'adresse https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/REN21_UNECE2022_FullReport.pdf.

- **Mettre à profit la souplesse du côté de la demande et les possibilités de stockage virtuel** offertes par les grands consommateurs d'énergie, ainsi que les diverses modalités de stockage (électrique, mécanique, thermique ou chimique), à moyen et à long terme, pour s'affranchir de l'utilisation de combustibles fossiles à des fins de production d'électricité ou de chaleur, à moins qu'il soit possible de réduire à zéro les émissions afférentes par d'autres moyens (c'est-à-dire le captage et le stockage du carbone, soit directement, soit par l'élimination directe du dioxyde de carbone dans l'air).
- **Élaborer des mécanismes de répartition efficace de la production variable** qui pourraient constituer une solution de rechange viable à l'intégration de l'énergie renouvelable avec des ressources d'équilibrage très souples, tout en prenant des mesures pour améliorer la flexibilité du système afin de minimiser les restrictions liées aux énergies renouvelables.
- **Intensifier le déploiement des énergies renouvelables grâce à une approche intégrée du système énergétique.** Cette approche permet d'établir des liens entre les systèmes d'électricité, de chauffage et de refroidissement. Par exemple, le surplus d'électricité d'origine éolienne ou solaire ainsi que la chaleur résiduelle produite par l'industrie permettraient de chauffer des réservoirs de stockage thermique utilisés pour le chauffage urbain et ainsi de fournir de la chaleur aux clients finaux.
- **Intensifier l'élaboration de projets hydroélectriques**, du fait des avantages qu'ils procurent en termes de stockage et de souplesse d'exploitation pour l'intégration d'énergies renouvelables à la production intermittente. Il est important d'évaluer, dans l'ensemble de la région, les possibilités d'extension de l'infrastructure hydroélectrique existante, ainsi que les possibilités de construire de nouvelles centrales de production basées sur des réservoirs. Il est essentiel, lors de la conception des projets, de prendre en compte les risques associés aux changements climatiques et aux sécheresses persistantes.
- **Développer le stockage de l'énergie par pompage d'eau** en tant que moyen pouvant fournir une capacité de stockage de l'électricité à grande échelle pour lisser la production des énergies renouvelables. Les champs pétrolifères épuisés et les mines abandonnées peuvent, sans occasionner trop de perturbations, constituer des sites appropriés pour le stockage de l'énergie par pompage d'eau, d'autres systèmes de stockage de l'énergie ou des installations de production énergétique locale.
- **Améliorer les systèmes de transmission** pour absorber dans le réseau les capacités croissantes des énergies renouvelables et des électrolyseurs. Mettre en œuvre des mécanismes garantissant que l'énergie renouvelable excédentaire que le réseau ne peut absorber est stockée et non gaspillée, et étendre les interconnexions entre les réseaux régionaux, nationaux et panrégionaux afin de permettre le transfert de l'énergie excédentaire vers les zones où la demande est supérieure à l'offre et d'accroître la résilience globale du réseau.

Bioénergie

La bioénergie est une source d'énergie renouvelable provenant de la biomasse, dérivée de matières biologiques produites directement ou indirectement par photosynthèse. Elle peut constituer une ressource énergétique durable pour les États membres. Toutefois, avant d'investir massivement dans la bioénergie, il est essentiel que les décideurs prennent en considération ses effets potentiels sur la sécurité alimentaire et sur l'environnement, notamment l'épuisement des ressources hydriques et leur pollution, la dégradation des sols, l'épuisement des nutriments et la perte de la biodiversité sauvage et agricole. Il est nécessaire de mettre en œuvre une approche intégrée, holistique et fondée sur les interactions pour développer la production bioénergétique de manière appropriée.

Selon les experts, pour accélérer le développement des biocarburants provenant de la valorisation de la biomasse et des déchets, les décideurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes volontaires de renforcement des capacités répondant aux objectifs suivants :

- **Produire des biocarburants tels que l'éthanol de maïs ou le biogaz** pour décarboniser le secteur des transports dans les segments qu'il est difficile d'électrifier. Toutefois, il est important de prendre en compte les aspects économiques liés à l'utilisation des terres et les impacts potentiels sur l'environnement et la sécurité alimentaire, en particulier si la production d'engrais est également affectée par les coûts du gaz naturel.

- **Élaborer des projets de production combinée de chaleur et d'électricité** à partir de la biomasse et des déchets, éventuellement avec captage, utilisation et stockage du dioxyde de carbone (CUSC) à long terme, afin de renforcer la sécurité énergétique, de diversifier l'approvisionnement et de favoriser la circularité aux niveaux municipal et régional.
- **Exploiter pleinement le potentiel de la biomasse et des déchets** dans le système énergétique grâce à l'augmentation de la production de biocarburants. La biomasse et les déchets constituent des matières premières idéales pour la production de biogaz et de biométhane amélioré. L'utilisation de la chaleur résiduelle contribue à la sécurité de l'approvisionnement en énergie, car les déchets proviennent essentiellement de sources locales. Les biocarburants peuvent être injectés dans le réseau de distribution et utilisés à des fins multiples, allant de la production combinée de chaleur et d'électricité au transport par véhicules lourds.

Gaz naturel

Tant que le potentiel des gaz à faible teneur en carbone et des gaz renouvelables ne sera pas pleinement exploité, le gaz naturel continuera probablement de jouer un rôle moteur dans la transition énergétique. Selon les experts, pour répondre aux besoins à court terme en gaz et aux objectifs à long terme en matière de gestion des émissions de méthane, des changements climatiques et du développement durable, les décideurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes volontaires de renforcement des capacités répondant aux objectifs suivants :

- **Augmenter la production nationale de pétrole et de gaz à court terme** sur la base des actifs opérationnels afin de répondre à la demande si les capacités existantes de production d'énergies renouvelables n'y suffisent pas. Il s'agit notamment d'augmenter la production des gisements de pétrole et de gaz de la mer du Nord, en Europe de l'Ouest, dont les réserves sont en train de diminuer. Ces gisements, lorsqu'ils présentent les caractéristiques requises, peuvent recevoir des fluides énergétiques à des fins de stockage et devenir des réservoirs de dioxyde de carbone au fur et à mesure que le pétrole ou le gaz sont extraits. Ce mécanisme permet alors de stocker à la fois de l'énergie et du carbone à long terme.
- **Repenser les options européennes de production de pétrole et de gaz à court terme**, y compris en relançant le débat sur l'utilisation de la fracturation hydraulique dans les sites où cela ne poserait pas de problème sur le plan géologique (c'est-à-dire en dehors des zones d'activité sismique), dans les pays qui défendent cette technologie, afin d'améliorer leur sécurité énergétique.
- **Développer les capacités d'importation et d'exportation de gaz naturel liquéfié (GNL)** dans l'ensemble de la région. Pour faire face à la demande prévue de gaz naturel, il faudra augmenter les capacités en matière de GNL et développer la flotte de transport dans les pays de la région non ou peu desservis par des gazoducs et dépourvus de capacités de stockage du gaz. Pour augmenter ces capacités, il faudra également développer les interconnexions afin de surmonter les goulets d'étranglement de la chaîne d'approvisionnement et de pleinement exploiter le potentiel de l'infrastructure gazière existante. Ces investissements ne se feront pas à perte, car à long terme, l'infrastructure gazière pourrait servir à faire transiter les importations et les exportations d'ammoniac ou d'hydrogène, voire de CO₂.
- **Étudier les possibilités d'exploitation du méthane provenant des mines de charbon ou des mines abandonnées et du gaz de charbon** à des fins de production d'électricité et, éventuellement, de production de gaz de synthèse. La transformation du charbon en gaz de synthèse utilisable en tant que combustible ou que produit chimique intermédiaire repose sur une technologie éprouvée mais coûteuse, qui nécessite la mise en œuvre de technologies de réduction des émissions pour parvenir à des émissions nettes nulles (tout comme dans le cas du gaz naturel, mais dans une mesure différente).
- **Réduire au minimum les émissions fugitives liées à la production et au transport du gaz naturel**, en appliquant les pratiques exemplaires qui ont fait leurs preuves dans les principaux pays de la région de la CEE. Cela permettra d'augmenter les quantités de gaz disponibles et de réduire les émissions de méthane, qui contribuent grandement au réchauffement de la planète.

- **Mettre en œuvre des technologies CUSC pour limiter l’empreinte carbone des combustibles fossiles** et produire des gaz à faible teneur en carbone, tels que l’hydrogène provenant du gaz naturel, de la biomasse ou du charbon. Le CO₂ ainsi capté pourrait être expédié et stocké dans des gisements de pétrole et de gaz en voie d’épuisement au moyen de processus d’exploitation améliorés du pétrole (et éventuellement du gaz), utilisé en tant que gaz industriel ou transformé en pierre.

Charbon

Le charbon reste une source de production d’électricité largement utilisée dans la région de la CEE. Les émissions incontrôlées provenant de la production à base de combustibles fossiles sont incompatibles avec les objectifs environnementaux fixés. Si l’utilisation du charbon, du gaz naturel et d’autres combustibles fossiles peut constituer une solution à court terme pour assurer la sécurité énergétique, son rôle à long terme dans le bouquet énergétique est discutable, à moins que cette utilisation ne s’accompagne de la mise en œuvre tout au long de la chaîne de valeur de technologies d’atténuation des émissions de carbone et de méthane.

Selon les experts, les décideurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes volontaires de renforcement des capacités répondant aux objectifs suivants :

- **Accélérer le déploiement des technologies CUSC et des technologies de conversion à haut rendement et à faibles émissions** dans les infrastructures de production au charbon existantes, en particulier dans les pays de la région de la CEE où il n’existe pas d’autres solutions viables et susceptibles d’être déployées rapidement pour réduire ou éliminer les émissions de carbone.
- **Assurer une gestion efficace des émissions fugitives de méthane provenant des mines de charbon**, y compris après la fermeture de ces mines. Les coûts d’investissement et d’exploitation des projets de réduction des émissions de méthane dans les mines de charbon sont inférieurs aux coûts des projets CUSC, sur la base d’une tonne d’équivalent CO₂.
- **Mettre en place des cadres réglementaires et financiers propices** à la mise en œuvre de projets relatifs au méthane provenant des mines de charbon, au gaz de houille, au méthane provenant des mines abandonnées et aux technologies CUSC. Le déblocage de l’investissement dans ce secteur et la mise à disposition de fonds pour le déploiement des solutions susmentionnées contribueraient à réduire l’empreinte carbone de l’ensemble de la chaîne d’approvisionnement en charbon.

Énergie nucléaire

Pour les pays qui défendent le nucléaire, cette technologie peut être une source d’énergie et de chaleur à faible teneur en carbone. Dans les pays qui décident d’exploiter l’énergie nucléaire, celle-ci peut jouer un rôle important dans la décarbonisation du système énergétique. Selon les experts, les décideurs désireux de construire davantage de réacteurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes répondant aux objectifs suivants :

- **Prolonger la durée de vie opérationnelle des réacteurs nucléaires existants** qui sont structurellement sûrs afin de renforcer la sécurité énergétique au niveau régional. Les pays de la CEE qui produisent de l’énergie nucléaire devraient réexaminer les plans existants relatifs à la fermeture de leurs centrales afin de retarder ce processus jusqu’à ce que les capacités de production des autres technologies à teneur faible ou nulle en carbone soient suffisantes pour répondre entièrement à la demande énergétique.
- **Accélérer la mise au point et le déploiement de technologies nucléaires avancées**, notamment les petits réacteurs modulaires, pour produire de la chaleur à haute température et de l’hydrogène. La construction de nouvelles centrales pourrait être envisagée du moment qu’elles répondent à des critères de sécurité et de faisabilité. Les petits réacteurs modulaires sont plus sûrs, moins chers et plus efficaces que les réacteurs conventionnels. Ils pourraient être construits à grande échelle pour satisfaire les besoins en énergie dans les endroits où les sources d’énergie renouvelables ne peuvent à elles seules répondre à la demande.

Hydrogène

L'hydrogène, qui est déjà utilisé comme produit chimique intermédiaire, pourrait également servir de vecteur énergétique et de moyen de stockage. Il faudra exécuter des projets à grande échelle sur l'ensemble de la chaîne de valeur pour créer un écosystème et tirer pleinement parti de l'hydrogène pour décarboniser des secteurs où il est difficile de réduire les émissions, tels que le transport longue distance ou la production d'acier et de produits chimiques.

Selon les experts, pour accélérer le développement de l'hydrogène, les décideurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes volontaires de renforcement des capacités répondant aux objectifs suivants :

- **Développer toutes les filières de production d'hydrogène renouvelable et à faible teneur en carbone** (combustibles fossiles avec CUSC, pyrolyse du méthane issu des mines de charbon, biomasse avec CUSC ou électrolyse à partir d'énergies renouvelables ou d'énergie nucléaire, dans les pays qui appuient son utilisation) afin d'accélérer la mise en place d'un écosystème régional de l'hydrogène.
- **Élaborer un cadre réglementaire clair et des mécanismes de soutien** propices au lancement de projets d'hydrogène renouvelable et à faible teneur en carbone à court et à moyen terme.
- **S'appuyer sur l'infrastructure de gaz naturel existante.** Cela présenterait de nombreux avantages sur les plans opérationnel et économique, car la majeure partie de cette infrastructure pourrait être réutilisée à moindre coût pour transporter de l'hydrogène au lieu du gaz naturel. Les coûts d'une telle adaptation ne représenteraient qu'une petite partie des investissements requis pour construire un nouveau réseau de conduites d'hydrogène.
- **Préparer les acteurs du côté de la demande** à évaluer où et comment ils pourraient opérer la transition depuis le gaz naturel ou d'autres formes d'énergie, encourager la mise au point et la construction d'installations de production combinée de chaleur et d'électricité – à partir, par exemple, du gaz – qui puissent fonctionner à l'hydrogène et de dispositifs de mise à niveau pour les installations existantes ; poursuivre la mise au point de plateformes où les utilisateurs finaux, notamment les industriels, pourraient mettre à l'essai et étudier la manière dont ils pourraient faire fonctionner leurs installations à l'hydrogène.

Solutions détaillées pour la conception de systèmes énergétiques résilients : innovation technologique dans la demande et l'offre d'énergie

Pour que des systèmes énergétiques résilients voient le jour dans la région de la CEE, il faudra investir en continu dans la recherche-développement de toutes les technologies à teneur faible ou nulle en carbone et opérer la transition numérique de l'ensemble du secteur jusqu'à ce que la prochaine génération de technologies sans carbone soit mise au point et prête à être déployée. Il faut que les pays collaborent en partageant des connaissances et des expériences afin d'accélérer la mise au point de toutes les technologies à teneur faible ou nulle en carbone.

En particulier, selon les experts, pour accélérer le développement de l'hydrogène, les décideurs devraient concevoir, appliquer ou adopter des politiques, normes, réglementations, mesures incitatives ou programmes volontaires de renforcement des capacités répondant aux objectifs suivants :

- **Mettre au point des technologies avancées de stockage** (par exemple, des batteries d'une durée de vie prolongée, avec un régime de décharge rapide). Cela permettrait d'ancrer plus rapidement les capacités d'énergie renouvelable dans le système énergétique.
- **Promouvoir la disponibilité de données de référence sociales et environnementales** concernant les matières premières essentielles primaires et secondaires (recyclées), sur la base de la CCNU et du Système de gestion des ressources. Ces données permettront de planifier et de mettre au point des projets de façon efficace et faciliteront la prise de décisions éclairées.
- **Améliorer l'efficacité de toutes les technologies du côté de l'offre** et appuyer la poursuite de la mise au point de toutes les solutions innovantes telles que les technologies CUSC, les réacteurs nucléaires de nouvelle génération (petits réacteurs modulaires), dans les pays qui appuient cette technologie, et l'hydrogène renouvelable et à faible teneur en carbone.
- **Mettre en place des systèmes de contrôle numérique et de gestion de la charge** axés sur la sécurité, en mettant l'accent sur des contrôles rigoureux de l'accès à distance et de la connectivité.
- **Renforcer la cybersécurité** de la chaîne d'approvisionnement des composants essentiels, tels que les relais de protection, les transformateurs électriques et les logiciels d'exploitation. Se conformer aux normes de gestion des risques liés à l'approvisionnement¹⁹ qui exigent l'élaboration d'au moins un plan documenté de gestion des risques liés à la cybersécurité de la chaîne d'approvisionnement.
- **Opérer la transition numérique du réseau électrique** en fonction des possibilités associées au passage au numérique du système énergétique dans son ensemble. La mise au point des technologies numériques, des contrôles et des systèmes numériques de gestion de la charge doit se poursuivre en mettant l'accent sur la sécurité systémique et sur les aspects liés à la protection de la vie privée du consommateur²⁰.
- **Encourager la mise à disposition de « données énergétiques ouvertes »**. Il est essentiel de disposer de telles données pour accélérer la recherche-développement, faciliter la mise à l'essai de nouvelles technologies et favoriser l'apparition de solutions et de modèles économiques innovants en appui à des services souples et efficaces²¹.
- **Adopter les technologies CUSC sous toutes leurs formes**, qu'il s'agisse du captage direct du carbone dans l'air, ou dans le cadre de la production d'hydrogène. Il convient d'encourager la collaboration en matière de recherche dans l'ensemble des technologies CUSC. Dans toute la mesure possible, les pays pionniers dans ces technologies devraient mettre à la disposition des autres pays leur expérience dans les domaines juridique, réglementaire et technique.

¹⁹ Norme CIP-013-1 de la North American Electric Reliability Corporation (NERC) sur la cybersécurité et la gestion des risques liés à la chaîne d'approvisionnement.

²⁰ CEE, « Transition numérique : accélérer la transformation des systèmes électriques » (ECE/ENERGY/GE.6/2022/4-ECE/ENERGY/GE.5/2022/4), disponible à l'adresse <https://unece.org/sed/documents/2022/07/session-documents/digitalization-accelerating-electricity-system>.

²¹ CEE, « Policy discussion – Challenges of big data and analytics-driven demand-side management » (GEEE-9/2022/INF.3), disponible à l'adresse <https://unece.org/sed/documents/2022/07/informal-documents/policy-discussion-challenges-big-data-and-analytics-driven>.

Conclusion

Le présent document détaille cinq actions de haut niveau susceptibles d'améliorer l'efficacité systémique, d'optimiser l'utilisation des ressources et de réduire l'empreinte carbone, ainsi que de contribuer à la mise en place de systèmes énergétiques résilients. Selon les experts du Comité de l'énergie durable, les décideurs devraient donner la priorité aux cinq actions suivantes, qui ont été détaillées dans la section 4 :

- 1. Mettre en œuvre immédiatement des solutions permettant d'améliorer l'efficacité énergétique.**
- 2. Opérer la transition numérique des systèmes énergétiques.**
- 3. Accélérer la transition des combustibles.**
- 4. Gérer les ressources de manière efficace, durable et en tenant compte du principe de circularité.**
- 5. Accélérer le déploiement de technologies à teneur faible ou nulle en carbone afin de décarboniser progressivement les systèmes énergétiques.**

On trouve également dans le présent document des considérations transversales essentielles, des mesures que les décideurs peuvent prendre immédiatement et des options qu'ils peuvent envisager, s'agissant notamment de la demande sectorielle d'énergie, des possibilités d'approvisionnement en énergie à partir de différents combustibles et technologies, ainsi que des innovations techniques tant au niveau de l'offre que de la demande d'énergie susceptibles d'aider les décideurs à mettre en place des systèmes énergétiques résilients.

Grâce aux stratégies et considérations présentées, les États membres qui souhaitent adopter une approche globale de mise en place de systèmes énergétiques résilients sont mieux à même de recenser les possibilités de répondre à leurs besoins énergétiques et économiques immédiats en tenant compte de leur contexte national et de leurs aspirations en matière de développement, sans compromettre la réalisation des objectifs à long terme qu'ils se sont fixés au regard du Programme 2030 et de l'Accord de Paris.

La communauté des experts de la CEE et le Comité de l'énergie durable ont lancé la plateforme de la CEE sur les systèmes énergétiques résilients, dans l'objectif de mieux coordonner les efforts, de collecter des données et de fournir des informations, des conseils, des formations et une assistance technique pour aider les États membres à gérer les priorités et à concevoir, financer et mettre en place des systèmes énergétiques résilients.

Annexe I - Cadre applicable aux systèmes énergétiques résilients

			DEMAND SIDE	STORAGE AND TRANSMISSION SIDE	SUPPLY SIDE
Energy Efficiency	System-Wide Digitalisation	Fuel Switching-Options	Buildings <ul style="list-style-type: none"> Decarbonize building supply chain Modernize heating, cooling and energy distribution Apply smart meters Optimise resource and energy use with artificial intelligence Integrate local generation with clean energy Introduce "Energy and Resource as a Service" model 	Grid Network <ul style="list-style-type: none"> Develop controls, and digitally enabled load management systems Integrate with decentralized system Increase routable connectivity 	Renewable Energy <ul style="list-style-type: none"> Accelerate deployment Adopt socially and environmentally focused standards Explore support from coal and gas Scale up hydropower projects Deploy decentralised smaller scale installations
			Industry <ul style="list-style-type: none"> Adopt smart meters Deploy all low- and zero-carbon solutions Track energy use Achieve full circularity of products Apply principles from the UN resource management systems 	Energy Storage <ul style="list-style-type: none"> Develop effective dispatch of variable generation Expand transmission system and integrate electrolyzers capacity into the grid Extend battery duration capacity Develop pumped hydro storage Develop hydrogen as a chemical feedstock and an energy carrier Depleted reservoir can be used for energy storage 	Biofuel & Waste <ul style="list-style-type: none"> Deploy corn ethanol or biogas Develop biomass projects with carbon capture utilization and storage Unlock biomass and waste as feedstock for biogas
			Transport <ul style="list-style-type: none"> Electrify the transport system Develop alternative low carbon fuel 	Geological Storage <ul style="list-style-type: none"> Develop deep saline aquifers for geological CO₂ storage Depleted oil and gas fields used for geological CO₂ storage Develop geological storage for hydrogen Share practical deployment experience Collaborative research on subsurface resource consumption 	Natural Gas <ul style="list-style-type: none"> Integrate with CCUS for reducing emission and enhanced gas recovery Expand liquefied natural gas import Develop synthetic gas Reduce fugitive emissions
					Coal <ul style="list-style-type: none"> Deploy carbon capture utilization and storage and high-efficiency low emission technologies Manage fugitive emissions Implement regulatory and financial frameworks for project development
REGIONAL INNOVATION-RELATED					
Advance efficiencies					
Develop digital controls and load management systems					
Innovative low- and zero-carbon technology solutions, including hydrogen, CCUS, small modular reactors					
Encourage open energy data, social, and environmental reference data					
Improve cyber security					

Mettre en place des systèmes énergétiques résilients : mesures à prendre pour renforcer la sécurité énergétique dans la région de la CEE, à un coût abordable et avec des émissions nettes nulles

Commission économique pour l'Europe

Palais des Nations
CH - 1211 Geneva 10, Suisse
Téléphone: +41(0)22 917 12 34
Courriel : unece_info@un.org
Site Web : <http://www.unece.org>