



# CONVICTION YÉLÉ #5

AXIOLOGIE  
& TECHNOLOGIES



[contact@yele.fr](mailto:contact@yele.fr)  
[www.yele.fr](http://www.yele.fr)

# CONVICTION #5 AXIOLOGIE & TECHNOLOGIES : TROUVER UNE COHÉRENCE COLLECTIVE DANS NOS PRÉFÉRENCES TECHNOLOGIQUES

En Europe, une grande part des moyens technologiques de la transition énergétique existerait déjà, mais le recours à la technologie ne peut suffire s'il génère d'autres impacts environnementaux et sociétaux encore mal compris. **Il est crucial de comprendre et limiter les coûts d'opportunité des technologies de la transition environnementale en introduisant une cohérence collective** quant à leurs objectifs pour optimiser leur complémentarité. En effet, la conception, la diffusion et la vie de beaucoup de technologies s'avèrent expansives en ressources et peuvent priver d'autres solutions plus optimales pour les systèmes naturels et sociétaux.

## **I. Les objectifs de la transition énergétique et écologique sont aujourd'hui envisageables grâce à de nombreux vecteurs technologiques qui sont déployés**

La transition énergétique et écologique représente un processus complexe qui s'emploie à réduire les émissions de gaz à effet de serre, à diminuer l'empreinte environnementale, et à encourager l'adoption de sources d'énergie propres et durables. Afin d'atteindre ces objectifs, les évolutions technologiques sont au rendez-vous. Elles s'insèrent incontestablement comme un allié pour la transition énergétique.

### **A. Le déploiement des énergies renouvelables, en plus de réduire les émissions de gaz à effet de serre, s'avère économiquement avantageux**

La réduction des émissions de gaz à effet de serre représente l'un des objectifs fondamentaux de la transition écologique et énergétique. Pour parvenir à cette fin, il est impératif de généraliser l'utilisation d'énergies renouvelables telles que l'énergie solaire, éolienne et hydroélectrique, car elles permettent de produire de l'électricité sans émettre de gaz à effet de serre. Celles-ci ont pu également réduire les coûts de la chaîne d'énergie (la production, le transport et la distribution). Ceci découle de la réduction des coûts des matériaux bruts (utilisés pour la fabrication des panneaux solaires, les turbines...), le développement des technologies en utilisant des matériaux abondants pour remplacer ceux rares, l'amélioration de l'efficacité énergétique ainsi que l'accroissement de la concurrence et la compétitivité avec le marché chinois.

De plus, à l'aide des technologies de CCUS (captage, stockage, utilisation du carbone) qui visent à réduire les émissions des CO<sub>2</sub> émis dans les grandes zones industrielles notamment l'aviation et du maritime. En effet, le CO<sub>2</sub> est capturé issu de sources comme une raffinerie ou un cimetière (captage) soit pour le réintroduire dans l'industrie (utilisation), soit pour le séquestrer sans le sous-sol (stockage). Ces technologies sont un vrai levier de la décarbonation des secteurs de l'industrie.

### **B. L'amélioration de l'efficacité énergétique**

La nécessité d'améliorer l'efficacité énergétique permet une réduction des coûts écologiques, économiques et sociaux induits par la production, transport et consommation d'énergie. Nombreuses sont

les technologies qui viennent encourager et aider à atteindre cet objectif. Les bâtiments intelligents par exemple, équipés de systèmes de gestion de l'énergie et de technologies intelligentes, jouent un rôle majeur dans la minimisation de la consommation énergétique, que ce soit pour le chauffage, la climatisation, l'éclairage ou les appareils électroménagers. De plus, la promotion du transport public et partagé, conjuguée à l'adoption de technologies de mobilité propre, permet d'optimiser l'utilisation des ressources énergétiques, réduisant ainsi la consommation de carburant et les émissions associées aux déplacements. L'adoption généralisée de l'éclairage à LED et d'appareils écoénergétiques contribue également à réduire la demande en électricité et à améliorer l'efficacité énergétique globale. Enfin, en intégrant l'internet des Objets (IoT) et les objets connectés qui s'appuient sur les capteurs et les outils numériques, la veille et la surveillance de la consommation peut mener à la réduire drastiquement et arbitrer entre les meilleures sources. Ces capteurs sont susceptibles de générer et analyser les données pour la modélisation prédictive. L'IoT promeut le pilotage à temps réel et à distance des ressources énergétiques.

En somme, ces nouvelles technologies permettent de favoriser la transition vers un système durable et abordable.

## **C. Les nouvelles technologies permettent piloter et de contrôler le réseau électrique**

- **Plus de flexibilité pour satisfaire un équilibre offre-demande plus complexe :**

Les technologies de Smart grids permettent plus de flexibilité dans le système électrique ce qui est nécessaire pour gérer l'intermittence et la variabilité des énergies renouvelables. Les FACTS (Flexible Alternative Current Transmission Systems – systèmes de transmission flexible de courant alternatif), les compensateurs statiques et les condensateurs permettent le transfert d'une plus grande quantité d'énergie sur les lignes électriques existantes tout en améliorant la stabilité de la tension et accroissent la résistance du réseau électrique aux oscillations de système et aux perturbations. Au besoin, on optimise la disponibilité des ressources ou on déploie des ressources supplémentaires.

- **Des moyens croissants de stockage des énergies à grande échelle :**

Pour rendre le système électrique plus flexible face à l'intermittence des énergies renouvelables, le stockage d'électricité apparaît comme une solution intéressante. Des technologies de stockage sont matures, les coûts sont de plus en plus compétitifs. Le développement du stockage a le potentiel de réduire au maximum l'intermittence des énergies renouvelables, en lissant leur production grâce à des stockages tampons, afin d'injecter dans le réseau de l'électricité de manière plus régulière. Le stockage d'énergie renouvelable est également un moyen d'éviter de démarrer les moyens de production d'électricité fortement émetteurs de CO<sub>2</sub> en période de pointe et d'éviter des coupures de courant intempestives. Les réseaux pourraient devenir « autocatrisants ». Lorsqu'une panne est détectée assez vite par le réseau intelligent, celui-ci injecte de l'électricité stockée avant que la panne n'atteigne les consommateurs.

Ainsi, le déploiement des Smart Grids et les systèmes de stockage permettent d'assurer la stabilité et la flexibilité du réseau électrique et propulsent l'électrification du transport.

## **D. La 5G, l'intelligence artificielle et Big Data peuvent relever les défis liés à la complexité du système énergétique**

- **La collecte des données à temps réel :**

La 5G pourrait y jouer un rôle crucial : en effet, grâce à sa faible latence, sa grande capacité d'interconnexion et sa bande passante, la 5G pourra accroître les opportunités offertes par les Smart Grids et l'Internet des objets (IOT), en permettant la transmission des données à temps réel à partir d'une variété des capteurs et de dispositifs. Cela est primordial pour surveiller les systèmes énergétiques

tels que les parcs des éoliens, les réseaux électriques et les bâtiments, etc.

- **Analyse et modélisation des données :**

Big Data (Analytics ou analyse des données avancées) qui se concentrent sur des méthodes statistiques et qui aident à analyser les « mégadonnées » collectées rapidement, comparer les données historiques et actuelles pour identifier les tendances de la consommation par exemple ou détecter les opportunités d'amélioration.

Une autre rupture technologique majeure, l'intelligence artificielle (IA), simplifie les nouveaux modèles afin de résoudre les problématiques technologiques sur toute la chaîne d'énergie (production, transport, distribution, consommation) tout en intégrant les exigences de la transition énergétique. Par exemple, optimiser l'exploitation des centrales électriques à partir des énergies classiques et renouvelables en incluant l'approvisionnement à partir des réseaux de chaleur. Ensuite, grâce à ses performances d'apprentissage et à ses capacités de traitement des quantités phénoménales d'informations, l'IA peut être utilisée pour améliorer les prévisions de production-consommation, transport, distribution. Ce besoin va augmenter vu l'émergence croissante des énergies renouvelables fluctuantes, ainsi l'IA va aider à l'anticipation des états critiques et garantir la stabilité du réseau. Finalement l'IA, facilite l'écoconception des solutions et aide à la décision : les données analysées peuvent être utilisées pour faire le choix d'investir, développer de nouveaux champs d'activités, d'optimiser les stocks actifs.

## **II. Le déploiement en masse des nouvelles technologies augmente les coûts d'opportunité et compromet la soutenabilité**

### **A. La diffusion de technologies « expansives » dont la sophistication implique une forte dépendance à de nombreux matériaux**

La priorité donnée au déploiement des technologies dites plus « expansives » pour accélérer la transition énergétique et atteindre les objectifs mentionnés auparavant, ont fait émerger de nouvelles problématiques liées aux matières premières et sa raréfaction.

Nous constatons aujourd'hui que les métaux rares sont présents de partout dans la croûte terrestre, mais en quantité infinitésimale et possèdent des propriétés catalytiques, électroniques, optiques, uniques : des sortes de «super pouvoirs» qui les rendent indispensables dans toutes les technologies modernes.

Plus de 80% des métaux rares sont extraits en Chine (jusqu'à 95% pour certains), mais que ce monopole unique en son genre n'est pas dû à un manque de ressources ailleurs dans le monde. La France a d'ailleurs commencé à extraire de son sous-sol des métaux rares dans les années 80, mais a stoppé cette production assez vite : le coût financier et environnemental était trop élevé. La Chine dès le début des années 90 a donc pris en charge cette exploitation minière et n'a pas cessé depuis. Au point qu'aujourd'hui, la dépendance mondiale envers la Chine pour ces matériaux — indispensables à la modernité — est quasi totale.

Pour parvenir à récupérer des quantités très faibles de ces minéraux, il faut extraire des quantités de terre et de roche colossales. Par exemple, pour les dernières générations d'éoliennes off-shore il faut au moins 600 kilos de néodyme, un minerai aux propriétés magnétiques décuplées. Le plus souvent la technique pour récupérer les métaux rares nécessite l'utilisation de substances chimiques qui s'infiltreront dans les sols jusqu'aux cours d'eau et polluent les nappes phréatiques. Vient ensuite l'opération de raffinage qui produit des poussières métalliques chargées de radioactivité. Les taux

de cancers des habitants vivant près des mines à ciel ouvert d'excavation de terres rares sont excessivement élevés.

De même, dans un contexte de raréfaction des ressources minérales, des réglementations doivent être mises en place pour imposer aux concepteurs de technologies nouvelles d'intégrer dès la phase de développement l'enjeu du recyclage en vue d'en diminuer le coût. Enfin, la transformation du secteur électrique doit être guidée par l'objectif de réduction des pollutions associées à la génération d'électricité. Ainsi la question de la réduction de notre consommation d'énergie doit être posée avant de déployer de nouvelles capacités de production en vue d'éviter l'empilement des capacités énergétiques auquel nous assistons aujourd'hui.

## **B. Les infrastructures technologiques sont un grand émetteur de gaz à effet de serre dû à une forte consommation énergétique**

Dans un monde où le numérique occupe désormais environ 2,5 % des émissions de CO<sub>2</sub>, la nécessité de prendre en compte l'impact environnemental de ces avancées est devenue urgente. Les data centers, qui stockent et traitent d'énormes quantités de données, en sont un exemple frappant. Ces centres de données requièrent d'importantes quantités d'énergie pour fonctionner, contribuant ainsi de manière significative aux émissions de gaz à effet de serre. Par exemple, un data center de grande envergure peut consommer autant d'énergie qu'une petite ville alimentant les serveurs nécessaires au stockage et à l'analyse de la big data.

De plus, l'introduction de la 5G a suscité un nouvel intérêt pour l'impact environnemental des infrastructures de communication. Les antennes 5G, qui sont essentielles pour la mise en place de cette technologie, nécessitent une densité beaucoup plus élevée que les technologies de communication précédentes, telles que la 4G. Cela signifie que de nombreuses nouvelles antennes et stations de base doivent être déployées, souvent associées à une augmentation de la consommation énergétique. Toutefois, des efforts sont en cours pour rendre ces installations plus efficaces sur le plan énergétique en utilisant des technologies telles que la virtualisation des fonctions réseau (NFV) et la gestion intelligente de la puissance.

Cette situation souligne l'urgence d'approfondir nos connaissances sur cet impact complexe, en mettant en évidence la nécessité de recherches approfondies pour explorer des solutions novatrices visant à réduire de manière significative cette empreinte carbone numérique. Par exemple, les opérateurs de réseau travaillent sur des solutions d'énergie renouvelable pour alimenter les antennes 5G, telles que l'utilisation de panneaux solaires ou de petites éoliennes pour réduire leur empreinte carbone.

## **C. Au-delà des aspects environnementaux, les comportements sociaux jouent un rôle crucial dans le déploiement des nouvelles technologies**

Cependant, les défis vont au-delà des aspects techniques et environnementaux. L'acceptabilité sociale joue un rôle crucial dans le déploiement de ces solutions. Les inquiétudes concernant les effets potentiels de la 5G sur la santé humaine et l'environnement ont été largement médiatisées, même si la grande majorité des recherches scientifiques n'a pas trouvé de preuves de tels effets. Pourtant, ces préoccupations ont influencé l'opinion publique et peuvent affecter la mise en place de ces nouvelles technologies. Le technoscepticisme, nourri par des craintes liées à la sécurité des données, à la dépendance excessive à la technologie et aux perturbations sociales, peut donc limiter l'acceptation et l'intégration harmonieuse de ces innovations dans nos vies.

Enfin, l'effet rebond, un concept essentiel dans la transition énergétique, illustre parfaitement comment les comportements individuels et collectifs peuvent influencer l'impact environnemental des

avancées technologiques. Par exemple, si l'introduction de la 5G permet une meilleure connectivité pour les véhicules autonomes, cela pourrait encourager l'utilisation de ces véhicules, ce qui, malgré leur efficacité énergétique améliorée, pourrait entraîner une augmentation globale de la demande énergétique due à une augmentation du nombre de véhicules en circulation.

Par conséquent, pour garantir une transition fluide et durable vers des solutions à faible empreinte carbone, il est crucial d'engager des efforts de sensibilisation, ainsi que de mettre en place des politiques et réglementations qui tiennent compte des préoccupations sociales, éthiques et environnementales liées à ces nouvelles technologies.

### **III. Il est donc nécessaire de maîtriser les coûts d'opportunité des technologies en gouvernant avec plus de cohérence leur rôle et leur complémentarité**

Aujourd'hui, au sein de l'Union européenne, on ne parle plus que de transition énergétique. L'enjeu est de parvenir à évoluer vers un modèle de développement plus durable, plus respectueux de l'environnement, tout en maintenant le rythme de croissance.

Les nouvelles technologies sont considérées, au sein des sphères européennes, comme la solution permettant d'atteindre les différents objectifs de l'Union. Cependant, elles présentent plusieurs incohérences face aux objectifs de la transition énergétique.

Par exemple, les solutions de stockage d'électricité actuellement connues ne sont soit pas économiquement viables pour les capacités totales à stocker (cas des batteries), soit difficilement implantables en quantité suffisante (cas des STEP ou stations de pompage-turbinage de réservoir d'eau). Ainsi, bien qu'il soit indispensable de développer les ENR en fonction des gisements locaux, cela ne doit pas laisser croire que leur développement massif pourra intégralement se substituer aux modes de production d'électricité fossile, à consommation énergétique égale. Par ailleurs, le fonctionnement des éoliennes, des panneaux photovoltaïques, mais aussi des smartphones, tablettes, voitures électriques et autres batteries repose sur l'utilisation de métaux spécifiques, le cobalt, le lithium ou encore l'indium pour ne citer qu'eux. Or ces métaux ne sont pas renouvelables et moins de 1 % sont recyclés, car utilisés en des quantités infimes et sous forme d'alliages. La technologie utilise également des composants et infrastructures conséquents, dont l'impact environnemental est réel.

La production de terres rares est aujourd'hui assurée à 95 % par la Chine, dont les mines constituent un véritable désastre écologique. Se pose également la question de l'indépendance énergétique. De surcroît, l'énergie grise de ces technologies, c'est-à-dire l'énergie qu'il faut dépenser pour leur fabrication, a une incidence écologique invisible pour l'utilisateur final. Enfin, un des phénomènes communs aux transitions énergétiques et numériques est l'effet rebond. Bien que d'importants progrès en matière d'efficacité énergétique soient réalisés (réduction des émissions de CO<sub>2</sub> des centrales de production d'électricité, consommation énergétique par Datacenter, par équipement IT, par voiture électrique...), la consommation globale augmente, car le prix de chaque consommation diminue.

- **Low-tech, une sobriété au service de l'environnement**

Si une transition énergétique high-tech, fondée sur un « solutionnisme » technologique et la course à l'innovation, paraît inatteignable, voire risquée, une transition « Low-Tech » pourrait présenter de nombreux avantages. Celle-ci ne renierait pas l'intérêt possible de certaines avancées technologiques, mais s'orienterait avant tout sur la sobriété et l'économie de ressources, en se basant, chaque fois que possible, sur des technologies durables, agiles et résilientes, et en abordant également les composantes organisationnelles, sociales, sociétales, commerciales, culturelles ou systémiques de l'innovation.

Pour la mettre en place, il s'agirait, en premier lieu, de réduire les besoins à la source, de travailler sur la baisse de la demande et pas uniquement sur le remplacement de l'offre, ou, en d'autres termes, sur la sobriété avant l'efficacité.

En second lieu, il faudrait repenser en profondeur nos objets, les concevoir simples, robustes et conviviaux, réparables et réutilisables, standardisés, modulaires, à base de matériaux simples, faciles à démanteler et utilisant les ressources rares avec parcimonie.

Mamadou NDAO  
Manager chez Yélé Consulting



*Innovons ensemble  
pour une création de valeur durable !*

YÉLÉ CONSULTING  
+33 (0)1 89 40 25 50  
5 esplanade Charles de Gaulle  
92000 NANTERRE

[contact@yele.fr](mailto:contact@yele.fr)

[WWW.YELE.FR](http://WWW.YELE.FR)

