



LA GRANDE TRANSITION

Des ruptures apparaissent dans les tendances et vont créer un monde fondamentalement nouveau pour l'énergie.

Depuis 1970, le monde a observé une croissance rapide de la demande d'énergie, satisfaite principalement par les énergies fossiles. L'avenir sera différent. Des ruptures apparaissent dans les tendances et vont créer un monde fondamentalement nouveau pour l'énergie, caractérisé par une croissance démographique plus faible, des technologies radicalement nouvelles, de plus grands enjeux environnementaux et un glissement du pouvoir économique et géopolitique. Ces moteurs sous-jacents vont redessiner les fondamentaux économiques de l'énergie. Nous appelons ce voyage incertain vers le nouveau monde de l'énergie – La Grande Transition.

Au cours des trois dernières années, le Conseil Mondial de l'Énergie a exploré les futurs possibles et les conséquences pour la Grande transition. Nos conclusions sont les suivantes :

- 1 LA CROISSANCE DE LA DEMANDE MONDIALE D'ÉNERGIE PRIMAIRE** va ralentir et la demande d'énergie par habitant va culminer avant 2030 grâce à des gains d'efficacité sans précédent apportés par les nouvelles technologies et des politiques énergétiques plus rigoureuses.
- 2 LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ** va doubler d'ici 2060. Satisfaire cette demande avec des sources d'énergie propre exigera des investissements en infrastructure très importants et l'intégration des systèmes pour en faire bénéficier tous les consommateurs.
- 3 LE DÉVELOPPEMENT PHÉNOMÉNAL DU SOLAIRE ET DE L'ÉOLIEN** va continuer à un rythme sans précédent et créer à la fois de nouvelles opportunités et de nouveaux défis pour les systèmes énergétiques.
- 4 LES PICS DE DEMANDE POUR LE CHARBON ET LE PÉTROLE** peuvent faire basculer le monde des « investissements échoués » aux « ressources échouées ».
- 5 L'ÉVOLUTION MONDIALE DU TRANSPORT** constitue l'un des obstacles les plus difficiles à surmonter pour décarboniser les futurs systèmes énergétiques.
- 6 LIMITER LE RÉCHAUFFEMENT MONDIAL** à une hausse maximale de 2°C exigera un effort exceptionnel et persistant, bien au-delà des engagements déjà pris et des prix du carbone très élevés.
- 7 COOPÉRATION MONDIALE, CROISSANCE ÉCONOMIQUE DURABLE ET INNOVATION TECHNOLOGIQUE** sont indispensables pour équilibrer le Trilemme Énergie.

La Grande Transition est fondée sur trois nouveaux scénarios exploratoires à l'horizon 2060, nommés, par métaphore : *Modern Jazz*, *Symphonie Inachevée* et *Hard Rock*. Ces scénarios proposent aux dirigeants de l'énergie un cadre ouvert, transparent et inclusif pour réfléchir à un futur très incertain.

Trois Scenarios



Modern Jazz

Approche axée sur le marché qui permet d'aller vers plus d'accès à l'énergie à un prix abordable grâce à la croissance économique.

- Mécanismes de marché
- Innovation technologique
- Accès à l'énergie pour tous



Symphonie Inachevée

Approche axée sur les gouvernements pour parvenir à la durabilité grâce à des politiques et pratiques coordonnées au niveau international

- Politiques vigoureuses
- Planification à long terme
- Action climatique concertée



Hard Rock

Approche fragmentée tirée par la recherche de sécurité énergétique dans un monde où la coopération mondiale est faible

- Politiques fragmentées
- Approche locale
- Solutions adaptées localement

© Conseil Français de l'Énergie 1

Construit sur les précédents scénarios du Conseil Mondial de l'Énergie, *Modern Jazz* représente un monde de « révolution digitale », innovant et conduit par le marché. *Symphonie Inachevée* est un monde dans lequel des modèles de croissance économique plus « intelligents » et plus durables émergent alors que le monde s'oriente vers un futur bas carbone. Le Conseil a également introduit un nouveau scénario plus fragmenté appelé *Hard Rock*, qui explore les conséquences d'une croissance

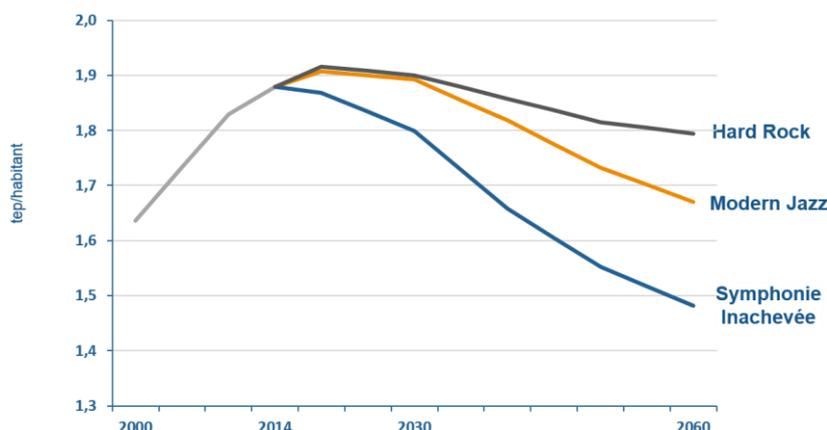
économique plus faible et non durable avec des politiques de repli. Ces trois scénarios ont été quantifiés en utilisant un modèle mondial et multirégional du système énergétique pour vérifier et illustrer les conclusions.

Beaucoup d'enseignements peuvent être tirés des scénarios *Modern Jazz*, *Symphonie Inachevée* et *Hard Rock*. Chacun de ces scénarios contribue au débat sur la manière d'atteindre les objectifs environnementaux, de sécurité énergétique et d'équité énergétique en prenant en compte un large choix de structures industrielles et politiques.

IMPLICATIONS POUR LE SECTEUR DE L'ENERGIE

1 LA CROISSANCE DE LA DEMANDE MONDIALE D'ÉNERGIE PRIMAIRE va ralentir et la demande d'énergie par habitant va culminer avant 2030 grâce à des gains d'efficacité sans précédent apportés par les nouvelles technologies et des politiques énergétiques plus rigoureuses.

Depuis 1970, la demande d'énergie a plus que doublé. D'ici 2060, de nouvelles technologies vont permettre une croissance de la demande d'énergie modérée par rapport aux tendances passées et vont contribuer à permettre une transition plus rapide des économies industrialisées vers les



Consommation d'énergie primaire par habitant

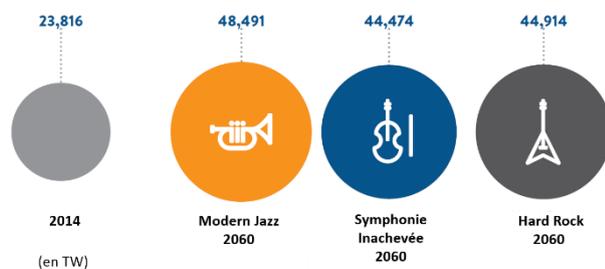
services et une croissance guidée par la soutenabilité. Des gains d'efficacité seront réalisés par

le déploiement de ressources énergétiques plus efficaces, associées aux technologies digitales qui rendront possibles les réseaux intelligents, les bâtiments intelligents les domiciles et les bureaux intelligents et les villes intelligentes. Les technologies de pointe, la bureautique, le télétravail et d'autres technologies ont également perturbé les systèmes énergétiques traditionnels. Il en résultera une augmentation de la consommation d'énergie finale en 2060 de 22 % dans *Symphonie Inachevée*, de 38 % dans *Modern Jazz* est de 46 % dans *Hard Rock*. La demande d'énergie primaire en 2060 augmentera seulement de 10 % dans *Symphonie Inachevée*, 25 % dans *Modern Jazz* est de 34 % dans *Hard Rock*. La demande énergie primaire par habitant culminera avant 2030 avec un maximum de consommation annuelle d'énergie par tête qui atteindra 1,9 tep.

L'intensité énergétique déclinera trois fois plus vite dans *Modern Jazz* et dans *Symphonie Inachevée*. De substantiels gains d'efficacité seront réalisés par le déploiement de capacités de production d'électricité solaire et éolienne. Les taux de conversion de ces énergies renouvelables sont beaucoup plus élevés que ceux des centrales électriques fossiles, ce qui signifie que moins énergie primaire est nécessaire.

2 LA DEMANDE D'ÉLECTRICITÉ va doubler d'ici 2060. Satisfaire cette demande avec des sources d'énergie propre exigera des investissements en infrastructure très importants et l'intégration des systèmes pour en faire bénéficier tous les consommateurs.

Les modes de vie urbains permis par la technologie exigent plus d'électricité. La croissance des classes moyennes, l'augmentation des revenus et l'expansion des équipements et appareils électriques



Consommation d'électricité

contribuent au doublement de la demande électricité en 2060. L'électricité atteint 29 % de la consommation finale d'énergie dans *Symphonie Inachevée*, 28 % dans *Modern Jazz* et 25 % dans *Hard Rock*. Satisfaire cette demande croissante d'électricité exige de substantiels investissements en infrastructures. L'investissement pour la production d'électricité en 2060, dans ces scénarios, est compris entre 35 et 43 milliards de dollars (au taux de change du marché de 2010).

De nouveaux modes de production plus propre sont nécessaires pour atteindre les objectifs climatiques et les *business models* des utilités sont poussés à leur limite par des politiques rigoureuses et par les exigences changeantes des consommateurs. L'industrie doit trouver un moyen de naviguer dans ces évolutions changeantes. Des exigences réglementaires plus strictes pour un futur bas carbone vont obliger partout les compagnies à modifier significativement leur *business model* ou à disparaître. Ces évolutions seront particulièrement fortes pour les utilités qui doivent répondre rapidement à l'évolution des modes de consommation

Modern Jazz voit l'émergence de trois types de modèles pour gérer la pénétration des énergies renouvelables et des systèmes décentralisés : les producteurs-utilités bas carbone, les plates-formes d'optimisation de distribution et les intégrateurs de solutions énergétiques. *Symphonie Inachevée* voit plutôt des modèles très intégrés et des mécanismes de financement pour répartir les coûts des renouvelables et éviter les dommages des coûts marginaux nuls. *Hard Rock* voit une combinaison de modèles qui ne fonctionne bien que dans des contextes locaux spécifiques.

3 LE DÉVELOPPEMENT PHÉNOMÉNAL DU SOLAIRE ET DE L'ÉOLIEN va continuer à un rythme sans précédent et créer à la fois de nouvelles opportunités et de nouveaux défis pour les systèmes énergétiques.

La croissance des énergies non fossiles va dominer la production d'électricité jusqu'en 2060 tirée par les installations solaires et éoliennes. Les pentes abruptes des courbes d'apprentissage technologique observées lors de la dernière décennie

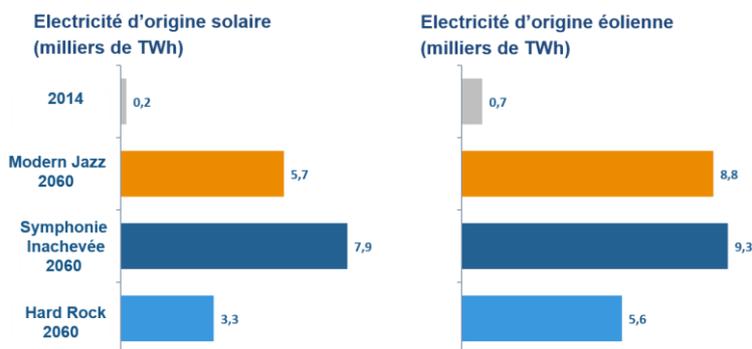
continuent jusqu'en 2060 pour les trois scénarios et sont le plus fortement observées dans *Modern Jazz* et dans *Symphonie Inachevée* où les réductions de coûts sont supérieures à 70 % pendant la période.

Les énergies solaires et éoliennes représentent seulement 4 % de la production d'électricité en 2014 mais entre 20 et 39 % en 2060. Dans *Symphonie Inachevée*, une politique vigoureuse, appuyée sur des capacités supplémentaires d'hydroélectricité et de nucléaire, permettra aux énergies renouvelables intermittentes d'atteindre 39 % de la production d'électricité en 2060. Le stockage à grande échelle par pompage ou par air comprimé, l'innovation dans le domaine des batteries et l'intégration des réseaux apportent des capacités fiables pour équilibrer l'intermittence. Dans *Modern Jazz*, les énergies renouvelables intermittentes atteignent 30 % de la production ; ceci est facilité par des systèmes décentralisés, des technologies digitales et l'innovation dans le domaine des batteries. Pour ces deux ressources, le solaire et l'éolien, les augmentations les plus importantes sont observées en Chine, en Inde, en Europe et en Amérique du Nord. Avec de moindres développements d'infrastructures, *Hard Rock* est caractérisé par une plus faible pénétration : la part de solaire et de l'éolien atteint 20 % en 2060.

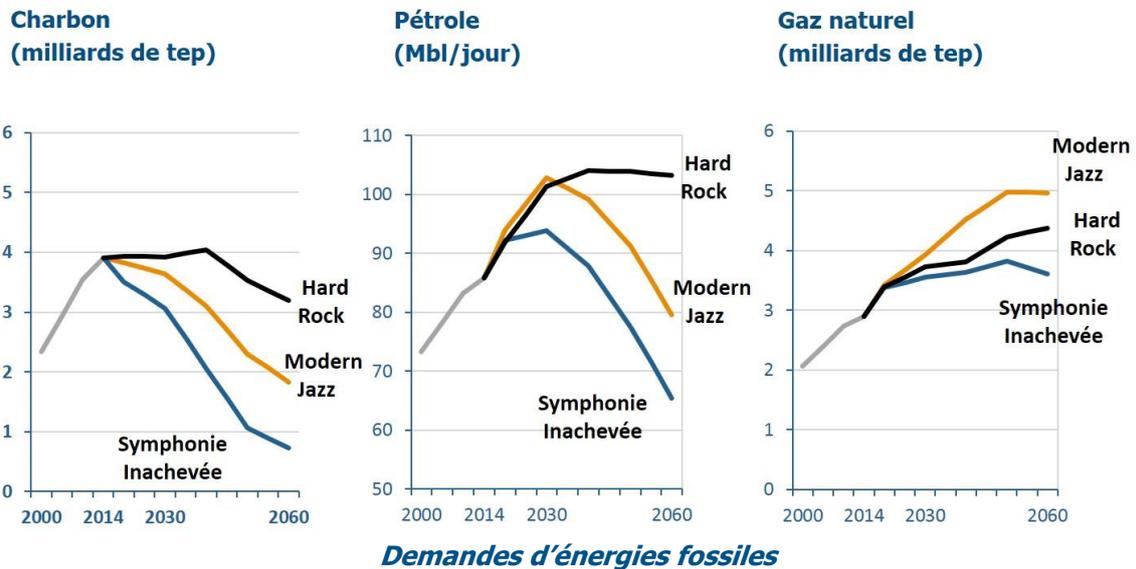
Les autres énergies non fossiles, comme l'hydroélectricité et le nucléaire, vont continuer à croître. Au niveau régional, il y aura de très grandes différences, par exemple avec une croissance importante de l'hydroélectricité en Afrique et du nucléaire en Asie du sud-est, particulièrement en Chine ; ces deux formes d'énergie restent significatives au niveau régional.

4 LES PICS DE DEMANDE POUR LE CHARBON ET LE PÉTROLE peuvent faire basculer le monde des « investissements échoués » aux « ressources échouées ».

La part des énergies fossiles dans l'énergie primaire a seulement diminué de 5 % en 45 ans, passant de 86 % en 1970 à 81 % en 2014. D'ici 2060, l'élan des nouvelles technologies et la production d'énergies renouvelables se traduira par une diversification du bouquet d'énergies primaires. La part des énergies fossiles tombera à 70 % en 2060 dans *Hard Rock*, à 63 % dans *Modern Jazz* et à 50 % dans *Symphonie Inachevée*.



La consommation de charbon culminera avant 2020 dans *Modern Jazz* et dans *Symphonie Inachevée*. C'est *Symphonie Inachevée* qui réalisera les changements les plus radicaux dans la demande de charbon en 2060, qui tombera à 724 Mtep. En mettant l'accent sur la sécurité énergétique, *Hard Rock* conserve une dépendance plus élevée au charbon et atteint le maximum de consommation en 2040 à 4044 Mtep. La principale explication de l'écart est l'utilisation du charbon par la Chine et l'Inde en 2060.



La consommation de pétrole culmine en 2030 dans *Modern Jazz* à 103 millions de barils/jour et à 94 millions de barils/jour dans *Symphonie Inachevée*. Malgré la demande croissante de carburant pour les transports, les nouvelles technologies et la concurrence d'énergies alternatives entraînent une diversification et font ralentir la demande après 2030. On observe dans *Hard Rock* un statu quo dans les principaux modes de transport. Il en résulte un pic puis un plateau pétrolier à environ 104 millions de barils jour entre 2040 et 2050. Les pétroles non conventionnels atteignent 15 à 16 millions de barils jour dans *Modern Jazz* et *Hard Rock*. Le Moyen-Orient et l'Afrique du Nord restent les producteurs de pétrole dominants en 2060 dans les trois scénarios.

Le taux de croissance du gaz naturel varie sensiblement selon les trois scénarios. *Modern Jazz* voit la croissance du Gaz Naturel Liquéfié et le rôle le plus important pour le gaz naturel. Les développements technologiques se poursuivent dans le domaine des gaz non conventionnels, entraînés par l'Amérique du Nord et, plus tard, par l'Argentine, la Chine et l'Australie. *Hard Rock* enregistre aussi une croissance tirée par les non conventionnels, mais un moindre commerce du gaz et des transferts de technologie réduits rendent ces ressources plus chères. Des engagements rigoureux sur les émissions dans *Symphonie Inachevée* font croître le gaz plus lentement.

Les pics de demande pour le charbon et pour le pétrole peuvent faire passer le monde d'investissements échoués, principalement dans le secteur privé, à des ressources échouées, propriété des États. Cela pourrait provoquer des contraintes très importantes sur l'équilibre économique mondial actuel, avec des conséquences géopolitiques difficiles à prévoir. Les politiques de sortie, soigneusement évaluées et s'étendant sur plusieurs décennies, doivent venir en haut des agendas politiques. Sinon, la destruction de très grandes quantités de valeur pour les actionnaires publics et privés est inévitable. Les stratégies économiques en faveur de la diversification et de l'emploi face à la croissance des populations constitueront un élément essentiel de pilotage des défis des pics de demande.

5 L'ÉVOLUTION MONDIALE DU TRANSPORT constitue l'un des obstacles les plus difficiles à surmonter pour décarboniser les futurs systèmes énergétiques.

La diversification des carburants pour le transport est l'un des changements les plus fondamentaux qui va permettre des réductions substantielles des intensités énergétiques et carbone. La part du pétrole dans les transports chute de 92 % en 2014 à 60 % dans *Symphonie Inachevée*, à 67 % dans *Modern Jazz* et à 78 % dans *Hard Rock*. Les progrès dans les deuxième et troisième générations de biocarburants sont spectaculaires dans les trois scénarios : ils représentent 10 % du total des carburants pour le transport en 2060 dans *Hard Rock*, 16 % dans *Modern Jazz* et 21 % dans *Symphonie Inachevée*.

La perturbation vient aussi de l'électricité dans le transport des personnes. La croissance de la classe moyenne au niveau mondial mène à une multiplication comprise entre 2,5 et 2,7 de la flotte de véhicules légers en 2060. *Modern Jazz* et *Symphonie Inachevée* voient une pénétration rapide des véhicules électriques et hybrides rechargeables qui représentent au niveau mondial entre 26 et 32 % de la flotte de véhicules légers. Les véhicules hybrides non rechargeables représentent eux aussi entre 24 et 31 % de la flotte.

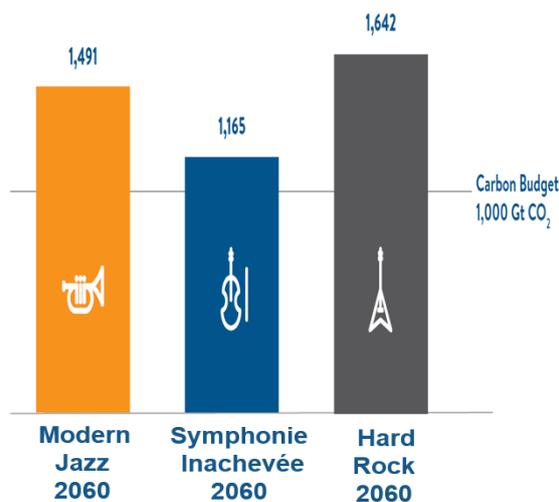


La part des véhicules électriques dans la flotte de véhicules légers

Ces progrès sont dus à différents mécanismes. Dans *Modern Jazz*, les préférences des consommateurs et le développement des infrastructures de recharge des véhicules par des systèmes décentralisés conduisent à la pénétration de solutions alternatives. À l'inverse, dans *Symphonie Inachevée*, les schémas de soutien gouvernementaux et la planification urbaine intégrée ont pour résultat un moindre développement des véhicules et le développement de solutions de transport alternatives, notamment en milieu urbain. Dans *Hard Rock*, on observe moins d'infrastructures et donc une pénétration des carburants alternatifs plus faibles.

6 LIMITER LE RÉCHAUFFEMENT MONDIAL à une hausse maximale de 2°C exigera un effort exceptionnel et persistant, bien au-delà des engagements déjà pris et des prix du carbone très élevés.

Des réductions substantielles de l'intensité carbone font culminer les émissions de carbone entre 2020 et 2040, selon les scénarios. De plus, pour atteindre les objectifs climatiques mondiaux, le monde doit faire un effort exceptionnel et persistant au-delà des engagements déjà pris et coordonnés des actions mondiales à des niveaux sans précédent, avec des prix significatifs du carbone. Ces caractéristiques apparaissent surtout dans *Symphonie Inachevée* où le monde se rapproche le plus des objectifs climatiques. Des efforts coordonnés et une vision stratégique, jamais observés pendant les dernières décennies, conduisent à un niveau



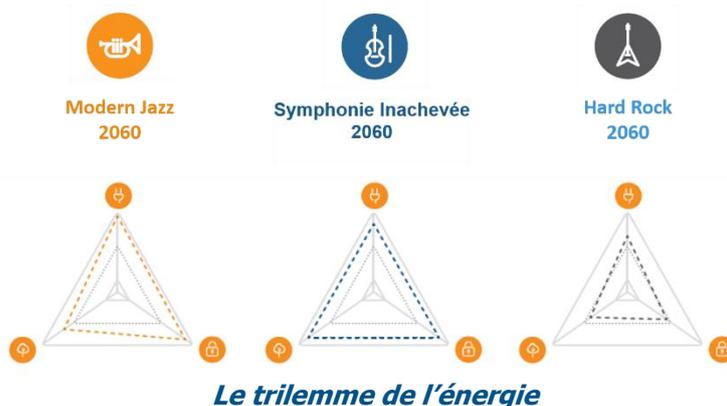
Les budgets carbone

d'émissions mondiales de carbone en 2060 font tomber les émissions mondiales de carbone en 2060 à 61 % au-dessous de leur niveau de 2014. Dans *Modern Jazz*, le déploiement de nouvelles technologies est une source d'efficacité et permet et rend possible la poursuite de réduction des coûts par la courbe d'apprentissage du solaire et de l'éolien. Les émissions mondiales de carbone diminuent de 28 % de 2014 à 2060. Caractérisé par un système économique et politique mondial fragmenté, on observe dans *Hard Rock* une augmentation des émissions mondiales de 5 % en 2060, malgré une croissance économique plus faible. Sans engagements mondiaux, la diminution des intensités carbone et énergie dans *Hard Rock* sont plus faibles de moitié que ce que l'on observe dans les deux autres scénarios.

Dans les trois scénarios, le budget carbone sera vraisemblablement dépassé dans les 30 ou 40 prochaines années. *Modern Jazz* et *Hard Rock* dépassent le budget de 1000 Gt de CO₂ au début des années 2040 et *Symphonie Inachevée* le dépasse avant 2060.

7 COOPÉRATION MONDIALE, CROISSANCE ÉCONOMIQUE DURABLE ET INNOVATION TECHNOLOGIQUE sont indispensables pour équilibrer le Trilemme Énergie.

Chaque scénario met l'accent sur l'une des trois dimensions de ce que le Conseil Mondial de l'Énergie appelle le trilemme de l'énergie. La définition renvoie aux trois dimensions principales de la soutenabilité énergétique : la sécurité énergétique, l'équité énergétique et la soutenabilité environnementale. *Modern Jazz* et *Symphonie Inachevée* fournissent tous deux des modèles favorables à une croissance économique soutenable et à l'innovation technologique. *Modern Jazz* atteint le plus haut niveau d'équité énergétique. *Symphonie*



Inachevée montre l'importance de la coopération mondiale pour favoriser un environnement soutenable. *Hard Rock* illustre comment, lorsque la croissance économique est insuffisante et que les tensions sociales s'accroissent, les gouvernements tendent à moins prendre en compte les enjeux mondiaux et à se concentrer sur la sécurité énergétique nationale.

RECOMMANDATIONS

Le monde est sur le point de changer. L'industrie de l'énergie est confrontée à des décennies de transformation. Le défi pour les leaders mondiaux de l'industrie est de maintenir, partout dans le monde, l'intégrité actuelle des systèmes énergétiques tout en les conduisant vers ce nouvel avenir transformé. Cela nécessite de nouvelles politiques, de nouvelles stratégies et la prise en compte d'investissements novateurs et risqués. Chaque scénario donne un aperçu des conséquences les plus importantes pour les dirigeants et met en évidence les domaines d'action :

- ▶ réévaluer les allocations de capital et les stratégies ;
- ▶ cibler les régions et les nouveaux marchés de croissance en Asie, Moyen-Orient et Afrique du Nord et en Afrique subsaharienne ;
- ▶ mettre en œuvre de nouveaux *business models* qui accroissent la chaîne de valeur de l'énergie et valorisent les perturbations ;
- ▶ développer les politiques de décarbonisation ;
- ▶ prendre en compte les implications socio-économiques des politiques climatiques.

Les dirigeants sont confrontés à des décisions importantes dans un contexte de grande incertitude politique, financière, technologique ou sociale sur le futur de l'énergie. Les décisions qui seront prises dans les cinq ou dix prochaines années en réponse notamment à ces enjeux, auront des répercussions profondes sur le développement du secteur énergétique dans les prochaines décennies.

Les différents résultats des trois scénarios apportent aux dirigeants des signaux de court terme. Ces signaux ont une valeur inestimable pour développer à moyen et long termes, de manière plus affirmée, des stratégies d'entreprise, des politiques gouvernementales et des décisions d'investissement et de désinvestissement. Par exemple, les dirigeants peuvent vouloir comprendre quels actifs de leur portefeuille peuvent devenir des actifs échoués en 2030 ou en 2040 dans *Modern Jazz*, *Symphonie Inachevée* ou examiner les réalités de *Hard Rock*.

Ces scénarios peuvent aussi être utilisés pour évaluer les conséquences de politiques de changement climatique et la résistance de portefeuilles d'investissements d'infrastructures à grande échelle comme des centrales électriques pour la période allant jusqu'en 2060. En explorant ces décisions complexes, *Modern Jazz*, *Symphonie Inachevée* et *Hard Rock* fournissent aux dirigeants de l'énergie un cadre ouvert, transparent et inclusif pour réfléchir et évaluer un avenir très incertain.

LE CONSEIL FRANÇAIS DE L'ÉNERGIE

Fondé en 1923, le Conseil Français de l'Énergie (CFE) est le comité national français du Conseil Mondial de l'Énergie. Le Conseil Français de l'Énergie est une association, reconnue d'utilité publique, qui a pour objectif de promouvoir la fourniture et l'utilisation durables de l'énergie pour le plus grand bien de tous. Il regroupe des acteurs français (entreprises, administrations, organisations professionnelles ou université) impliqués dans des réflexions qui privilégient les dimensions d'accessibilité, de disponibilité et d'acceptabilité de l'énergie dans une perspective mondiale : toutes les ressources et les technologies de l'énergie sont représentées.

Le Conseil Mondial de l'Énergie (CME) rassemble plus de 3 000 organisations et représente une centaine de pays dont les deux tiers de pays en développement.

Le Conseil Français de l'Énergie soutient les recherches en économie de l'énergie et participe aux débats énergétiques, notamment par l'intermédiaire de publications et de conférences.

Le Conseil Français de l'Énergie assure la diffusion, des résultats des recherches qu'il a financées et des travaux du Conseil Mondial de l'Énergie. Le Français étant une des deux langues officielles du Conseil Mondial de l'Énergie, le Conseil Français de l'Énergie contribue à la promotion de la francophonie en diffusant en français ces études.

Copyright © 2016 Conseil français de l'Énergie et Conseil Mondial de l'Énergie (World Energy Council). Tous droits réservés. Toute ou partie de cette publication peut être utilisée ou reproduite à condition que la mention suivante soit intégrée dans chaque copie ou diffusion : « Avec l'autorisation du Conseil Français de l'Énergie, Paris, www.wec-france.org ».

Version originale anglaise publiée par le Conseil Mondial de l'Énergie, enregistré en Angleterre et au Pays de Galles No. 4184478, Registered Office, 62–64 Cornhill, London EC3V 3NH, United Kingdom.

Directeur de la publication : Jean Eudes Moncomble, Secrétaire général du Conseil Français de l'Énergie, Conseil Français de l'Énergie, 12 rue de Saint-Quentin – 75010 Paris – www.wec-france.org