



LES NOTES D'ENJEUX DU CERCLE ORION

# La production d'énergie

Quelles solutions pour limiter l'impact sur le changement climatique ?

PATRICK MARTEL  
PAUL DE BOYSSON

*JUILLET 2023*



# Cercle Orion

## *Forum politique et d'influence nouvelle génération*

Le Cercle Orion est un **forum politique et d'influence** créé par [Alexandre MANCINO](#) en janvier 2017 et situé au croisement du *SAVOIR* et du *POUVOIR*.

**Sa raison d'être** consiste à réunir et promouvoir une nouvelle génération de décideurs *libres et audacieux*, soucieux de réfléchir aux grands sujets structurants du monde contemporain et d'y apporter des solutions *innovantes et impactantes* selon un langage de vérité.

Le but du Cercle Orion est d'être acteur du débat public en contribuant à la compréhension des enjeux et transformations du XXI<sup>e</sup> siècle, ancré dans des **valeurs fortes d'orientation libérale-républicaine**. Son fil conducteur passe par un questionnement permanent sur la responsabilité des *élites dirigeantes* au XXI<sup>e</sup> siècle, sur leur leadership face aux grands bouleversements du monde et sur les qualités qu'elles doivent adopter pour s'adapter aux défis de l'époque contemporaine.

Il s'organise autour d'un [Pôle Études](#) - à travers une activité de Recherche & Prospective différenciante par le fond et par la méthode - et d'un [Pôle Influence](#) - à travers des rencontres de très haute qualité avec des décideurs publics ou privés.

Pour plus d'informations, veuillez consulter : [www.cercleorion.com](http://www.cercleorion.com)

# Sommaire

Introduction	4
Le changement climatique	5
La production d'énergie sans CO2	7
L'efficacité et la sobriété énergétique	13
Le pacte vert pour l'Europe	14
Conclusion	16

# Introduction

Face au changement climatique dont les conséquences se confirment continuellement comme critiques, face aux préoccupations des populations, face aux inerties inouïes, cette note propose un état des lieux de différentes solutions de production d'énergie. Celles qui permettent de réduire le CO<sub>2</sub>, celles qui sont compétitives, celles disponibles dès maintenant. La production d'énergie mondiale, 40% de nos émissions de gaz à effet de serre en sont issues. Le nucléaire, l'hydraulique, l'éolien, le solaire photovoltaïque, la géothermie, les bioénergies, les pompes à chaleur, le stockage sont des technologies matures et performantes, qui n'émettent pas ou peu de CO<sub>2</sub>. Au-delà de ces moyens de production et de stockage d'énergies, pour être plus résilients face aux chocs climatiques et économiques, c'est toute l'architecture des réseaux énergétiques qui doit évoluer vers des systèmes plus décentralisés mais aussi mieux interconnectés. L'efficacité et la sobriété énergétique sont également des clés de la réussite de ces politiques. Les technologies apportent une partie des réponses, de nombreuses questions se résolvent grâce aux comportements.

Ces politiques doivent être menées par tous les pays, avec un fort esprit de solidarité. La France et l'Europe ont un rôle majeur à exercer pour résoudre ce défi titanesque. La France possède un des mix de production d'électricité parmi les moins émetteurs de CO<sub>2</sub> et dispose des moyens techniques et humains pour accélérer sa politique neutre en carbone, dans l'industrie, les bâtiments, le transport et l'agriculture. L'Europe, avec le pacte vert, propose à tous les acteurs de l'économie un projet volontaire, avec un calendrier de diminution des émissions jusqu'en 2050, associé à des moyens financiers considérables.

Pour limiter les effets du changement climatique, nos choix demeurent décisifs. Hésitantes, nos civilisations basculeraient dans l'incertain. Soit nous agissons rapidement ; l'inaction ne restera pas éternellement soutenable.

Au-delà de ces actions pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, cette transition doit être imaginée comme une politique nouvelle vers une société responsable, respectueuse de l'environnement et de la biodiversité.

# Le changement climatique

## Des menaces inquiétantes

### La forte concentration en CO2 dans l'atmosphère : des conséquences irréversibles

425 ppm, c'est la concentration en CO2 dans l'atmosphère mesurée début 2023. Elle est équivalente à celle qui existait il y a plusieurs millions d'années. En deux siècles, avec les révolutions industrielles, l'être humain a complètement dérégulé le climat, et pour des milliers d'années. Depuis quelques temps, les conséquences de nos choix énergétiques commencent à apparaître régulièrement dans notre vie quotidienne. Elles devraient s'aggraver au cours des prochains siècles.

Les plus grandes menaces pourraient venir des points de basculement, comme notre planète en a connus par le passé. Par exemple, il y a 14 700 ans, un réchauffement rapide s'est produit. La température de l'air a augmenté de 5 à 7°C en 20 ans. Le niveau moyen des mers s'est élevé de 14 mètres en 350 ans. Le climat s'est ensuite refroidi lors d'un nouvel âge glaciaire. Et il y a 11 700 ans, un autre phénomène extrême est arrivé : la température de l'air en Atlantique Nord a augmenté de 10°C en 1 an seulement. Ces phénomènes exceptionnels survenus lors de périodes glaciaires ont plusieurs causes : changements dans les courants océaniques et atmosphériques, libération de gaz à effet de serre dans les zones auparavant gelées ...

D'autres ruptures pourraient survenir, comme le ralentissement de la circulation méridienne de retournement, un courant qui parcourt tous les océans. En simplifiant, refroidie et devenue moins salée en Arctique, l'eau de surface plonge en profondeur en Atlantique Nord, passe le Cap de Bonne-Espérance, l'océan Indien, le Pacifique, puis réchauffée et plus salée, elle remonte en surface dans le Pacifique Nord pour revenir en sens inverse en surface. Les scientifiques ont déjà constaté que ce courant ralentissait. Les océans étant le plus important puits de carbone de la planète, une des conséquences serait une diminution de l'absorption du CO2. C'est ce qui s'est passé il y a 252 millions d'années, la circulation méridienne de retournement s'est arrêtée, vraisemblablement en raison d'une activité volcanique intense en Sibérie. Plus de 95% de la vie marine et 70% de la vie terrestre ont disparu. Les modèles climatiques montrent qu'il existe deux systèmes quasi-stables : un mode avec une circulation profonde dans les océans et un sans circulation profonde (comme lors de l'extinction Permien-Trias). La transition entre les deux modes est rapide, c'est un phénomène de seuil. D'après des études récentes, la circulation méridienne de retournement ne devrait pas s'effondrer d'ici 2100. Ces analyses n'intègrent toutefois pas la fonte en cours des calottes glacières du Groenland et de l'Antarctique. Les océans possèdent un rôle essentiel dans la régulation de l'atmosphère et du climat : ils absorbent le CO2 et la chaleur. En cas de déséquilibre, ils se réchauffent, deviennent plus acides, contiennent moins d'oxygène. Les effets peuvent être extrêmes.

D'autres phénomènes apparaissent inquiétants depuis quelques années. Le pergélisol, cette zone située au niveau du cercle arctique, se dégèle. Sous sa surface, du méthane est stocké depuis des milliers d'années. Avec le réchauffement, ce gaz commence à s'échapper du sol et augmente donc la température de l'atmosphère, qui accélère ensuite le rejet de ce gaz. C'est une boucle de rétroaction positive. Le méthane possède par ailleurs un impact 25 fois supérieur à celui du CO2 sur une durée de 100 ans. De même, des quantités très importantes d'hydrates de méthane sont

contenues dans les sédiments des océans. Avec l'accroissement de la température de l'eau de mer, ces gaz pourraient remonter à la surface et accentuer le réchauffement climatique. Ces phénomènes pourraient durer des milliers d'années.

## Les émissions de CO2 dont le monde : 40% issues de la production d'énergie

Les émissions de CO2 ont augmenté de 0,9% dans le monde en 2022, atteignant un nouveau record de 37 Gt, dont près de 15 Gt pour la production d'énergie, 9 Gt pour l'industrie, 8 Gt pour les transports et 3 Gt pour les bâtiments. La Chine est le pays le plus contributeur avec 10 Gt, suivi des USA, de l'Europe et de l'Inde. Il faut rajouter à ces émissions celles des autres gaz comme le méthane (4 Gt éq. CO2).

En France, les émissions de CO2 ont dépassé 0,4 Gt en 2021, dont près de 30% dues au secteur du transport. Les autres domaines les plus contributeurs sont l'agriculture (20%), l'industrie (19%), les bâtiments (18%) et la production d'énergie (9%).

Diminuer ces émissions doit être une priorité prédominante de toutes nos actions politiques, économiques et sociales. Face aux risques climatiques potentiels, nous devons réagir très rapidement, en utilisant les solutions existantes. Nous ne pouvons plus attendre, la situation pourrait devenir catastrophique. Les rapports des scientifiques montrent continuellement que nous sous-estimons les causes et les effets du changement climatique.

# La production d'énergie sans CO2

De nombreuses technologies disponibles

## La production d'électricité en France : des émissions de CO2 faibles

Le parc de production français poursuit son développement en ajoutant continuellement des moyens décarbonés : 5 GW de puissance éolienne et solaire ont été mis en service en 2022. Avec 61 GW de centrales nucléaires, 26 GW d'installations hydrauliques, 20 GW d'éolien terrestre et en mer, 16 GW de solaire photovoltaïque, le parc de production d'électricité français produit une électricité dont les émissions représentent environ 9% des émissions territoriales contre 19% dans l'Union européenne.

Grâce aux choix politiques décidés après 1945 avec l'hydraulique, puis avec le nucléaire suite aux chocs pétroliers et dans les années 2000 avec les énergies renouvelables, la France se situe parmi les pays les plus sobres en termes d'émissions de CO2. Mais avec le mouvement prévisible vers une électrification grandissante de notre économie et face aux menaces climatiques, il faut changer d'échelle. D'après le RTE, la consommation d'électricité française pourrait atteindre 645 TWh en 2050 dans son scénario de référence contre 460 TWh en 2022. Notre production d'électricité devra donc croître en intégrant le vieillissement de notre parc nucléaire.

Notre pays possède de nombreux atouts : des entreprises énergétiques leaders au niveau mondial, un réseau dynamique d'entreprises de taille intermédiaires et de PME dans les énergies renouvelables créé lors de l'ouverture du marché de l'énergie, des acteurs en croissance dans les nouveaux métiers comme le stockage, l'hydrogène... La recherche française publique et privée est par ailleurs une des plus performantes et entreprenantes dans ces différents domaines. La France peut montrer la voie en consacrant ses moyens pour intensifier sa politique énergétique neutre en carbone et aider les autres pays dans leur politique.

Des évolutions technologiques considérables sont en cours dans l'électricité et l'énergie : il faut intégrer celles qui sont disponibles dès à présent.

## Le nucléaire : une technologie de production d'électricité peu émettrice de CO2

Avec 6 g CO2/kWh, le nucléaire est une des solutions de production d'électricité la moins émettrice de CO2, à comparer par exemple à l'éolien (12 g CO2/kWh), au solaire photovoltaïque (36 g CO2/kWh), aux centrales à gaz (400 g CO2/kWh) et au charbon (800 g CO2/kWh). En France, cette technologie a représenté 63% de la production électrique en 2022. 437 réacteurs sont en fonctionnement dans 33 pays produisant 10% de l'électricité mondiale. 60 réacteurs sont en construction dont 22 en Chine et 8 en Inde, avec des perspectives en Europe de l'Est. Dans cette industrie à cycle long, avec des temps de développement et de construction des centrales relativement important, la planification est un élément clé. Face à l'urgence du changement climatique, les politiques des Etats doivent être décidées avec des visions claires et une constance dans le temps, des éléments qui ont manqué à la France depuis la fin du programme nucléaire achevé dans les années 90. Les compétences, une ressource essentielle dans la stratégie d'une entreprise, ont été perdues par l'industrie nucléaire française. Les retrouver demandera plusieurs

années et des moyens importants. La prolongation de notre parc nucléaire existant et la relance d'une nouvelle série de réacteurs sont des éléments clés de notre production d'énergie bas carbone.

Le nucléaire, une énergie centralisée, est complémentaire aux énergies renouvelables. Elle est par ailleurs pilotable, contrairement aux énergies intermittentes comme le solaire photovoltaïque et l'éolien.

## Le solaire photovoltaïque et l'éolien : des marchés en forte croissance

Depuis une quinzaine d'années, le solaire photovoltaïque (PV), l'éolien terrestre et l'éolien en mer dominant le secteur des énergies renouvelables électriques. Avec plus de 1 200 GW de panneaux photovoltaïques et 900 GW d'éoliens en mer dont 63 GW pour l'éolien en mer installés en cumulé dans le monde à fin 2022, ces deux énergies continuent leurs croissances exponentielles. Elles présentent l'avantage d'un temps de développement et de construction relativement court, 4 ans en moyenne, un peu plus en France.

Les investissements mondiaux de ces deux types de productions ont atteints 500 milliards d'euros en 2022, soit légèrement plus que ceux de l'amont du pétrole et du gaz : le solaire photovoltaïque et l'éolien sont devenus des secteurs majeurs de l'économie. Si ces énergies se développent aussi rapidement, c'est qu'elles sont les moins chères du marché. Et grâce aux innovations continues, leurs coûts de production devraient encore baisser de 30% à 40% d'ici 2040.

Dans le domaine du solaire photovoltaïque, la modularité de cette technologie offre la possibilité de développer des installations de taille très diverses : du kW au GW. Il existe plusieurs segments comme les centrales au sol, les centrales flottantes sur des lacs voire en mer, l'agrivoltaïsme associant la production électrique et l'agriculture, les installations en toitures pour le résidentiel et les grandes toitures industrielles et tertiaires, les ombrières de parking... Le potentiel de développement du PV est très important. Comme l'éolien, il pourrait représenter jusqu'au quart de la production mondiale d'électricité en 2040. La seule limite de cette technologie, recyclable à 95%, sera peut-être son acceptabilité. Son faible rendement nécessite en effet des surfaces considérables. Dans le scénario de référence du RTE, 50 GW de PV représenteraient en 2050 une emprise au sol de 50 000 ha. Il faut toutefois relativiser cette surface : en 2022, 1 500 000 ha sont cultivés pour les biocarburants. Le solaire en toitures, l'agrivoltaïsme et le solaire flottant, en limitant les conflits d'usage, apporte une réponse partielle à cette acceptabilité.

Dans l'éolien, trois segments principaux existent : l'éolien terrestre, l'éolien en mer posé et l'éolien en mer flottant. Le petit éolien possède des coûts de production élevés, il ne s'est développé qu'aux Etats-Unis et en Chine. L'acceptabilité est le principal frein au développement de l'éolien, surtout pour le terrestre et dans des pays comme la France où les grandes surfaces inhabitées ne sont pas aussi présentes que dans certains pays.

Le solaire photovoltaïque et l'éolien demeurent cependant des énergies intermittentes : sans soleil et sans vent, la production électrique n'est pas possible. Il faut donc des systèmes de stockage et d'équilibre du réseau pour assurer une continuité optimale de la fourniture d'électricité : à chaque instant, l'offre doit être équivalente à la demande. Le stockage d'électricité reste un domaine complexe et coûteux : l'électricité se stocke mal. Mais des solutions apparaissent.

## Les autres énergies renouvelables : des marchés matures ou de niche en faible croissance



L'énergie hydraulique est la plus ancienne source de production d'électricité et une des plus compétitives. Elle n'émet pas ou peu de gaz à effet de serre et est mobilisable rapidement grâce notamment à l'eau stockée. Dans le monde, l'hydroélectricité dépasse 1400 GW installés dont 160 GW de Station de Transfert d'Énergie par Pompage (STEP). Composées de deux réservoirs d'eau situés à des altitudes différentes, la STEP fonctionne en circuit fermé. Elle pompe l'eau du bassin inférieur vers le bassin supérieur lorsque la demande et donc le prix de l'électricité sont peu élevés et la restitue en turbinant l'eau du bassin supérieur vers le bassin inférieur lorsque la demande augmente. La STEP est une des techniques les plus efficaces pour le stockage de l'énergie. Mais elle dépend de la géographie du site et son potentiel est limité en France : 5 GW sont déjà installés, 1,5 GW pourrait être ajouté. En revanche, de nombreux projets sont en cours à l'étranger. Quant aux autres types de barrages, les principaux sites ont déjà été utilisés en Europe mais leurs potentiels restent importants en Afrique et dans certains pays d'Asie ou d'Amérique du Sud. Les impacts environnementaux et sociaux doivent toutefois être étudiés avec précaution.

Il existe d'autres énergies renouvelables pour produire de l'électricité comme la bioélectricité (150 GW installés dans le monde à fin 2022) et la géothermie (15 GW). Les capacités installées dans le monde sont modérées et ces secteurs sont en faible croissance. Le solaire à concentration, l'énergie des vagues et l'hydrolien restent des marchés de niche ou encore en phase de démonstration.

## La méthanisation : un substitut onéreux au gaz fossile

La méthanisation consiste à produire du biogaz grâce à la fermentation de matières organiques (déchets agricoles, matières végétales...). Le biogaz possède les mêmes caractéristiques que le gaz fossile. Cette technologie est mature, mais ses coûts de production (70 à 80 €/MWh) sont le double de ceux du gaz fossile. Il permet toutefois de diminuer les importations de gaz.

En France en 2022, la méthanisation ne représente que 2% du volume de gaz injecté dans le réseau. Il possède cependant un bilan carbone neutre. Comme le gaz fossile, la combustion de biométhane émet du CO<sub>2</sub>, mais la ressource utilisée (déchets verts, bois...) s'inscrit dans un cycle qui permet de capter le CO<sub>2</sub> de l'atmosphère. Le biométhane offre en outre des ressources financières complémentaires au monde agricole. Cette technologie apparaît surtout intéressante pour les usages dont les alternatives au gaz fossiles sont limitées comme les processus industriels ou les transports lourds, à l'exemple des bateaux.

Pour le chauffage des bâtiments ou la cuisson, il existe des solutions plus performantes et à des coûts compétitifs, comme la combustion directe de biomasse, les pompes à chaleur ou l'électricité.

## La pompe à chaleur pour les bâtiments : une des solutions les plus efficaces

Une pompe à chaleur (PAC) est utilisée pour produire le chauffage et l'eau chaude sanitaire dans un bâtiment. Elle capte les calories de l'air, des nappes d'eau ou du sous-sol. Il en existe de différents types avec des échangeurs air/air, air/eau, eau/eau.

Les PAC sont performantes en énergie et permettent de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Par exemple, dans une maison individuelle, le remplacement d'une chaudière au fioul par une PAC réduit la facture de chauffage par un facteur de 2 à 3 et diminue les émissions de gaz à effet de serre de plus de 80%.

Les PAC géothermiques eau/eau qui consistent à récupérer la chaleur constante du sol est une des PAC les plus performantes sur le long terme. Des capteurs verticaux ou horizontaux sont enfouis

dans le sol et récupèrent les calories présentes sous terre. Ces dernières sont ensuite transformées en chaleur puis diffusées dans les planchers chauffants ou les radiateurs. Cette technologie est très présente en Allemagne, au Royaume-Uni, en Suède, aux Etats-Unis, en Asie... Ce marché est en croissance annuelle de 8% dans le monde. En France, il reste confidentiel en raison d'une filière peu structurée et d'un manque de connaissance de cette technologie par les donneurs d'ordre. Compte-tenu des investissements plus élevés que les autres PAC, cette solution est bien adaptée aux maisons individuelles de grande taille et aux bâtiments tertiaires. Au niveau mondial, ces derniers représentent les deux-tiers du marché. En France, de nouvelles actions de soutien à ce marché ont été annoncées par le gouvernement début 2023. Il faudrait toutefois renforcer les aides aux marchés du tertiaire public et privé, les segments qui présentent le plus d'intérêts économiques et de potentiel pour cette technologie.

## Le stockage d'électricité : des solutions performantes en émergence

Grâce aux batteries Li-ion mises sur le marché par Sony depuis 1991, le stockage électro-chimique révolutionne les secteurs de l'énergie électrique et du transport. Dans de nombreux pays comme en Allemagne, au Royaume-Uni, aux Etats-Unis, en Australie, en Chine, les installations de stockage électrochimique Li-ion se développent rapidement, aussi bien sur le réseau avec de grandes installations de plusieurs dizaines voire centaines de GW, que pour des installations plus faibles chez les clients industriels, tertiaires ou résidentiels.

Encore en phase de démarrage, le stockage électrochimique croît de 30% par an pour dépasser 40 GW en cumulé en 2022. La technologie Li-ion possède un quasi-monopole avec une part de marché de 95%. Associé à des installations photovoltaïques, la complémentarité est très bonne : la production journalière du photovoltaïque correspond au cycle de stockage des batteries, de l'ordre de 4 à 8 heures. Une installation photovoltaïque adossée à une batterie de 6 heures peut permettre de passer la pointe de consommation d'électricité du soir : le PV produit du matin jusqu'à coucher du soleil, la batterie est chargée dans la journée par le PV, puis fournit l'électricité à la demande.

Pour l'éolien, dont la production aléatoire dépend des conditions de vent, le stockage Li-ion est moins adapté. Avec un anticyclone sur la France pendant plusieurs jours, les batteries Li-ion ne pourraient pas assurer la continuité du service.

Les investissements considérables dans le véhicule électrique dynamisent le secteur du stockage électrochimique. En quelques années, la capacité de production des fabricants de batteries Li-ion est passée dans le monde de 100 GWh en 2017 à 1 000 GWh en 2022. Et en moins de 5 ans, les véhicules électriques à faible et moyenne autonomie sont passés de la technologie Li-ion NMC (Nickel Manganèse Cobalt) et NCA (Nickel Cobalt Aluminium) à la technologie LFP (Lithium Fer Phosphate). Ses coûts sont plus faibles, elle utilise moins de métaux critiques comme le cobalt ou le nickel et est plus sûre. Sa densité énergétique est moindre, mais ce critère compte moins pour ce type de véhicules. La technologie utilisée dans les véhicules électriques est pratiquement la même que celle utilisée pour le stockage stationnaire, qui bénéficie donc des innovations et des économies d'échelle du secteur du transport électrique. Les batteries LFP équipent désormais toutes les installations de stockage stationnaire des réseaux électriques.

Une autre technologie pourrait révolutionner le stockage : les batteries sodium-ion. Leur développement a commencé dans les années 1970, mais avec le succès du Li-ion, l'intérêt pour le sodium-ion a diminué. Depuis 2010, avec les risques liés à l'augmentation des prix et à la disponibilité des ressources comme le lithium, le nickel, le cobalt, le sodium-ion connaît une renaissance. Début 2023, le fabricant chinois de batteries CATL, numéro un mondial avec une part de marché de 37% et avec ses 5 000 chercheurs, a annoncé la commercialisation fin 2023 d'un stockage sodium-ion qui équipera les voitures du chinois Chery. Ces caractéristiques sont proches

de celles des LFP avec des coûts 30% plus bas, des risques plus faibles, de meilleures performances à -20°C... Cette technologie présente surtout l'avantage d'utiliser du sodium, le 8<sup>ème</sup> élément le plus présent dans la croûte terrestre (33<sup>ème</sup> pour le lithium). Les usines existantes de fabrication de batteries Li-ion ne nécessiteraient que +10% de Capex pour les adapter au sodium-ion : la transformation pourrait se faire en moins d'un an.

## Une technologie de stockage intéressante : les sels fondus

Il existe d'autres technologies de stockage d'énergies qui possèdent des durées de stockage plus longues que les batteries Li-ion ou sodium-ion comme les batteries à flux, le stockage par air comprimé ou par gravité. Mais en raison de leurs coûts élevés, de leurs technologies complexes, de contraintes géographiques, elles sont encore en phase de démonstration ou restent des marchés de niche. L'hydrogène, dont le stockage peut se faire sur des périodes de plusieurs jours, commence à émerger. La compétitivité de la production d'hydrogène par électrolyse doit néanmoins fortement s'améliorer, en intégrant également les aspects de sécurité, un facteur clé pour son développement.

Une technologie pourrait peut-être apporter une solution au stockage d'énergie sur de plus longues durées. Elle permettrait en outre la diminution des émissions de CO2 des centrales charbons. Les sels fondus sont utilisés depuis des années dans les centrales solaires thermiques où des miroirs concentrent les rayons du soleil vers un fluide caloporteur, les sels fondus. Ils sont ensuite stockés pendant plusieurs heures dans des réservoirs et peuvent alimenter une turbine électrique grâce à un échangeur de chaleur. Cette technologie a été en compétition avec le PV mais avec la diminution rapide des coûts du solaire photovoltaïque, elle est restée un marché confidentiel. Plutôt que d'être chauffés par le soleil, les sels peuvent l'être à l'aide de résistances électriques alimentées par des panneaux PV. Cette solution est mature et permet de stocker de la chaleur pendant 10 à 18 heures. Cette chaleur pourrait être utilisée pour faire fonctionner une centrale thermique, avec très peu d'adaptations (suppression de la chaudière, rajout d'une boucle de stockage thermique). L'équilibre économique de ce système serait assuré grâce aux différences de prix entre les coûts de production du PV dans la journée et le prix de vente de l'énergie en fonction de la demande, comme pour les STEPS. Face à l'urgence climatique, des subventions pourraient être octroyées pour faciliter la mutation de certaines centrales charbon vers ces nouveaux systèmes de stockage thermique.

## Une nouvelle architecture des systèmes énergétiques : une alliance de structures centralisées et décentralisées

Historiquement, avec l'interconnexion progressive de réseaux électriques autonomes, les systèmes électriques dans les pays développés se sont construits comme une agrégation de systèmes. Cette centralisation a permis de réaliser des économies d'échelle, d'éviter les redondances (réseaux multiples...), de valoriser des ressources énergétiques géographiquement localisées, de normaliser les fréquences et les tensions.

Avec le développement des énergies décentralisées, du stockage, du véhicule électrique, des outils de flexibilité de la demande, le système électrique centralisé se transforme. Il se caractérise par une juxtaposition de systèmes électriques multiples et de différentes tailles pouvant être ponctuellement autonome ou intégrés complètement au système électrique existant. Par exemple, une maison individuelle équipée d'un kit photovoltaïque, d'une batterie Li-ion, d'un véhicule électrique, d'un chauffe-eau électrique et d'une gestion de la demande évoluée peut se désolidariser du système électrique pour fonctionner de façon autonome quelques heures par jour. Elle devient alors un petit système électrique avec sa propre production, son installation d'équilibre offre/demande, sa consommation. Lorsqu'elle est connectée au réseau (injection ou soutirage),

elle devient un élément de l'organisation centralisée tout en conservant sa spécificité et son indépendance potentielle. D'autres clients peuvent également être autonomes dans la structure centralisée : entreprises, mini-réseaux privés, centrales de production et stockages virtuels.

Cette nouvelle architecture facilite en outre l'adaptation face aux événements imprévus : phénomènes météorologiques extrêmes, pandémies... Cette décentralisation s'intègre dans un système centralisé qui se renforce grâce au développement des interconnexions.

## Les interconnexions énergétiques : vers une logique européenne

Les interconnexions énergétiques européennes, parmi les réseaux les plus denses au monde, constituent un véritable atout. Elles permettent de faciliter l'équilibre de l'offre et de la demande à chaque instant, d'utiliser les énergies les plus compétitives et décarbonnées et de palier les éventuels incidents techniques sur les réseaux. Elles apportent une flexibilité dans le fonctionnement des systèmes énergétiques.

Le développement de ces réseaux de gaz, d'électricité et à plus longue échéance d'hydrogène, continue de se renforcer. À terme, ils deviendront une des clés de la sécurité et de l'indépendance énergétique de l'Europe et de la France et permettront de mieux gérer les moyens de production d'énergie neutres en carbone.

# L'efficacité et la sobriété énergétique

Deux leviers indispensables pour limiter les émissions de CO2

## L'efficacité énergétique : une notion technique

L'efficacité énergétique se définit par la quantité d'énergie consommée pour réaliser un service. Elle consiste par exemple à mieux isoler les bâtiments ou à améliorer la performance énergétique de l'électroménager. Elle dépend des progrès technologiques. Les investissements peuvent être élevés pour des installations ou des produits existants, moindres s'ils sont intégrés dès la conception. L'efficacité nécessite des mesures audacieuses pour optimiser l'utilisation des ressources et réduire les pertes liées à sa gestion. L'énergie économisée à un coût, qui devient élevé lorsque l'on tangente l'efficacité maximale.

Dans le monde en 2022, les investissements dans le domaine de l'efficacité énergétique ont atteint 400 milliards de dollars, soit légèrement moins que ceux du secteur amont du pétrole et du gaz (480 milliards de dollars).

L'amélioration de l'efficacité énergétique doit être une priorité : les transports (31%) et le logement (31%) représentent la majorité de la consommation française, suivi du secteur industriel (19%) et du secteur tertiaire (16%). Une électrification neutre en CO2 possède un rôle majeur dans cette politique d'efficacité. Notre pays doit lutter contre le gaspillage énergétique, notamment domestique, qui représenterait 30% de notre consommation énergétique. Les mesures doivent être aussi bien applicables aux ménages qu'aux entreprises et administrations publiques.

En France, le secteur immobilier résidentiel et professionnel fait l'objet d'importantes mesures (RE 2020, Nouveau DPE, Taxonomie verte, Décret tertiaire, PLU bioclimatique). Plusieurs politiques incitatives existent par ailleurs à l'échelle locale. Ces dispositifs contribuent à développer l'efficacité énergétique, mais ils ne sont pas suffisants.

## La sobriété énergétique : une notion liée au mode de vie

La sobriété énergétique est relative à une consommation plus sobre des ressources. Par exemple, elle consiste à diminuer la température dans les bâtiments, à mieux structurer l'urbanisme des villes pour réduire les temps de transports, à mutualiser les équipements (véhicules, électroménagers dans les immeubles), à modifier ses comportements individuels et collectifs (télétravail, utilisation du vélo...) ... Elle correspond à des choix personnels et collectifs, à des changements d'habitudes.

La sobriété exige de repenser notre mode de vie, à rompre avec une culture de surconsommation énergétique, pour préserver davantage l'environnement et limiter les émissions de CO2. Mais ces changements ne se feront pas aisément : ils prendront du temps. L'inertie des comportements existants peut être forte.

# Le pacte vert pour l'Europe

## Un projet pour une Europe neutre en carbone

### Le pacte vert

En décembre 2019, la Commission européenne a présenté un plan ambitieux pour permettre à l'UE d'être neutre en carbone en 2050. L'objectif est de transformer l'Europe en une économie compétitive et performante dans les domaines de l'énergie, du transport, de l'industrie, de l'habitat, de l'alimentation, de l'emploi, de la formation, de l'environnement et de la biodiversité. Un premier but est de réduire les émissions de gaz à effet de serre d'au moins 55% en 2030 par rapport à 1990.

La finalité de l'UE est de devenir le leader de la troisième révolution industrielle en développant les marchés existants, en créant de nouveaux métiers, en préparant l'avenir grâce à des technologies modernes, des savoir-faire inédits, des compétences adaptables.

### La mutation vers une énergie décarbonée

Avec près de 30% des émissions de CO<sub>2</sub> de l'UE liées à l'énergie, la décarbonation du système énergétique européen est la priorité pour atteindre la neutralité carbone en 2050. Pour y parvenir, les principaux objectifs de la Commission résident dans un approvisionnement en énergie sûr et compétitif, un marché de l'énergie totalement interconnecté et intégré, un développement prioritaire des énergies renouvelables, une décarbonation du secteur du gaz, un développement de l'efficacité et de la sobriété énergétique.

### Des transports neutres en carbone

Les émissions de gaz à effet de serre dans les transports représentent 20% des émissions de l'UE. D'ici 2050, ces émissions doivent diminuer de 90%. De nombreuses actions ont déjà été engagées mais elles apparaissent plus difficiles dans certains domaines comme le transport maritime ou l'aérien. L'UE soutient ces secteurs au cœur de nos économies pour assurer son évolution rapide vers plus de neutralité carbone.

### Des secteurs résidentiels et tertiaire économes en énergie

Le résidentiel et le tertiaire européen émettent environ 12% des émissions de CO<sub>2</sub>. La politique de la Commission repose sur le soutien à la rénovation des bâtiments pour économiser l'énergie, diminuer la précarité énergétique et se préparer aux conditions climatiques extrêmes.

### Une industrie compétitive et écologique

Les procédés industriels en Europe représentent environ 12% des émissions de CO<sub>2</sub>. Le défi consiste à utiliser et développer les technologies à faibles émissions tout en restant compétitif à l'échelle mondiale. Toutes les entreprises devront s'adapter, quelles que soient leur taille et leur secteur. De nombreuses solutions existent déjà, les enjeux apparaissent principalement sur les

taux de retours sur investissements qui peuvent parfois ne pas être compatibles avec les décisions financières des entreprises. La stratégie de l'UE consiste à aider l'industrie afin qu'elle développe l'innovation, utilise les technologies neutres en carbone et accélère *in fine* la croissance économique.

## Une agriculture durable

L'agriculture émet 10% des émissions de CO2 de l'UE. L'objectif de la stratégie de la Commission « De la ferme à la table » est de garantir la sécurité alimentaire et sanitaire des aliments, de développer une production alimentaire durable et d'encourager une consommation responsable.

## En conclusion

En définissant un calendrier précis de réduction des émissions jusqu'à 2050, la Commission apporte de la visibilité à tous les acteurs de l'économie et facilite la transition vers un monde respectueux de l'environnement et de la biodiversité.

Au cours de la prochaine décennie, le financement du pacte vert représentera 1 000 milliards d'euros d'investissements. 30% du budget de l'UE sur la période 2021-2028 et de *NextGenerationEU*, l'instrument financier mis en place suite à la COVID-19, sont attribués à des investissements durables.

Le pacte vert pour l'Europe vise à favoriser une transition écologique performante et socialement juste pour préparer l'Europe à limiter son impact sur le climat et se préparer aux conséquences du changement climatique.

# Conclusion

Confrontés à des enjeux de responsabilité écologique au cours des prochains siècles, la France, l'Europe et le monde sont à un carrefour déterminant pour leur avenir. Une production énergétique neutre en CO<sub>2</sub>, associée à des politiques volontaires d'efficacité et de sobriété énergétique constituent des challenges fondamentaux face à la situation climatique alarmante. La production d'énergie est en effet responsable de plus de 40% des émissions de CO<sub>2</sub> dans le monde.

Des technologies performantes et compétitives, peu émettrices de CO<sub>2</sub>, existent déjà comme le nucléaire, les énergies renouvelables, les pompes à chaleur, le stockage. Elles permettent de résoudre une partie des défis qui attendent nos sociétés au cours des prochains siècles. L'efficacité énergétique, par exemple l'isolation des bâtiments, et la sobriété énergétique, comme la modification des comportements individuels, sont également applicables dès maintenant.

En intégrant les solutions existantes, notre pays et l'Europe peuvent non seulement améliorer leur compétitivité et leur indépendance énergétique, mais aussi avoir pour ambition d'asseoir une position de leader en matière de transition écologique, offrant ainsi un avenir durable aux Européens et un exemple à suivre pour le reste du monde.



Pour lire nos dernières publications et faire acte de candidature

:

Contact : [contact@cercleorion.com](mailto:contact@cercleorion.com)

Site Web : [www.cercleorion.com](http://www.cercleorion.com)



**CERCLE ORION**

Forum politique & d'influence  
nouvelle génération

© Tous droits réservés, Cercle Orion, Paris,  
2023.