



# Minerai #10

JUILLET 2021 - LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE



## La transition énergétique

### PERSPECTIVE

LA TRANSITION  
ÉNERGÉTIQUE ET LE G20  
Page 26

### DOSSIER

L'HISTOIRE DE LA  
TRANSITION ÉNERGÉTIQUE  
Page 9

### INNOVATION

L'ÉCONOMIE FONCTIONNELLE,  
HYDROGÈNE DÉCARBONÉ  
Page 56

# POUR MON AVENIR, JE CHOISIS LE GROUPE RAMERY



## JULIEN

Promotion 2020 de l'IMT Lille Douai

Aide Conducteur de Travaux  
chez Ramery depuis Novembre 2021,  
sur le chantier du Boulodrome de Sin-le-Noble.



**NOS ENTYTÉS BÂTIMENT RECRUTENT**  
RENDEZ-VOUS SUR : [RAMERY.JOBS.NET](https://ramery.jobs.net)



**CONTACTEZ-NOUS**  
740 RUE DU BAC  
59193 ERQUINGHEM-LYS



03 20 77 86 00



[RAMERY.FR](https://ramery.fr)

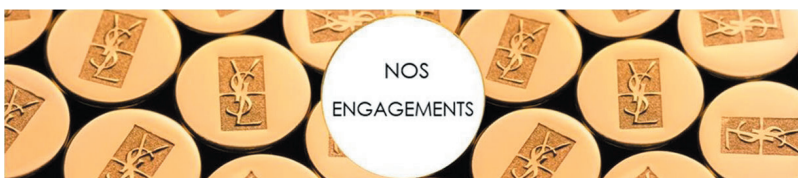
  
**Ramery**  
Créateur de perspectives

# L'ORÉAL

USINE DE CAUDRY



NOS  
ENGAGEMENTS



REJOIGNEZ  
-  
NOUS



- Une mission **stimulante & apprenante**  
au sein d'une **usine stratégique**

- Une **indemnisation compétitive**

- Un parcours d'intégration complet **au sein  
de l'usine**, et au sein des **Opérations L'Oréal**

- Un coaching managérial & un suivi RH  
**sur mesure**

Une porte d'entrée privilégiée vers les **carrières  
passionnantes** d'un **groupe international leader**  
**sur son secteur**

**DÉCOUVREZ NOS OFFRES SUR :**

<https://careers.loreal.com/fr>



Mission basée à Caudry (59)

## La transition énergétique

### Actualité IMT

- II** Actualité des Associations
- IV** Actualité des Écoles
- VI** Actualité des Élèves
- VIII** Interview



### Pourquoi une transition énergétique

- 6** Quelques enjeux essentiels de la transition énergétique
- 9** L'histoire de la transition énergétique
- 12** La neutralité carbone, la vraie
- 14** Repenser l'énergie, repenser la société
- 17** La nécessité d'un changement de paradigme

### L'adaptation nécessaire des territoires

- 20** La transition énergétique au sein des territoires L'exemple du Douaisis
- 23** Un scénario de transition énergétique pour la France
- 26** La transition énergétique et le G20
- 29** La transition énergétique en Australie
- 31** Ce que m'a appris l'arctique canadien

### Les réponses des entreprises

- 36** Les minerais et la transition écologique
- 38** Oui, les actionnaires ont un rôle décisif
- 39** La performance énergétique des bâtiments Transition collective et mobilisation individuelle
- 41** L'économie fonctionnelle le bon état d'esprit pour la transition énergétique
- 43** Mon expérience de chef de projet EnR

**Mines+ (IMT Lille Douai Alumni, IMT Alès Alumni, Mines Albi Alumni) - Rédaction** Mathieu CHARBONNIER (IMT Lille Douai, 2010) · **Maquette, illustration & mise en page** Option Création . 0 954 600 600 . contact@optioncreation.fr · **PUBLICITÉ** SEFE (Société d'Édition de Formation Européenne) . 1 Voie Félix Eboué 94000 Créteil . 01 80 91 48 13 . sefe@sefe.fr . www.sefe.fr · **IMPRESSION** 37 avenue des Châtelets . ZI des Châtelets 22440 PLOUFRAGAN . 02 96 60 97 00 · **ISSN** 2275-0568 · **PARUTION** 1500 exemplaires

Sauf mention contraire, les illustrations sont créditées à l'auteur de l'article.  
Crédit photo couverture : ©Adobe Stock



## Les changements techniques qui se dessinent

- 46** La transition énergétique dans les transports
- 52** Auto consommation collective - Le futur de l'énergie
- 53** L'Air Inflammable de Lavoisier sera-t-il le vecteur énergétique de la prochaine ère
- 56** Hydrogène décarboné Comment passer du gris au green
- 58** La production photovoltaïque
- 60** Interview
- 61** L'efficacité énergétique des composants systèmes et procédés au service de la transition

## Former des ingénieurs engagés

- 64** Le projet « ClimatSup INSA »
- 68** L'IMT revisite le rôle de l'ingénieur dans la transition écologique
- 71** Former les élèves ingénieurs aux enjeux énergie climat
- 73** Un nouveau groupe professionnel, le CIMT
- 74** Le Mouvement étudiant TForC
- 78** Des étudiants en Antarctique
- 79** Des initiatives pour penser la transition écologique ensemble—Climathon



## Edito

"Climate is everything", titrait le magazine Time en avril 2021.



Autre signe des temps, la lettre annuelle de Larry Fink, président du fonds d'investissement BlackRock, aux dirigeants d'entreprises, fait ces dernières années de plus en plus de place à la maîtrise des risques liés au changement climatique.

Pour comprendre les fondamentaux ("l'énergie ce n'est pas que l'électricité", la différence entre gaz à effet de serre et couche d'ozone, ...), une culture scientifique et la connaissance des ordres de grandeurs sont un prérequis.

Pour agir ensuite et mettre en oeuvre un changement jugé comme nécessaire par beaucoup, le monde a et continuera d'avoir besoin d'ingénieurs. Ce "défi du siècle" que constitue la lutte contre le changement climatique mobilise sans surprise les jeunes ingénieurs, comme les autres, qui peuvent y trouver l'occasion de se questionner sur l'impact qu'ils souhaitent avoir et sur le sens à donner à leur engagement professionnel.

Ce numéro de notre magazine a suscité un engouement avec près d'une trentaine d'articles qui le constituent (!).

Comme tout bon traitement d'un sujet de "transition", nous commencerons par énoncer la problématique avant d'aborder les changements induits par ces mouvements profonds, pour les collectivités -du Douaisis en Australie !- et les entreprises.

La parole sera ensuite donnée à la technique, que certains rapprochent de la "politique", avant de donner la parole à l'Institut Mines-Télécom et de présenter quelques initiatives prises par ceux qui vivront de plus près cette transition : les étudiants de nos écoles.

Merci aux contributeurs diplômés et membres de notre "réseau élargi" d'avoir contribué à ce numéro.

**Mathieu CHARBONNIER**

IMT Lille Douai, promo 2010

# NOUVEAU


# Think GREEN, PICK BLUE ! \*

## SYSAQUA BLUE

Groupe froid &  
Pompe à chaleur R290

- Écoresponsable
- Très haute efficacité
- Limites de fonctionnement étendues
- Système de sécurité breveté
- Faible encombrement
- Simple d'entretien
- Contrôle à distance via AC CLOUD
- 100% des unités testées d'usine
- Matériel éligible aux aides de l'état (CEE + suramortissement)



 systemair



Une des unités  
les plus écologiques  
du marché.

**3** Global  
Warming  
Potential



\* Pensez à l'environnement,  
Mettez vous au bleu !



Savez-vous qu'il existe un moyen de transporter des produits à haute vitesse à l'intérieur des bâtiments ? Ceci de façon automatisée, avec un tracking de suivi temps réel, et sans risque de transporter le Covid19 ?

Seul un réseau de tubes pneumatiques permet cela, en envoyant des cartouches de différentes dimensions. Un réseau pneumatique adressable, automatique, sûr et rapide.

**Les applications sont larges :**

- transfert de produits et prélèvements en site hospitaliers ou chimiques,
- transport de fonds sécurisé depuis terminaux de paiement et péages,
- communication de documents sur plateformes logistiques,
- échange de documents de traçabilité sur sites nucléaires,
- et bien d'autres cas d'usages !

Installé depuis **15 ans** en Rhône-Alpes, Elair est l'un des référents du transport par tubes pneumatiques grâce à son partenariat avec le leader européen Sumetzberger. Nous assurons design, déploiement et maintenance d'installations pneumatiques sur l'ensemble du territoire France, Suisse et Monaco. Les projets techniques réalisés en milieu santé et industrie sont notre quotidien.

**Dernière innovation :** des cartouches spécifiques brevetées et à chargement sans contact assurent le transport sans propagation du Covid.

Pour toute question ou demande de précisions :

ELAIR  
3, rue Lavoisier 69680 Chassieu  
Tél : 04 28 29 76 80  
[www.elair.fr](http://www.elair.fr)





Créée par la famille POVATAJ en 2001, COBAT CONSTRUCTIONS est une entreprise familiale spécialisée dans la construction dont ses chantiers se situent principalement en Île-de-France et dans les Hauts-de-France.

L'entreprise est spécialisée dans le terrassement et le voile contre-terre, ainsi que les travaux d'infrastructures complexes. Grâce à ses équipements, COBAT CONSTRUCTIONS mène l'ensemble de ses chantiers en autonomie complète.



Depuis 2014, COBAT CONSTRUCTIONS réalise des chantiers en entreprise générale. Elle prend en charge les travaux de construction dans leur totalité, depuis les fondations jusqu'à la livraison.



L'entreprise mène des travaux de réhabilitation de logements ou de bâtiments industriels, à la fois en gros-oeuvre et en sous oeuvre. Son expertise globale des métiers du bâtiment assure à ses clients conseil et vision d'ensemble sur chaque projet entrepris.



COBAT CONSTRUCTIONS offre quatre types d'expertises :

GROS-OEUVRE

RÉHABILITATION

ENTREPRISE  
GÉNÉRALE

DÉMOLITION

Chiffres clés :

260 salariés

20 000 logements construits en gros-oeuvre

2 000 logements construits en entreprise générale

+ 15% de croissance en 2020

1111 Démolitions technicité courante

2112 Maçonnerie technicité courante

2113 Maçonnerie technicité supérieure



Son savoir-faire, la qualité de ses ouvrages exécutés et son sens de l'engagement, font de COBAT CONSTRUCTIONS un acteur reconnu du monde de la construction.

## LA CONCRÉTISATION DE NOUVEAUX PROJETS

Aujourd'hui, la société continue de se développer en se lançant dans la construction de son nouveau siège social : il s'agit d'un projet environnemental, social et industriel d'envergure, qui accueillera une unité de production de préfabrication béton, une usine de production d'amatures mais également un école de formation aux métiers du bâtiment.



# Actualité des associations

ALÈS

## Quelques nouvelles de Mines Ales Angels une association de Business Angels qui investi

Mines Ales Angels (M2A) a pour vocation de développer et animer un réseau de business angels afin d'aider de jeunes entreprises innovantes à se développer. Un business angels, au-delà de l'argent, met son expertise d'entrepreneur ou d'ingénieur, ainsi que son réseau personnel, au service du développement des projets financés. Notre Association a été créée en 2015 à l'initiative de Mines Ales Alumni et de quelques Anciens Elèves, afin de soutenir par l'investissement en capital des projets portés par des Anciens Elèves ou implantés localement. L'idée était aussi de contribuer à développer la culture entrepreneuriale à l'IMT.

Bien que créé à la base au sein du réseau alésien, Jérôme ANDRE, le président de Mines Ales Angels, précise : « Bien évidemment nous invitons les Anciens d'Albi et de Douai à nous rejoindre !

D'autre part, l'adhésion est ouverte à des Cadres de l'Industrie partageant nos valeurs et souhaitant s'impliquer dans l'accompagnement de nos investissements. »

En 2019 M2A a investi dans HioTee, jeune entreprise technologique de Montpellier, spécialiste de l'IOT par satellite. Au-delà d'une expertise et d'un positionnement pertinent, la société souhaitait se développer prioritairement sur le marché du « smart mining », ce qui a déclenché notre décision d'investir.

Plus récemment M2A c'est associé à MELIES Business Angels, un réseau de Business Angels de Montpellier, afin d'investir dans la levée de fonds FairFair. Mines Alès Angels et MELIES Business Angels ont investi 400 K€ dans FairFair pour participer à l'accélération de l'activité du réseau des professionnels éthiques en dépannage d'urgence. FairFair by QuiOuvre (Béziers), plateforme intelligente multi métiers, veut devenir la référence nationale des services urgents à l'habitat et se développer en Europe.

Pour nous rejoindre en tant que Business Angels ou pour déposer un dossier de demande d'investissement, vous pouvez vous rendre sur le site internet de l'association : [www.mines-ales-angels.com](http://www.mines-ales-angels.com) ou en prenant contact avec le président Jérôme ANDRE au 06 86 27 01 40.

LILLE DOUAI

## Artemis devient une Junior Entreprise !

La Confédération Nationale des Junior-Entreprises a reconnu le statut de Junior Entreprise à Artemis. IMT Lille Douai Alumni tient à saluer le travail accompli depuis plusieurs années, et à adresser ses vives félicitations aux différents bureaux qui ont permis l'obtention de cette reconnaissance.





LILLE DOUAI

## IMT Lille Douai Alumni soutient **Alumni for the Planet**

En soutenant Alumni for the Planet, IMT Lille Douai Alumni rejoint le collectif des alumni engagés pour le climat et l'environnement !

Le Comité National de l'association a validé à l'unanimité lors de sa réunion du 20 mars 2020 de s'afficher comme soutien de cette initiative parrainée notamment par Valérie MASSON-DELMOTE (membre du GIEC), qui vise à mobiliser les diplômés des grandes écoles en faveur de la protection de la planète.

Cet engagement a été doublé d'une présentation organisée le 27 avril afin de permettre aux membres de notre réseau de s'engager.



LILLE DOUAI

## Solidarité avec les étudiants : 2 bourses attribuées par des diplômés

Du nom de 2 membres bienfaiteurs d'IMT Lille Douai Alumni, l'association gère 2 bourses attribuées selon les critères énoncés par les généreux donateurs :

- Le Prix Oscar Waquet (Oscar WAQUET, promotion 1913) est attribué depuis 1981, à « l'étudiant le plus méritant de la promotion sortante, option métallurgie-mécanique » (critère adapté depuis à l'évolution du mode de formation de l'école). Il est remis le jour de la remise de diplômes
- La Bourse Queudot (Raymond QUEUDOT, promotion 1935) est attribué par une commission tripartite école-association-bureau des élèves à des élèves de M1 2<sup>ème</sup> année du cycle ingénieur sur les critères suivants :
  - une situation financière difficile ;
  - un projet professionnel solide, en lien avec la formation dispensée par l'Ecole ;
  - de bons résultats scolaires.

Depuis sa mise en place en 2001, ce sont ainsi plus de 250 000 euros qui ont été donnés pour soutenir le projet d'élèves de notre école, et 13 500 € en 2021 à 10 élèves.

ALÈS

## CLASSEMENT THE IMPACT

IMT Mines Alès figure dans le TOP 400 des meilleures universités mondiales selon le « Times Higher Education Impact », et dans le TOP 10 français, pour la 2<sup>e</sup> année consécutive ! Elle est classée 3<sup>e</sup> parmi les écoles d'ingénieur françaises.

L'édition 2021 du THE Impact présente le palmarès des 1.000 meilleurs établissements sur un total de plus de 30.000 établissements d'enseignement supérieur présents dans le monde. Il comporte un classement général ainsi que 17 classements thématiques selon les 17 Objectifs de Développement Durable de l'ONU.

Pierre Perdiguier, directeur de l'école (pi), indique : « En tant qu'école de la République, IMT Mines Alès a une responsabilité sociétale particulière ; elle joue un rôle clé dans la construction de la pensée de ses élèves, décideurs de demain. Figurer dans le TOP 400 mondial pour la 2<sup>e</sup> année consécutive et dans le top 10 français est à la fois une reconnaissance pour le très fort engagement de l'école, et une opportunité pour asseoir notre réputation auprès des étudiants français, étrangers et des établissements internationaux. »

ALÈS

## Lutte contre les violences sexuelles et sexistes

### IMT MINES ALES se dote d'une plateforme d'écoute et de signalement

Comme prévu dans le plan d'action de lutte contre les violences sexuelles et sexistes, IMT Mines Alès lance dès aujourd'hui une plateforme d'écoute et de signalement en ligne, accessible depuis un ordinateur, une tablette ou un smartphone pour qu'élèves et personnels puissent dénoncer les violences sexuelles et sexistes vécues ou constatées.



Accessible 7 jours/7 et 24h/24, bilingue français/anglais, ce nouvel outil témoigne de la volonté résolue d'IMT Mines Alès de pratiquer la tolérance zéro face aux violences sexuelles et sexistes.

En se connectant sur <https://mines-ales.signalement.net>, victimes ou témoins de violences sexuelles et sexistes peuvent déposer des signalements de façon totalement sécurisée et en toute confidentialité. Le système ne nécessite pas de création de compte

#### SIGNALEMENT

ni de téléchargement d'application et permet à ceux qui le souhaitent de rester anonyme. Cette plateforme est hébergée par une structure externe à l'école.

Pour traiter les signalements et pour renforcer le dispositif d'écoute en place, l'école est accompagnée par une consultante experte des sujets de violences sexistes et sexuelles qui suivra les situations les plus délicates.

L'école renforce également son dispositif d'écoute avec l'accompagnement par une écoutante externe, experte de ces sujets. La plateforme offre la possibilité de déposer directement une demande de rendez-vous. L'objectif est de permettre aux victimes ou témoins d'être accompagnés au sein de l'école, ou orientés vers des associations ou institutions pour faciliter une prise en charge sociale et/ou psychologique ou dans la procédure menant au dépôt d'une plainte.

En facilitant, tant en français qu'en anglais, le recueil des signalements, la plateforme mise en place permet aux victimes et témoins de bénéficier d'une procédure confidentielle, facilitée et claire sur des sujets souvent tabous.

En assurant le traçage de ces signalements, la plateforme permet d'en faire une analyse rigoureuse et de procéder à leur traitement via des enquêtes internes si nécessaire. L'école a désigné des référent(e)s formé(e)s aux traitements des différents types de signalement. Eux seuls seront destinataires des informations déposées par le biais de la plateforme. Chaque personne ayant déposé un signalement est informée du suivi du traitement via un système de discussion qui permet d'envoyer et de recevoir des messages, y compris si le déclarant a fait le choix de conserver l'anonymat.

LILLE DOUAI

## Projet 2021 :

### Campus du futur les projets lauréats du plan de relance

Plan de relance : IMT Lille Douai – 7 108 k€



des Projets IMT Lille Douai retenus



Projet « Transformée de Laplace »  
Campus IMT – Site Bourseul

4 945 k€



Division par 5

Projet « Complexe Energie »  
Campus IMT – Site Lahure

2 163 k€



Division par 5



Division par 2,5

ALÈS

## Emission Radio

### « Sur la route des Doctorants Des Mines D'Alès »

Sur la route des doctorants : un aller direct vers le monde de la recherche, pour tous !

Depuis quelques mois les doctorants d'IMT Mines Alès ont l'opportunité de partager leurs recherches et travaux sur les ondes de Radio Grille Ouverte (88.2 FM) à travers l'émission « Sur la route : des doctorants des Mines d'Alès » !

L'émission d'une durée de 28 minutes offre la possibilité de découvrir le quotidien des doctorants et leurs résultats sur des sujets aussi variés que l'environnement et la prévention des risques, les matériaux innovants et le génie civil ou encore l'informatique et l'intelligence artificielle. Un très beau moyen d'en apprendre plus concernant les problématiques de nos sociétés.

« Sur la route : des doctorants des Mines d'Alès » est une émission mensuelle, à l'antenne le deuxième mercredi de chaque mois, à 9h30 (et rediffusée le week-end). C'est ainsi une belle opportunité de valoriser la science et faire le lien entre le monde de la recherche et le grand public.

**Janvier 2021** : <https://radiogrilleouverte.com/podcast/sur-la-route-des-doctorants-130121/>

**Février 2021** : <http://radiogrilleouverte.com/podcast/sur-la-route-des-doctorants-100221/>

**Mars 2021** : <http://radiogrilleouverte.com/podcast/sur-la-route-des-doctorants-100321/>

**Avril 2021** : <https://radiogrilleouverte.com/podcast/sur-la-route-des-doctorants-140421/>

ALÈS

## RAPPORT DDRS 2020

IMT Mines Alès vient de sortir son rapport Développement durable et responsabilité sociétale 2020. Il présente l'état des lieux au titre de l'année 2020 et les axes de progrès envisagés pour la suite, dans un format original et conforme au canevas « Plan vert » de l'enseignement supérieur français.

Retrouvez le rapport complet et sa synthèse



RAPPORT COMPLET

IMT Mines Alès est engagée dans une démarche de développement durable et de responsabilité sociétale depuis de nombreuses années ; en témoignent notamment le positionnement scientifique et technologique de ses trois centres de recherche et d'enseignement ou encore sa politique sociale et d'ancrage territorial.

La planète est aujourd'hui confrontée à des situations écologiques qui peuvent avoir des conséquences vitales sur l'homme. En tant qu'école de la République, IMT Mines Alès a une responsabilité particulière dans l'apport de ces réponses car elle joue un rôle dans la construction de la pensée de ses élèves, décideurs de demain. Elle doit de plus agir et exercer ses responsabilités pour le progrès sociétal en général et la protection de l'environnement en particulier tant auprès de ses collaborateurs qu'auprès des entreprises, du territoire et de ses partenaires.

# Actualité des élèves

ALÈS

## Nouveau bureau 2021-2022

Bonjour à tous,

Le nouveau bureau du Cercle des Elèves va prendre ses fonctions la semaine prochaine, et nous sommes très motivés à l'idée d'améliorer, de faciliter et d'animer le quotidien des étudiants des Mines d'Alès durant notre mandat.

Nous avons déjà commencé à mettre en place différents projets faisant suite aux promesses de campagne que nous avons présentées à nos camarades lors des élections, en janvier. Nous avons pour objectif d'accélérer le projet de digitalisation de la Maison des Elèves en mettant en place une nouvelle solution permettant de faciliter les paiements des cotisants au sein du campus (laveries, distributeurs...), nous souhaitons également accompagner et renforcer les actions des élèves dans le sens du développement durable, introduire plusieurs formations au sein des clubs du Cercle pour prévenir les violences sexuelles et sexistes (VSS) en coopération avec des associations spécialisées, rénover l'entièreté de la Salle de Boom et de ses cuisines, et mettre en place une boîte à livres afin d'encourager les Emayens à enrichir leurs univers littéraires. N'hésitez pas à nous contacter si vous êtes intéressés par nos projets !

Le bureau des élèves de Mines Alès

The graphic features a dark red background with a light blue grid pattern. At the top, the text 'Cercle des élèves' is written in white, with '2021-2022' below it. To the right is a white circular logo with a red hand icon. Below this, eight circular portraits of the bureau members are arranged in a grid. Each portrait is accompanied by a red rectangular box containing the member's name and role in white text. At the bottom left, there is a small logo for 'EMA Visual' with a red circle next to it.

Cercle des élèves		
2021-2022		
Vincent ATTALI	Président	
Marion HEITZMANN	Arthur ISAAC	Inès MORISSON
Vice-Présidente	Vice-Président	Vice-Présidente
Julien BAILLEUL	Victor CRÉPIN	Antoine OLISLAEGERS
Trésorier	Trésorier	Trésorier
Jean BOULAT	Nicolas COURTIN	
Secrétaire	Secrétaire	

## LILLE DOUAI

# Des campagnes pas comme les autres à l'IMT Lille Douai !

De janvier à mars, ont eu lieu, les fameuses et tant attendues campagnes à l'IMT Lille-Douai ! Elles aussi n'ont pas été épargnées par les circonstances sanitaires et ont dû être adaptées afin d'avoir lieu un minimum à l'IMT Lille Douai. De nombreuses transformations dans l'organisation se sont manifestées. Au lieu des petits déjeuners organisés dans la salle du Bar, des jeux gonflables dans la salle de Descartes et autres attractions disposées un peu partout dans l'école, les élèves ont profité des campagnes réaménagées à distance. Ce fut au début assez difficile à concevoir. Cependant, l'ingéniosité des membres des listes a réussi à faire perdurer les traditionnelles campagnes de l'école. Les élèves ont pu participer à des jeux organisés à distance sur Zoom, et affronter d'autres équipes via ce moyen. Les listes ont dû se focaliser davantage sur la communication pour immerger les élèves dans l'univers de leur liste. Pour le Bureau Des Arts, une ambiance de confiserie a su se démarquer avec les **Willy Wonk'Art** qui ont triomphé face aux **vikings Vallal'Art** et aux **Carnaval'Art**. Tandis que pour les Bureaux Des Sports, la liste **Al'Aska** a glacialement fait exploser les votes contre les **Fam'As** et les **Barbaross'As**. Pour le BDE, ce sont les **Men Imt Black** reprendront le relai après les **Peaky**. Ce fut une campagne très serrée contre les Osir'Imt. Et enfin, le prochain Bureau De l'Humanitaire sera les **Embraz'mant**.

Les campagnes ont été très particulières mais ont réussi à redonner le sourire aux élèves de l'école.



## LILLE DOUAI

# Une ambiance solidaire

En mars dernier ont eu lieu des permanences de distribution de denrées alimentaires pour les étudiants en ayant le plus besoin.

De nombreux articles alimentaires et sanitaires nous ont été offerts par le Rotary Club, soucieux du bien-être des étudiants durant les circonstances difficiles liées à la crise COVID. Denrées alimentaires (biscuits, sauces, boisson, confiture) ou produits d'hygiène (gel douche, ...), le Rotary Club a pensé à tout, et a fourni les denrées en quantités suffisantes permettant de réaliser plusieurs distributions sur le site de Douai et de Villeneuve d'Ascq.

Ce geste de solidarité envers les élèves les plus en difficulté a été encadré par le BDE et le BDH afin d'assurer un roulement durant les permanences et la bonne organisation pour une distribution équitable et adaptée.

## Interview

Elise GOETZ, diplômée IMT Lille Douai, promo 2017



**Bonjour Élise.**  
**Tu as été diplômée en 2017 d'IMT Lille Douai (Mines Douai). Comment perçois-tu l'évolution de l'école ?**

**Élise GOETZ :** Je pense que c'est une bonne chose que l'École change et s'adapte aux évolutions de notre monde, notamment via l'orientation des parcours vers le numérique. L'augmentation des effectifs mène à une meilleure visibilité, en France comme à l'international, et un réseau des anciens plus étendu. Un sujet de discussion récurrent concernant la fusion entre Mines Douai et Télécom Lille était la gestion des associations, au cœur de la vie étudiante et importante source d'apprentissage, j'espère qu'IMT Lille Douai a su préserver cet héritage.

**Tu t'es engagée au sein du Bureau de l'Humanitaire et travailles maintenant pour Greenpeace au Mexique. Quelle est ta vision du métier [ou du rôle] d'ingénieur ?**

**Élise GOETZ :** Pour moi, l'ingénieur utilise les compétences acquises au cours de sa formation et de ses expériences professionnelles et personnelles pour améliorer les conditions de vie des populations. Les ingénieurs généralistes sont formés à prendre du recul sur des problèmes plus ou moins complexes, afin de les résoudre ou d'armer et de gérer les équipes capables de les résoudre. Qu'il fasse partie d'organisations intergouvernementales ou d'ONG, du secteur public ou d'entreprises privées, il me semble que l'ingénieur devrait participer à une évolution vers un monde plus équitable et plus durable.

**Que conseillerais-tu à un étudiant qui souhaite débiter sa carrière à l'international ?**

**Élise GOETZ :** Les séjours académiques à l'étranger me semblent une bonne approche pour envisager une carrière à l'international. Via la confrontation à des environnements nouveaux dans des contextes autres que touristiques, ils permettent de se projeter ou non dans une vie d'expatrié.

Les stages sont aussi des opportunités à saisir pour travailler à l'étranger. L'effort à investir pour en décrocher un hors de France est plus important que celui à fournir pour travailler en métropole, que ce soit au niveau de la prise de contact, de la compréhension du milieu, ou des démarches administratives. C'est pourquoi je conseillerais aux étudiants de ne pas hésiter à s'appuyer sur le réseau des diplômés, qui peuvent partager leur expérience et pourquoi pas offrir des opportunités.

Contacté des expatriés, par exemple via LinkedIn, peut aussi être inspirant et permettre d'ancrer un projet dans un contexte concret.

Quant à la vie après l'École, le Volontariat International est une bonne option pour les jeunes.

Souhaitant travailler à l'étranger, ce dispositif permet d'intégrer une structure à l'étranger en étant rémunéré et en bénéficiant d'avantages sociaux français. ■

Développeur  
Constructeur  
Exploitant

## AN AVEL BRAZ CONTINUE SA CROISSANCE DANS LE GRAND-EST !

### 3 questions à :

**Aliénor Fromentin de La Rochefoucauld**

*Responsable des Ressources Humaines*



Aliénor Fromentin  
de La Rochefoucauld

### Quelques mots pour décrire An Avel Braz ?

An Avel Braz est une société indépendante qui s'est positionnée dès 2004 sur le marché de l'éolien terrestre avec une approche intégrée. À taille humaine, nos équipes assurent le développement, l'ingénierie financière, la construction et l'exploitation des parcs. Concentrée dans la région Grand Est, An Avel Braz est aujourd'hui le 2e producteur éolien de la région. Depuis 2014, nous avons finalisé le financement, la construction et la mise en service de onze parcs et nous continuons de nous impliquer dans l'ensemble de la chaîne de valeurs des projets éoliens.

### Quels métiers peut-on rencontrer ?

Ce sont principalement des métiers d'ingénieurs : ingénieur énergétique, ingénieur électricien, ingénieur agronome, ingénieur exploitation... mais également des métiers de développeurs en contact avec les institutionnels, les services de l'État, les propriétaires et qui sont amenés à être sur le terrain. Afin d'être garant du bon développement des parcs éoliens, ces métiers s'appuient sur un certain nombre de ressources comme des ingénieurs acoustiques pour les mesures du bruit, électriques pour la conception du réseau, d'ingénieurs vent pour la mise en place des systèmes de mesures de vent et le choix d'éoliennes adaptées à chaque site... Chez An Avel Braz, il y a aussi des concepteurs de projets, l'ensemble des métiers afférant à l'exploitation des parcs, un département juridique avec des personnes en charge du foncier, un département finance, comptabilité, communication et les ressources humaines. Nos équipes sont principalement à Paris et dans l'Aube.

### Quelles sont les perspectives d'An Avel Braz pour les années à venir ?

An Avel Braz est une société qui a privilégié la croissance organique sur la croissance externe, et le développement demande aujourd'hui de plus en plus de ressources. Nos équipes ont augmenté de 50% entre 2019 et 2021.

La maintenance des machines est également très consommatrice en moyens humains et An Avel Braz a l'intention de continuer sa croissance sur un rythme toujours soutenu pour les 5 prochaines années.

À l'heure actuelle nous avons 170 MW exploités, nous en construisons 205 qui devraient entrer en exploitation en décembre 2021 ainsi que 58 MW supplémentaires fin 2022. Nous avons commencé avec l'un des plus grands parcs de l'Aube - 46MW - en 2014, 7 ans plus tard, nous construisons à nouveau le plus grand parc du département avec 110 MW. Nous travaillons également sur un beau projet représentant 225 MW à l'horizon 2025. Notre objectif : atteindre les 900MW soit l'équivalent d'une tranche de centrale nucléaire !

A plus long terme, nous souhaitons accompagner la transition énergétique en explorant la possibilité de convertir l'énergie éolienne intermittente en énergie stable de stockage en produisant de l'hydrogène. Nous y arriverons en intégrant verticalement nos chaînes de valeurs.

La diversification de notre mix énergétique est aussi un objectif avec notamment le développement de panneaux photovoltaïques sur terre et sur l'eau.

### AN AVEL BRAZ EN 2021

<b>375 MW</b> en exploitation	<b>128</b> éoliennes	<b>16</b> personnes
<b>11</b> parcs financés	<b>2 365 GWh</b> d'électricité cumulée produite	

# La transition énergétique

Pourquoi une transition énergétique

## Quelques enjeux essentiels de la transition énergétique



©Freepik

Crise sanitaire, récession économique mondiale, la période que nous traversons est singulière. Nous sommes dans une période de repli : repli de nos économies (-3,5 % en 2020), repli de nos consommations d'énergie (pétrole -9%, gaz-3 % en 2020) ...et repli de notre vie sociale ! On pourrait éventuellement tenter de se réjouir de la baisse de 7 % de nos émissions de gaz effet à effet de serre... mais celle-ci est le résultat mécanique de la récession économique mondiale !

### PARCOURS



**Pierre-Franck  
CHEVET**

Il a été directeur de l'école des mines de Douai de 1999 à 2005. Après avoir été Directeur Général à la Direction Générale de l'Energie et du Climat puis président de l'Autorité de sûreté nucléaire française (ASN), il est actuellement PDG d'IFP Energies nouvelles (IFPEN).

**M**ais, dans le même temps, la transition énergétique avance et même accélère ! En 2020 la capacité éolienne mondiale a augmenté de 26 %, contre 16 % en 2019. Pour le photovoltaïque, c'est une hausse de 12 %, contre 8 % en 2019. Les ventes de véhicules électriques en Europe ont plus que doublé en 2020 et représentent 10,5 % des ventes de véhicules neufs, et la même tendance s'observe sur tous les continents !

Enfin en 2020 et pour la première fois, les investissements « verts » au niveau mondial ont dépassé les investissements dans l'industrie du pétrole et du gaz. Les graphiques ci-après l'illustrent (Fig. 1 & Fig.2)

Et ce n'est pas un phénomène de circonstance : les investissements verts ne font que croître depuis 15 ans ; les investissements Oil and Gas sont globalement stables à environ 500/600G\$/an. Nous sommes devant une bascule des marchés.

Au niveau politique, nous sommes aussi à un moment de bascule. La COP 21, à Paris, avait ouvert la voie ; aujourd'hui, près de 40 pays ont pris des engagements de neutralité carbone, avec en tête la Chine qui représente 29 % des émissions mondiales, les Etats-Unis (enfin de retour !), 15 % des émissions, et l'Europe, 10 %. Ces trois pays/ régions représentent à eux seuls 54 % des émissions mondiales : ils sont « actionnaires majoritaires du problème » et s'engagent à apporter des solutions.

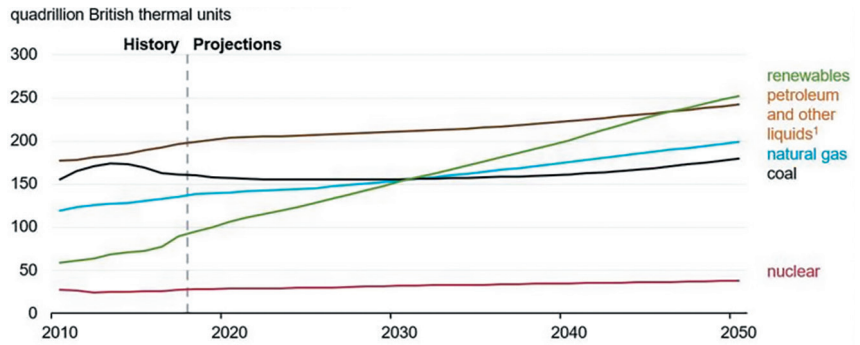
C'est un contexte très favorable qui permet d'espérer un élargissement rapide des pays porteurs d'un engagement de neutralité carbone. La COP 26, à Glasgow, à la fin de cette année, sera marquée par le retour des Etats-Unis à la table des négociations et par la perspective de sortie de la crise Covid, deux éléments favorables à l'avancée des discussions.

Nous sommes dans un moment de bascule...mais la route devant nous est pentue, et sinueuse.



Le graphique ci-contre illustre la situation énergétique prévue en 2050.

Les renouvelables seront certes les énergies les plus consommées ; mais les énergies fossiles seront encore très présentes, et même, ensemble, majoritaires. Cela veut clairement dire que pour décarboner nos économies, il faut non seulement développer les renouvelables, mais aussi décarboner les usages des énergies fossiles. Les enjeux technologiques associés à cette double ambition sont nombreux. J'en présente quelques-uns dans la suite de cet article.



Note: 1 = Includes biofuels

Fig. 3 : Primary energy consumption by fuel, world  
Source : U.S. Energy Information Administration, International Energy Outlook 2019

## Mobilité

Plusieurs solutions sont à l'étude pour réduire l'impact environnemental de la mobilité. Tout d'abord pour les véhicules légers, la solution véhicules électriques semble être la référence.

Elle suppose d'abord pour être vertueuse que la production d'électricité associée soit propre et en particulier décarbonée. Le graphique ci-contre illustre le bilan environnemental complet de différentes solutions :

Le gain CO<sub>2</sub> d'un véhicule électrique avec le mix électrique européen actuel moyen est très faible par rapport aux motorisations classiques (environ 10 %) ; c'est beaucoup plus favorable avec un mix largement décarboné comme le mix français (gain de plus de 60 %).

Par ailleurs, sur le plan technologique, plusieurs enjeux font l'objet de travaux de recherche et développement : optimisation de la densité énergétique des batteries et augmentation de leur capacité de charge rapide (électrolytes solides), amélioration de la recyclabilité des batteries, amélioration du rapport poids/puissance et du rendement global des motorisations électriques et de leur électronique de puissance, développement de bornes de recharge

plus puissantes (recharge plus rapide) et plus intelligentes (capables de renvoyer de l'électricité au réseau).

Pour les véhicules légers, le recours aux biocarburants traditionnels est une solution déjà déployée (incorporation dans les carburants classiques) : aujourd'hui le taux moyen d'incorporation est d'environ 7 %. Il peut monter jusqu'à environ 30 % pour des biocarburants de deuxième génération qui n'utilisent pas des produits agricoles alimentaires. Les procédés de fabrication de

ces biocarburants avancés sont au stade du déploiement industriel (IFPEN en a plusieurs sur des essences ou des diesels). Le bilan CO<sub>2</sub> de ces biocarburants est très favorable (cf. graphique ci-dessous).

Une dernière remarque sur les véhicules légers qui renvoie à la « route sinueuse » que j'ai déjà évoquée : le secteur a en 5 ans changé complètement ses fondamentaux, à la suite du « diesel gate » ! Auparavant le diesel était la référence environnementale au nom de ses avantages, réels, en matière

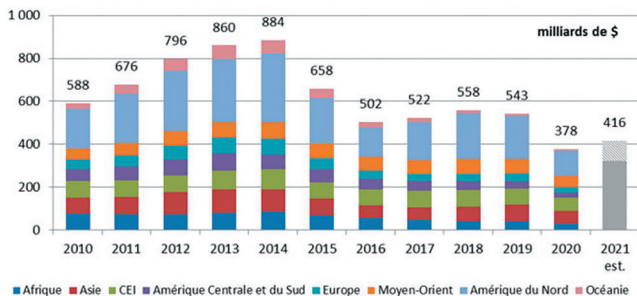
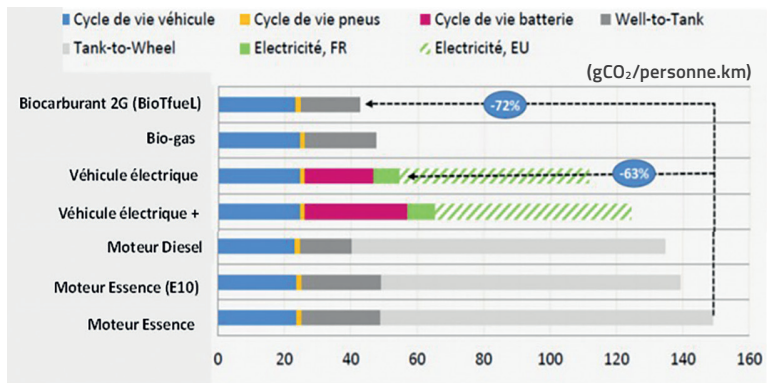
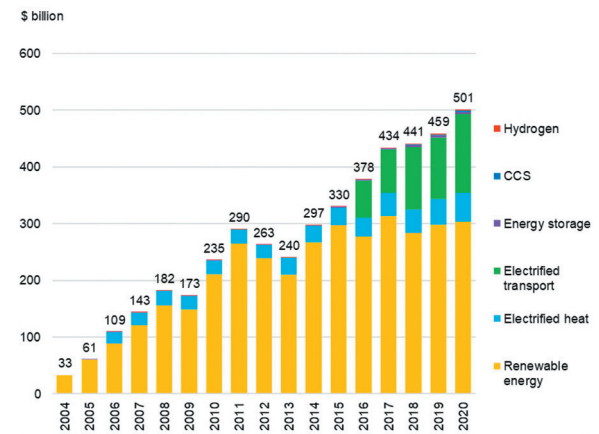


Fig. 1 : Investissements Oil and Gas(G\$)  
Source : IFPEN



Note : electrified heat figures begin in 2006 ; electrified transport in 2016 ; hydrogen and CCS in 2018.

Fig. 2 : Investissements "verts" (G\$)  
Global energy transition investment, 2004-2020  
Source : BloombergNEF

# La transition énergétique

## Pourquoi une transition énergétique

d'économie d'énergie (années 80 et 90), puis de CO<sub>2</sub> ; puis l'essence est devenue la référence environnementale... au nom de ses avantages, non moins réels, en matière de pollution de l'air, et donc de santé publique notamment dans les zones urbaines. Tout cela milite pour que des analyses de cycle de vie « multi critères » soient systématiquement réalisées en appui des développements technologiques et du déploiement des politiques publiques. La question des matériaux critiques, de la recyclabilité des matériaux doit être prise en compte dans ces analyses.

Pour les véhicules lourds, y compris engins de chantier, on s'achemine plutôt vers des solutions utilisant l'hydrogène (réservoirs embarqués sous forte pression (700b) voire cryogéniques), avec 2 voies différentes : la voie pile à combustible couplée à des batteries et un moteur électrique, la voie combustion thermique directe dans un moteur classique. Les enjeux de sécurité liés à l'utilisation d'hydrogène devront être examinés très attentivement.

Pour le secteur aéronautique qui contribue à environ 15 % des émissions du secteur transport, l'organisation internationale de l'aviation civile s'est fixé pour objectif une croissance neutre en carbone à partir de 2020, et considère que les biocarburants ont une place majeure (50 % des gains attendus) de 2020 à 2050 ; à ce titre l'organisme de certification ASTM a déjà qualifié 7 voies de production qui permettent d'incorporer jusqu'à des teneurs de 50 % certains types de biocarburants dans les réservoirs des avions actuels. Les biocarburants avancés, produits à partir de ressources qui n'entrent pas en concurrence avec les usages alimentaires permettent une réduction des émissions de gaz à effet très importante : plus de 85 % de réduction par rapport à la référence fossile (94 gCO<sub>2</sub> eq/MJ).

## Industrie

La décarbonation de l'industrie est un enjeu essentiel : les aciéries, les cimenteries, les centrales à gaz, le raffinage... sont concernés, avec deux enjeux distincts, la décarbonation des énergies nécessaires au fonctionnement des procédés, et la décarbonation des émissions du procédé lui-même.

Pour la décarbonation des énergies du process, la solution électrification ou la solution utilisation d'hydrogène décarboné sont les pistes principales.

Pour la décarbonation des émissions du process, la seule voie est le captage du CO<sub>2</sub>, suivi, soit d'un stockage, soit d'une

réutilisation pour fabriquer des molécules d'intérêt (carburants ou matériaux).

Les technologies de captage sont maintenant relativement matures et à quelques années d'un possible déploiement industriel. IFPEN construit actuellement un démonstrateur industriel sur l'aciérie d'ArcelorMittal à Dunkerque, en partenariat avec Total et Axens.

En complément des solutions précitées, une solution importante pour améliorer le bilan CO<sub>2</sub> des produits issus des procédés dans une approche Analyse de Cycle de Vie consiste à décarboner la charge de ce procédé en utilisant soit de la charge d'origine biogénique soit du matériau recyclé. Ceci est particulièrement important dans le domaine des plastiques (et de la pétrochimie). D'importants travaux sont en cours dans le monde pour compléter les solutions de recyclage mécanique qui présentent des limitations intrinsèques (contact alimentaire, pertes de propriété physiques) par des solutions de recyclage chimique. IFPEN travaille sur de nombreuses voies de recyclage des plastiques telle que la dépolymérisation du PET, une telle solution permet de réduire de 50 % l'impact carbone du procédé par rapport à du PET vierge produit à partir de pétrole.

Concernant le devenir du CO<sub>2</sub> ainsi capté, la voie réutilisation, matière notamment, paraît idéalement préférable pour autant qu'elle permet de séquestrer durablement le CO<sub>2</sub> ainsi capté, mais les débouchés accessibles, estimés à ce jour, ne représentent que quelques pourcents du CO<sub>2</sub> capté. Cette voie doit être regardée, mais on ne fera pas l'économie du stockage du CO<sub>2</sub>. L'expérience nous montre que certains projets de stockage onshore ont soulevé de fortes oppositions, à l'image des projets de stockage de déchets en général, qui plus est souterrains. Ce sujet mérite un traitement sérieux, en toute transparence, avec l'ensemble des parties prenantes et avec l'appui des SHS.

## Hydrogène : the new frontier ?

Ce sujet, disparu des écrans radar depuis 10 ans, revient en force : les plans de relance français, européens, le mettent au premier rang.

L'hydrogène n'est pas une énergie directement disponible (quelques zones particulières sur la planète émettent toutefois de l'hydrogène « naturellement », et des recherches sont en cours pour en

explorer le potentiel), mais c'est un vecteur énergétique.

Son mérite essentiel, c'est que son oxydo-réduction, qui produit de l'énergie, est « propre »... et produit de l'eau. C'est cependant à regarder plus attentivement dans le cas d'une combustion quand l'oxygène est mélangé à l'air (ce qui est fréquent !), car alors l'azote présent dans l'air produit potentiellement des NOx. Ce point est examiné dans les développements en cours à IFPEN sur les motorisations thermiques H<sub>2</sub>... et les résultats sont prometteurs.

Une solution alternative consiste à stocker cet hydrogène sur des atomes de carbone biogéniques via des biocarburants de synthèse, on parle alors de e-biofuels. Cette solution est également à l'étude chez IFPEN.

Son autre mérite fondamental est de permettre de « stocker de l'électricité » sous forme de matière via une électrolyse : dans un monde où l'électrification est le maître-mot, cet atout est absolument essentiel. Mais, dans un monde où pétrole, gaz et charbon restent encore majoritaires pendant quelques décennies, casser des hydrocarbures pour en extraire l'hydrogène a aussi un sens, dès lors que le procédé utilisé est décarboné.

Il reste pour moi deux points de vigilance :

- La sécurité bien entendu, qui n'a pas de prix mais qui a un coût : ce sujet précédemment évoqué doit être pris en compte en parallèle des développements technologiques en cours ;
- Le coût : l'hydrogène « gris » produit actuellement par reformage de CH<sub>4</sub> (avec émissions de CO<sub>2</sub>) revient à 1,5 euros/kg ; l'hydrogène « bleu » (reformage, mais captage/stockage ou usage de CO<sub>2</sub>) revient à 2,5 euros/kg ; l'hydrogène « vert » (électrolyse/renouvelable) est estimé lui à 5 euros/kg. Ce sont là des coûts de production, le prix livré étant actuellement d'environ 10/15 euros. Avec un kg, vous faites environ 100 km, alors qu'aujourd'hui vous payez 10 euros d'essence, fortes taxes comprises... ■

**Nos politiques énergétiques actuelles sont largement fondées sur la production massive d'électricité propre ayant vocation à répondre à l'ensemble de nos usages, notamment le transport. La question de la capacité de nos territoires à accepter cette production massive, qu'elle soit d'ailleurs nucléaire ou renouvelable, mérite d'être étudiée précisément. La même question se pose pour les infrastructures nécessaires au déploiement de l'hydrogène, et de ses usages, et au déploiement des technologies de captage, stockage et usage du carbone.**

# L'histoire de la transition énergétique

Depuis les chasseurs cueilleurs, en passant par l'empire Romain à nos jours

La transition énergétique, un concept souvent utilisé pour désigner l'abandon progressif de certaines énergies conjointement au développement d'autres énergies. Cela a-t-il déjà eu lieu lors de la brève histoire humaine ? Pouvons-nous nous en inspirer pour la transition à venir ?

## Un petit point de contexte peut-être ?

Depuis la fin de la dernière ère glaciaire il y a environ 20.000 ans, le climat mondial s'est stabilisé pour permettre à notre espèce de passer en Europe d'environ 100.000 individus ans à environ 400 millions aujourd'hui<sup>1</sup>. Les conditions de vie de l'époque ne permettant pas de faire vivre plus d'individus, les principaux apports énergétiques étaient les fruits de la cueillette ainsi que la chasse et la pêche. Voici quelles étaient les sources énergétiques, calorifiques de l'humanité à ce moment. On peut se rappeler du 1<sup>er</sup> film l'Age de Glace pour imaginer le vécu des populations de l'époque.

Une analyse thermodynamique du système humain de l'époque donnerait que tous les intrants énergétiques au système sont :

- La nourriture convertie via notre métabolisme en source d'énergie,
- Le rayonnement solaire qui nous réchauffe,
- Le rayonnement des 1<sup>ers</sup> feux de bois (inventés il y a environ 500.000 ans).

L'énergie utilisée par l'humanité est alors, en 1<sup>ère</sup> approximation, renouvelable.



## La première transition énergétique de l'humanité, il y a plus de 7 000 ans

L'homme dans les premières périodes de son existence est essentiellement dépendant des ressources qu'il trouve sur son chemin de nomade. Avec le réchauffement du climat qui a duré plusieurs milliers d'années, l'homme a pu profiter de conditions de vie de plus en plus décentes. Les conditions de vie s'améliorent, les ressources se font de plus en plus abondantes et des zones de la Terre se font plus prolifiques. L'homme se sédentarise peu à peu et réalise une transition énergétique : il se met à cultiver et à élever des animaux.

← Carte de l'Europe il y a 20.000 ans  
Source : auteur

Première transition énergétique, l'homme se met à cultiver et se nourrit principalement de céréales. Son alimentation devient moins diversifiée mais cela permet d'augmenter le nombre d'individus via l'abondance de la production.<sup>2</sup>



→ Fresque de la tombe de Sennedjem  
Source : Histoire de l'Agriculture - Wikipédia

Deuxième transition énergétique, l'homme utilise à son avantage l'abondance de céréales et son cheptel afin d'utiliser la traction animale. La traction animale devient donc un intrant énergétique.

## L'humanité s'organise en groupes de plus en plus importants, les villes s'étalent, les empires se font de plus en plus puissants

Les bénéfices de la nourriture abondante permettent aux civilisations de grandir et de devenir plus puissantes que leurs voisins. A l'époque de l'empire romain, la puissance des civilisations repose essentiellement

1. Jacques Dupâquier, Histoire de la population française, Paris, PUF, 1988
2. Yuval Noah Harari, Sapiens : Une brève histoire de l'humanité, Paris, Albin-Michel, 2011

# La transition énergétique

## Pourquoi une transition énergétique

sur la taille de leur armée et la capacité à les déplacer rapidement sur de grandes distances.

On touche ici au concept même de puissance. La puissance, c'est l'utilisation intensive d'énergie (en phase avec le concept physique  $E=f Pdt$ ). Une civilisation puissante doit donc physiquement dépenser l'énergie plus vite que ses adversaires.

La ville de Rome, vers l'an 100, comptait environ 1 million d'habitants et était la plus grande ville du monde méditerranéen. Son avantage sur les autres civilisations était l'abondance énergétique dont elle disposait avec son premier fournisseur de blé qu'était l'Égypte. Avec le Nil capable de 2 crues par an, le delta du fleuve était la zone la plus fertile de l'empire romain.

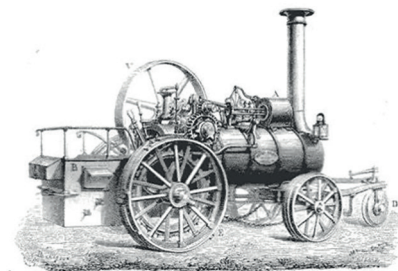
Les intrants énergétiques au système {empire romain} sont alors :

- Nourriture abondante issue de l'agriculture et de l'élevage
- Traction animale (chars à traction, charrues, cavalerie, ...)
- Esclavagisme (si l'on considère les esclaves comme extérieurs au système. Ce que ne manquait pas de faire leur maîtres)
- Force du vent (moulins à vent, marine à voile)
- Force hydraulique (moulins à eau)

## Plus de 1 000 ans sans transition énergétique de rupture

Les siècles se passent à la suite de la chute de l'empire romain et le système

Machine à vapeur automobile  
Source : site « techno-solution for smart industry »



énergétique de l'humanité ne vit pas de transitions notables. Les techniques se perfectionnent et cela permet d'utiliser la même quantité d'énergie pour un meilleur rendement. C'est de l'innovation incrémentale.

On peut cependant noter l'importance du système énergétique pour les sociétés de l'époque à travers l'anecdote suivante :

En 1783, deux volcans entrent en éruption et rejettent des particules fines dans l'atmosphère qui agissent comme des miroirs pour les rayons solaires. Conséquence directe, les rendements agricoles sont en déclin en Europe. La situation paysanne devient intenable. Couplé aux inégalités entre le Tiers-Etat, le clergé et la noblesse, qui ne jouissent pas tous de la même opulence, un terreau révolutionnaire est en place en France.

## La révolution industrielle ou la capacité à utiliser l'énergie de la nature à grande échelle

La révolution industrielle pourrait se résumer en une seule invention. Un ingénieur écossais, qui donnera son nom à l'unité de puissance, améliore la machine à vapeur et permet l'utilisation de celle-ci

pour pomper l'eau qui s'écoule dans les mines de charbon.

Avec cette invention, l'homme est arrivé à faire ce qu'il n'avait pas encore réussi à faire. Maîtriser l'énergie. Pendant toute son existence, l'humanité vivait au gré des énergies intermittentes (soleil et vent). Mais à partir du 18<sup>ème</sup> siècle, l'humanité a pu décider quand utiliser l'énergie stockée dans la biomasse (bois) et les biomasse fossilisées (charbon puis pétrole).

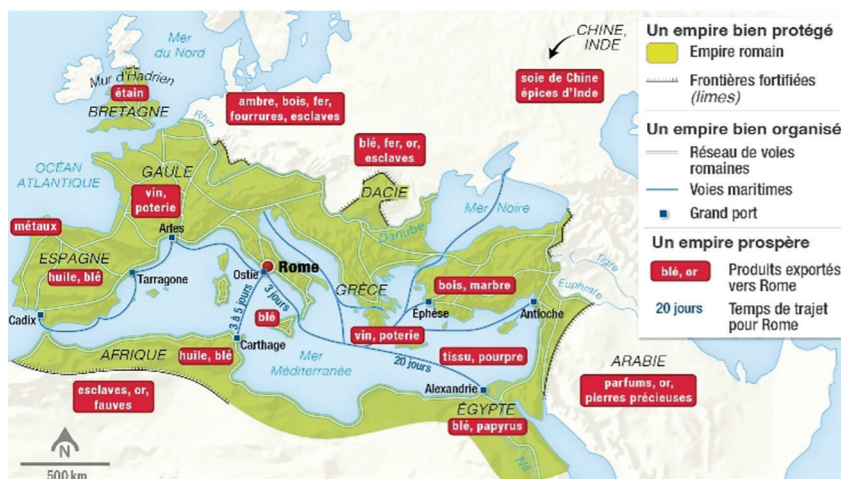
L'énergie du soleil, synthétisée par photosynthèse pendant des millions d'années et concentrée en veines de charbon est réutilisée lors de la combustion du matériau. L'énergie libérée, par principe thermodynamique, permet d'entraîner un vérin qui entraîne à son tour un axe rotatif.

L'étape la plus importante de l'histoire de la transition énergétique de l'humanité vient d'avoir lieu. Nous avons réussi à convertir l'énergie solaire en une énergie mécanique.

Dans le siècle suivant, le moteur à explosion est inventé et l'humanité trouve une utilité au pétrole autre que celle des lubrifiants. Il est très pratique pour déplacer des objets car il se stocke facilement (liquide versus solide pour le charbon).

Quelques conséquences venues avec la démocratisation de ces innovations : abolition de l'esclavage, exode rural, transition démographique. Puis les autres inventions et innovations se succèdent : hydro-électricité, nucléaire, photovoltaïque.

Flux de matières sous l'empire romain  
Source : Histoire-Géographie-EMC 6e

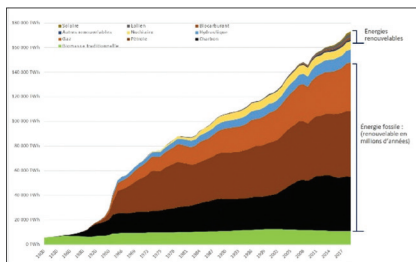


3. Matthieu AUZANNEAU, L'or noir la grande histoire du pétrole, La découverte, 2015  
4. Matthieu AUZANNEAU, L'or noir la grande histoire du pétrole, La découverte, 2015

## Toute ces innovations et ces changements dans les intrants énergétiques ont-ils servi la transition énergétique ?

Pour répondre à cette question, il est intéressant de revenir au concept défini en préambule de cet article. La transition est un état transitoire entre deux états. Appliqué au domaine énergétique, la transition évoque l'abandon d'un certain type d'énergie pour s'orienter vers un autre type.

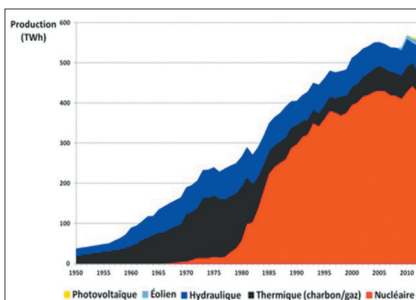
Le graphique ci-contre présente les différentes consommations d'énergie dans le monde depuis 1860 (date de la révolution industrielle). On peut observer qu'aucune transition n'apparaît. Il ne s'agit qu'une accumulation de différentes sources d'énergie dont la plus forte croissance des dernières années est à imputer au charbon.



↑ Répartition des énergies utilisées sur Terre  
Source : OurWorldinData

Il est alors pertinent de se poser la question suivante : à quel moment une transition énergétique mondiale a-t-elle eu lieu ? Autant la réponse à cette question est délicate au niveau mondial, autant elle semble plus simple pour le cas français.

Regardons l'évolution des sources d'énergie pour la production d'électricité en France. La transition est marquée à la suite du 1<sup>er</sup> pic pétrolier en 1970. La France développe son atout nucléaire pour générer de l'électricité à partir d'une autre source d'énergie décarbonée.

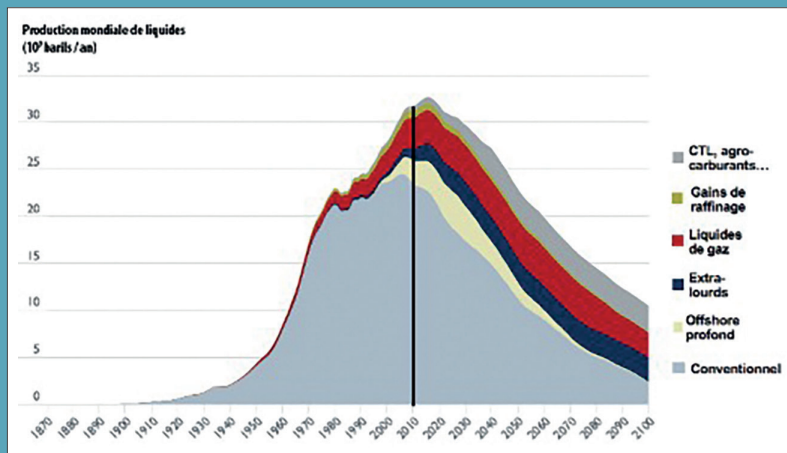


## Quel est l'objectif de la transition énergétique ? Et quel rôle pour l'ingénieur dans cette aventure ?

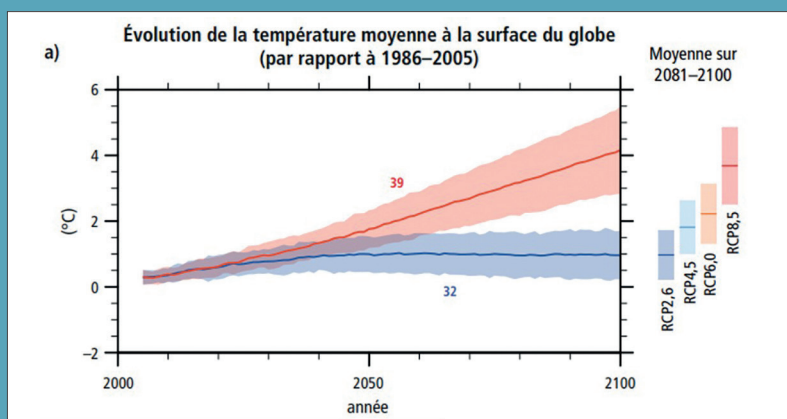
Assurer l'approvisionnement énergétique de nos civilisations alors que les extractions de fossiles sont vouées à diminuer ?

Eviter un emballement climatique dû au relâchement de CO<sub>2</sub> lors de la combustion des énergies fossiles, qui serait dommageable à l'humanité ?

Voici les questions auxquelles l'ingénieur n'a pas été convié. Cependant, il lui appartient de tenter de résoudre la problématique qui lui sera fixée par les dirigeants. Charge à lui alors de trouver des solutions dans le cadre qui lui sera imposé. L'ingénieur, qui dispose de la connaissance scientifique et technique peut également éclairer le décideur sur la faisabilité de leurs missions. Là, réside la plus grande valeur ajoutée de l'ingénieur du 21<sup>ème</sup> siècle. ■



↑ Historique et prospective des extractions de pétroles sur 250 ans  
Source : « Transport energy futures: long-term oil supply trends and projections », Australian Government, Department of Infrastructure, Transport, Regional Development and Local Government, Bureau of Infrastructure, Transport and Regional Economics (BITRE), Canberra (Australie), 2009.



↑ Fig. 8 : Rapport AR5 du GIEC, 2014

← Répartition des sources de production d'électricité en France  
Source : Conférence de Jean-Marc JANCOVICI

# La transition énergétique

Pourquoi une transition énergétique

Cet article reprend un billet publié par l'auteur sur sa page LinkedIn, avec son aimable autorisation.

## La neutralité carbone, la vraie

Mardi 18 mai, l'Agence internationale de l'énergie (AIE) publiait un rapport « Net Zero », détaillant les mesures à mettre en place si l'on souhaite atteindre la neutralité carbone en 2050. C'est la première fois que l'AIE se prononce explicitement sur les actions concrètes à prendre par chaque grand secteur lié à l'énergie afin de limiter la hausse des températures à 1,5°C.

La liste donne le vertige. Dès cette année, elle évoque l'arrêt des investissements dans de nouveaux champs pétroliers ou gaziers et dans les mines de charbon. Dès 2025, la fin de la vente de chaudières au gaz pour le bâtiment. Dès 2030, toutes les centrales à charbon doivent être fermées dans les économies avancées ; 60 % des ventes de voitures dans le monde sont des voitures électriques ; le trafic aérien est stabilisé au niveau de 2019. En 2040, 50 % des bâtiments ont été renouvelés pour être neutres en carbone ; la production d'électricité est complètement décarbonée, le solaire et l'éolien constituant la majorité de la production ; 50 % des avions qui continuent à circuler fonctionnent avec des carburants bas-carbone. En 2050, plus de 85 % des bâtiments sont bas-carbone. Entre 2020 et 2050, la production d'hydrogène est multipliée par cinq et est progressivement décarbonée pour atteindre 100 % d'hydrogène vert. Le rapport nous rappelle aussi que, même avec le déploiement de l'ensemble de ces mesures, il restera encore des émissions de CO<sub>2</sub> que nous aurons besoin de capter et séquestrer. Cela implique des technologies dites CCS sur les cheminées des usines, mais aussi au fait de mettre fin à la déforestation pour au contraire accroître le couvert forestier.

La radicalité des transformations nécessaires tranche avec le faible niveau d'ambition des annonces de « Neutralité Carbone » de nombre d'entreprises. A ce jour, la plupart des engagements se

**PARCOURS**



**Ladislav SMIA**  
Mines de Nancy, promo 2005

Il occupe de poste de Head of Sustainability Research au sein du fonds d'investissement Mirova.

limitent à réduire les émissions de gaz à effet de serre sur un périmètre très restreint, qui prend rarement en compte les émissions des fournisseurs ou l'utilisation des produits. Ces démarches impliquent aussi souvent des achats d'électricité verte ou des financements de plantations d'arbres. C'est certes un premier pas. Mais il est désormais très clair que ces actions sont très, très loin, du niveau d'ambition nécessaire. Aucune société pétrolière à ce jour ne s'est engagée à cesser ses investissements dans de nouveaux champs pétroliers

ou gaziers. Très peu de constructeurs automobiles affichent un objectif de 60 % de ventes de voitures électriques dans moins de 10 ans. Les projections des acteurs du transport aérien, constructeurs d'avion, d'aéroport ou compagnies aériennes prévoient toutes une hausse du trafic aérien dans les années à venir. Peut-on alors sérieusement parler de neutralité carbone ? Avec ce nouveau rapport, il semble aujourd'hui très clair que les acteurs économiques souhaitant afficher des engagements en matière de neutralité carbone doivent aligner leur modèle économique avec le chemin présenté par l'AIE.

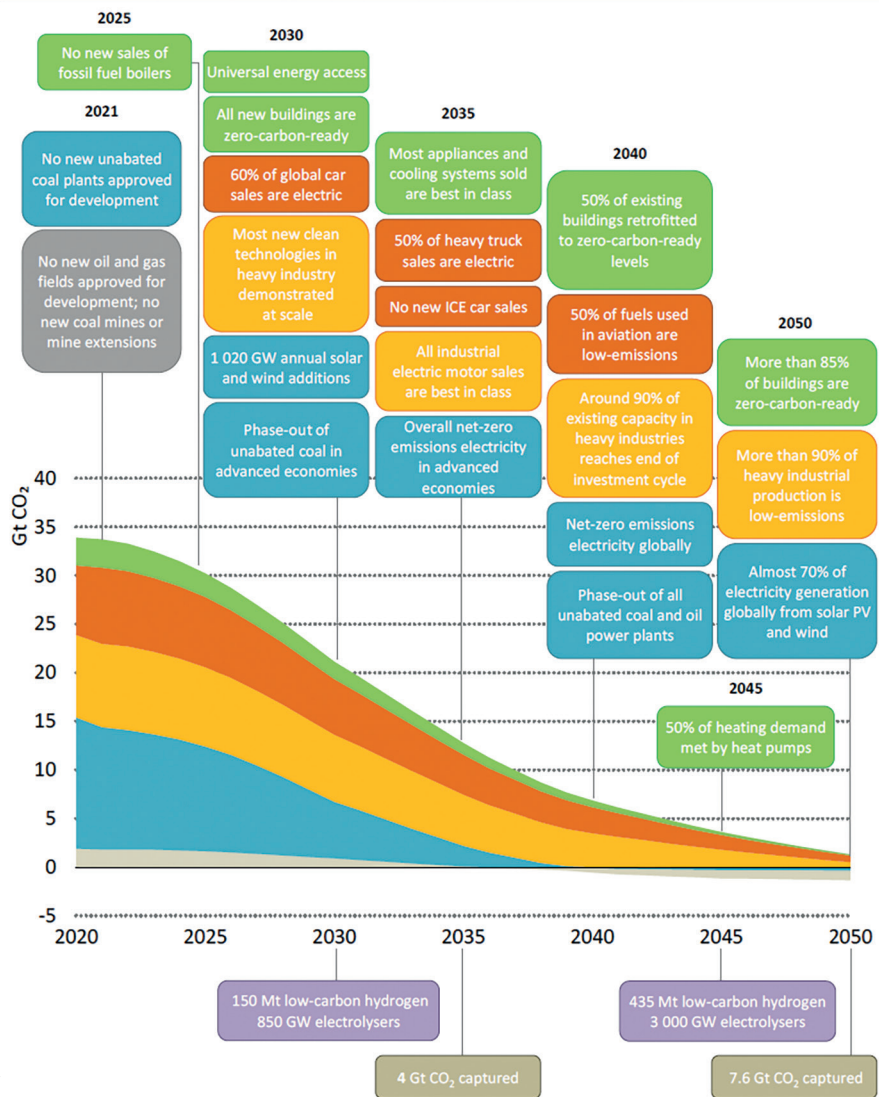
Pour les acteurs financiers, la déclinaison de ces mesures a également des implications très fortes. Ce rapport vient affirmer une fois de plus que les investisseurs doivent très rapidement réduire le financement des énergies fossiles et investir massivement dans les solutions au changement climatique comme les énergies renouvelables, l'efficacité énergétique, la mobilité bas carbone ou l'hydrogène. On voit bien alors que parler d'alignement avec un monde 1,5°C nécessite une transformation profonde des choix en matière d'allocation des capitaux ce qui est encore loin d'être le cas pour l'écrasante majorité du secteur.

Avec la publication de ce rapport, l'AIE vient en quelque sorte de siffler la fin de la récréation en matière de communication autour de la Neutralité Carbone, de « Net Zero » • Carbon

→ **Key milestones in the pathway to net zero**  
 Source : Agence Internationale de l'Energie

Emissions. Nous n'avons plus le temps pour les engagements de réduction prétendument alignés sur la science alors que les acteurs dont ils émanent oublient l'essentiel, en laissant de côté l'impact des produits qu'ils commercialisent. Et même si nous aurons bien besoin de replanter des forêts pour lutter contre le changement climatique, nous ne pouvons plus nous contenter de démarches de compensation qui ne remettent pas en cause le modèle économique des entreprises. Si nous voulons encore avoir une chance d'éviter les conséquences les plus graves du changement climatique, il est plus que temps de se concentrer sur la transformation en profondeur de nos sociétés. ■

1. Disponible sur le site de l'Agence Internationale de l'Energie : <https://www.iea.org/reports/net-zero-by-2050>



ISOLATION THERMIQUE EXTERIEURE | RAVALEMENT DE FAÇADE | BRIQUE DE PAREMENT  
 PIERRE DE FAÇADE | PEINTURE | BARDAGE RPE

101 avenue du général leclerc 76120 LE GRAND-QUEVILLY  
 02 35 66 31 97 - [secretariat@ravalex.com](mailto:secretariat@ravalex.com)

# La transition énergétique

Pourquoi une transition énergétique

## Repenser l'énergie, repenser la société

### De sombres perspectives liées à notre consommation d'énergie

Feux de forêt en série, inondations à répétition, rendements agricoles en chute, centaines de millions de réfugiés climatiques et conflits armés en quête de ressources... Les perspectives en France et dans le monde des conséquences liées au réchauffement climatique font froid dans le dos. D'ici quelques dizaines d'années, le monde actuel pourrait bel et bien être invivable dans de nombreux endroits du globe, notamment à cause de pénuries d'eau potable et de vagues de chaleur trop importantes pour le corps humain.

L'urgence climatique n'est dorénavant plus une surprise, ses effets sont connus et redoutés. Face à cela, une part grandissante de la population semble remettre en cause la société de consommation telle que nous la connaissons aujourd'hui. Il est cependant plus rare de trouver dans le débat public une critique faisant un lien direct entre ladite société de consommation et la consommation d'énergie.

Depuis la 1<sup>ère</sup> révolution industrielle fin XVIII<sup>e</sup> siècle au Royaume Uni, la puissance disponible que nous utilisons a en effet été démultipliée. L'utilisation du charbon, cumulée progressivement avec celle du pétrole, du gaz, de l'énergie nucléaire, des énergies renouvelables... font qu'aujourd'hui nous ne nous rendons pas compte de l'énergie dont nous nous servons. Dans les années 1940, on a vu apparaître les premiers calculs d'esclaves énergétiques,

**PARCOURS**



**Leo FAYARD**  
IMT Mines Albi, promo 2019  
Il travaille comme Ingénieur R&D chez Ergosup et est doctorant "Composants et Systèmes de Gestion de l'Energie".

unité fictive d'énergie correspondant à l'équivalent d'énergie produite par un adulte en bonne santé pendant un an. La moyenne mondiale était alors de 17 par personne. Jean-Marc JANCOVICI a refait le calcul, en France nous en posséderions à l'heure actuelle environ 430 !

Ceci doit faire prendre conscience que de nos jours ce n'est plus l'Homme qui produit, mais la puissance de nos industries qui consomment en premier lieu de l'énergie fossile, fortement émettrices de CO<sub>2</sub> comme nous le savons. C'est l'abondance énergétique dont nous bénéficions qui fait qu'il nous est possible d'avoir une société de consommation et de loisirs.

Alors que l'accord de Paris lors de la COP21 prévoit une limitation de la hausse

de température en dessous de 2°C par rapport aux niveaux préindustriels, alors que la population mondiale continuera d'augmenter au moins jusqu'en 2060 et qu'aujourd'hui une part importante des pays en voie de développement s'inspire du modèle occidental, on peut se demander comment et combien de temps encore cette consommation d'énergie pourra paraître rationnelle et responsable face aux perspectives mises en jeu.

### Un pic pétrolier qui n'arrive jamais ?

Si la France profite d'une électricité relativement décarbonée, n'oublions pas qu'elle continue l'importation massive d'énergies fossiles : 150 Mtep d'énergie primaire en 2017<sup>1</sup>. Le pétrole est particulièrement concerné avec 72,5 Mtep disponibles et notamment utilisés dans le domaine des transports (41 Mtep). Cette source d'énergie bon marché, facilement stockable et ayant un fort taux de retour énergétique permet de déplacer rapidement n'importe quoi, n'importe où et à moindre coût. C'est ce qui la rend indispensable à notre modèle économique et c'est pourquoi sa production est fortement corrélée à la croissance mondiale.

Alors, peut-on s'en affranchir pour respecter nos objectifs de réduction d'émissions de gaz à effet de serre tout en maintenant

1. <https://jancovici.com/transition-energetique/l-energie-et-nous/combien-suis-je-un-esclavagiste/>  
2. <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/bilan-energetique-de-la-france-en-2019-donnees-provisoires>



une situation économique stable et une cohésion sociale ? Le mouvement des bonnets rouges en Bretagne en 2013 contre la taxe des poids lourds, et plus récemment celui des gilets jaunes contre l'augmentation du prix des carburants montrent bien que le sujet est plus que délicat. Le fait est que nous n'avons de toute façon pas le choix.

Effectivement, différents indices s'offrent à nous pour nous indiquer que cette transition s'effectuera de gré, en essayant de respecter nos objectifs climatiques, ou de force. Commençons par le taux de retour énergétique (TRE) précédemment évoqué, et qui est une des grandes forces du pétrole. Les énormes gisements pétroliers qui ont commencé à être exploités dans la 2<sup>nd</sup> moitié du XX<sup>e</sup> siècle possédaient un TRE calculé à plus de 80, c'est-à-dire qu'avec un seul baril de pétrole dépensé en extraction, raffinage et transport, il était possible d'en utiliser 80. De nos jours, le TRE du pétrole conventionnel exploité a drastiquement diminué à environ 10 - 15. Ce TRE est plus faible encore pour les pétroles de moindre qualité, jusqu'à atteindre 1,3 pour les pétroles de sables bitumineux. Le 1<sup>er</sup> point à considérer est donc que malgré des investissements et des progrès techniques continus, il devient de plus en plus difficile d'avoir accès à l'énergie. On constate alors une limitation physique à l'extraction de pétrole.

L'extraction du pétrole déjà découvert n'est qu'un élément à prendre en compte puisque l'on trouve encore de nouveaux gisements. Toutefois, il faut noter que le pic de découvertes a été atteint dès 1964 : le pétrole que nous extrayons aujourd'hui a été découvert il y a longtemps. Ce n'est pourtant pas dû à un manque d'investissement : l'exploration-production de pétrole représentait encore 400 milliards de dollars dans le monde en 2019. L'agence internationale de l'énergie (AIE) prévoyait que d'ici 2025, l'investissement dans le pétrole de schiste devrait tripler pour compenser le déclin des puits de type conventionnel. Avec la pandémie qui a lieu, les investissements ont massivement chuté à cause de prix très bas et de recherche de rentabilité. Ce qui n'a pas été payé aujourd'hui se paiera demain sur la production.

En effet, si le prix du pétrole influence les investissements, celui-ci n'est pas un indicateur de la rareté de la ressource comme on pourrait le penser. Le meilleur modèle pour représenter la variation du prix du pétrole est ... la marche aléatoire. La classique loi de l'offre et de la demande ne s'applique pas à cette denrée particulière, où le flux de production est plus important

que la capacité des stocks. Le fait est que de nombreux puits de pétrole conventionnel sont arrivés à maturité et que leur production va logiquement décliner. The Shift Project a chiffré<sup>3</sup> un manque d'approvisionnement en pétrole pouvant atteindre 8 % pour l'Europe dès 2030.

Nous sommes donc rendus à un point où il est clair que le pétrole ne sera pas l'énergie du XXI<sup>e</sup> siècle, il convient donc de se demander du point de vue sociétal le chemin à prendre avec l'énergie disponible restante. Comme toujours, on peut penser qu'anticiper sera plus bénéfique que de se retrouver devant le fait accompli dans quelques années.

## Du pétrole à l'extractivisme

Raison additionnelle au réchauffement climatique en cours, la raréfaction à venir de la ressource pétrolière doit nous mener à une diversification massive de notre production d'énergie. Pour de nombreux usages à décarboner, comme par exemple le transport, l'électrification apparaît comme une solution de premier rang. Effectivement, grâce à l'utilisation d'énergie nucléaire ou d'énergies renouvelables, l'électricité possède un meilleur bilan carbone que la combustion d'hydrocarbures.

Nous l'avons vu, les sociétés occidentales se sont développées en profitant largement du pétrole comme énergie abondante et bon marché, avec un fort TRE qui fait qu'il n'était pas nécessaire d'en limiter les usages. Souvenez-vous des quantités importées, il y a en énergie finale 66 Mtep à remplacer pour le pétrole, auxquels on peut ajouter le charbon et le gaz pour un total de 97 Mtep. Cette quantité décroît très lentement puisque c'est seulement 8 % de moins par rapport à 1990, 30 ans d'efforts après. Et c'est principalement dû à la désindustrialisation qu'a subi la France.

Se pose alors la question du remplacement d'une telle quantité d'énergie. Nucléaire ? Energies renouvelables ? Le fait est que face à la quantité d'énergie électrique nécessaire, nous aurons sans doute besoin des deux. En effet, la production totale électrique<sup>4</sup> était en 2019 de 538 TWh (38 Mtep), il faudrait donc plus que doubler (x2,6) la production électrique en quelques années ! Il ne sera jamais accepté socialement de doubler les 58 réacteurs nucléaires français, à l'heure où l'on vient de fermer Fessenheim. Il ne sera

pas non plus possible, sans même parler des problèmes d'infrastructure réseau, d'installer cette capacité en éoliennes et panneaux photovoltaïques.

Une des principales limites à cela est la demande en matériaux qu'imposerait un tel changement. La commission européenne rapporte régulièrement des études sur les matières premières critiques pour les secteurs stratégiques dans l'UE, dont justement la production d'énergie renouvelable ou la mobilité. Elle anticipe une consommation exponentielle qui devra avoir lieu pour certains matériaux, notamment de terres rares comme le néodyme qui est utilisé pour les aimants permanents des éoliennes offshore, ou pour le graphite nécessaire pour faire fonctionner les piles à combustibles, briques technologiques produisant de l'électricité après consommation d'hydrogène. D'ici 2050<sup>5</sup>, on peut notamment évoquer une demande en cobalt accrue de presque x15 par rapport à la consommation actuelle, plus de x4 pour le lithium de nos batteries. En ce qui concerne le déploiement des panneaux photovoltaïques, c'est le cuivre qui risque d'être le facteur le plus limitant.

Dès aujourd'hui, on connaît les problèmes de pollutions liées aux industries minières. De plus, la consommation d'eau y est très importante et il y a alors une compétition d'usage avec les populations locales qui en ont besoin pour vivre, ne serait-ce que pour l'agriculture. Cette industrie est donc amenée à toujours plus grossir pour satisfaire la demande en matériaux actuelle et à venir, menant à un accroissement inexorable de l'extractivisme existant dont on peut déjà dénoncer les conditions sociales et environnementales de travail. Récemment, le documentaire « La face cachée des énergies vertes » nous a fait prendre conscience que passer des énergies fossiles à d'autres types d'énergies n'est, pour partie, qu'un simple déplacement de la pollution.

Dans le but de réduire ses émissions de CO<sub>2</sub>, diversifier l'origine de son mix énergétique sans en dessiner les quantités n'est donc qu'une vision incomplète du sujet. On comprend aisément qu'avoir une énergie deux fois moins polluante n'a aucun intérêt écologique si la consommation double.

3. The Shift Project - Etude du déclin de l'approvisionnement de l'UE en pétrole d'ici 2030

4. [https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie\\_en\\_France](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89nergie_en_France)

5. Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU - European Commission

# La transition énergétique

Pourquoi une transition énergétique

## Repenser énergie, usages, société

L'insoutenabilité de notre système productif, le dérèglement climatique... Tout nous porte aujourd'hui à agir fortement et rapidement pour réduire nos émissions de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Pourtant, les années passent et la transition énergétique peine à décoller, malgré la baisse importante des coûts des énergies renouvelables. Au niveau national, les énergies fossiles représentent toujours la majorité de l'énergie finale consommée. L'urgence ne fait qu'accroître, puisqu'au problème des émissions s'ajoute le problème imminent de la raréfaction de la production pétrolière. Alors que le baril de pétrole est actuellement aux alentours de 60\$, rien n'empêche qu'il ne puisse quadrupler en

très peu de temps pour tenter de lutter contre la chute de production. L'économie s'en trouverait alors très fortement affectée et la crise, inévitable.

Mais sortir du pétrole sans penser les usages que l'on en fera ressemble à un énorme piège dans lequel nous sommes en train de tomber. Il semble pourtant que la période d'abondance énergétique touche à sa fin et que les usages sont donc amenés à rentrer en compétition. Dans cette optique, on peut se questionner sur les décisions récentes de déploiement national de la 5G, sur le développement de voitures autonomes...

Pour que cette transition s'effectue dans des conditions socialement acceptables, il convient de définir au niveau de l'état des priorités nationales. Tous les usages ne pourront être simplement remplacés en modifiant l'énergie consommée. A titre d'exemple, comme révélé par l'Atécopol sur

Médiapart, le remplacement du trafic aérien de l'aéroport de Paris-Charles-de-Gaulle par des avions à hydrogène nécessite la production électrique équivalente de 16 réacteurs nucléaires.

Il est donc de notre devoir de société de définir des usages prioritaires, représentant la volonté des citoyens, quant à la société de demain. A ce propos, il faut saluer l'initiative prise par le gouvernement avec la mise en place de la Convention Citoyenne pour le Climat, qui est un exemple de la voie à suivre. Ce devoir se doit de prendre en compte les limites de notre système, plutôt que de grossir aveuglément dans le déni de la réalité physique. C'est la condition nécessaire à la réussite de la baisse de nos émissions, c'est la condition nécessaire pour respecter nos engagements climatiques, c'est la condition nécessaire pour une société désirable demain. ■



**MJM**

SPÉCIALISTE  
DU SECOND ŒUVRE  
Entreprises & Particuliers  
PLÂTRERIE ET ÉLECTRICITÉ  
neuf et rénovation

**SARL MJM**

916, chemin de la Lègue Nord  
30560 Saint Hilaire de Brethmas  
Tél. **04 66 30 38 33** - Mail : bureau@mjm-btp.com



**Chemviron**  
A Kuraray Company

Une gamme étendue  
d'agents filtrants minéraux

**Clarcel®**

Usine Chemviron  
07210 Saint-Bauzile  
Tél. 04 75 65 15 22

[www.chemviron.eu](http://www.chemviron.eu) - [www.calgoncarbon.com](http://www.calgoncarbon.com) - [www.kuraray.com](http://www.kuraray.com)

# La nécessité d'un changement de **paradigme**

Le texte ci-dessous reflète uniquement sa vision personnelle de la transition énergétique et n'engage ni sa direction générale, ni le ministère pour lequel il travaille.

**L**e 28 août 2018, aux alentours de 8h30 : Nicolas Hulot, ministre d'État, ministre de la Transition écologique et solidaire, annonça en direct sur France Inter son départ du gouvernement, expliquant sa décision par les mots suivants :

” *Je me surprends tous les jours à me résigner, tous les jours à m'accommoder de petits pas, alors que la situation universelle, au moment où la planète devient une étuve, mérite qu'on se retrouve et qu'on change d'échelle, qu'on change de scope, qu'on change de paradigme.*


Pourquoi cette résignation ? N'a-t-on pourtant pas compris ce qu'était la transition énergétique ? Le 18 août 2015 était même publiée au Journal officiel de la République française la loi de transition énergétique pour la croissance verte entérinant des objectifs ambitieux visant à verdir l'économie pour garantir sa croissance de manière durable...

En réalité, penser la transition énergétique, c'est remettre en question de nombreuses certitudes sur lesquelles le monde occidental se repose. Rien que ça !

## Que craignons-nous ?

Il est désormais pleinement entendu qu'il existe un dérèglement climatique, c'est-à-dire une dérive conduisant la planète à une accélération de la hausse de sa température moyenne. Cette dérive repose sur le fameux phénomène d'« effet de serre ».

**PARCOURS**



**Victor BORMAND**  
IMT Lille Douai, promo 2015

Il est chargé de mission « Climat bâtiment-transport » au sein de la direction générale de l'énergie et du climat du ministère de la Transition écologique.

Entendons-nous bien, l'effet de serre est indispensable pour que nous puissions vivre dans une atmosphère adaptée à notre organisme. L'effet de serre, c'est ce qui résulte de l'absorption des rayonnements infrarouges telluriques (thermiques) réalisée par les gaz à structure triatomique ou non symétrique présents dans l'air (H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, etc.) : les gaz à effet de serre.

Le gaz contribuant le plus à l'effet de serre est H<sub>2</sub>O (la vapeur d'eau). Toutefois, sa concentration varie fortement en fonction des facteurs météorologiques ; H<sub>2</sub>O se régule donc naturellement, notamment en changeant d'état (la pluie !). De plus sa durée de vie dans l'atmosphère est faible (de l'ordre de quelques jours), réduisant son impact.

Ce n'est pas le cas du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), gaz inerte qui, une fois émis, reste présent dans l'atmosphère environ une centaine d'années. Un surplus de CO<sub>2</sub> émis dans l'atmosphère crée alors un surplus durable d'effet de serre, ce qui cause cette augmentation de la température moyenne mondiale dont les conséquences se font fortement ressentir : épisodes caniculaires de plus en plus fréquents, intenses et prolongés, fonte de glaciers, hausse du niveau de la mer...

D'autres gaz ont des impacts plus importants : le méthane, le protoxyde d'azote, ...

Nos organismes ne sont pas conçus pour résister aux très, très fortes chaleurs, surtout si elles doivent s'accompagner d'une humidité extérieure renforcée qui nous empêche de transpirer, ou pour survivre sans nourriture lorsque les cultures sont détruites par des épisodes météorologiques dévastateurs tels que les sécheresses et incendies, les inondations ou le gel pendant les mauvaises saisons...

## Sortir des énergies fossiles comme première réponse ?

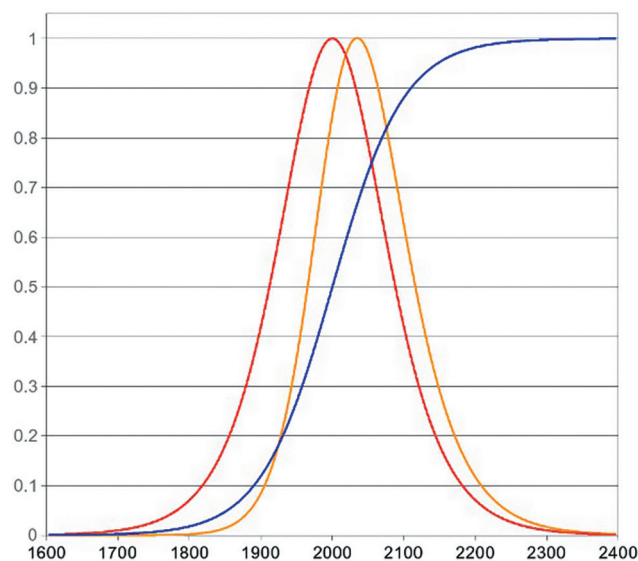
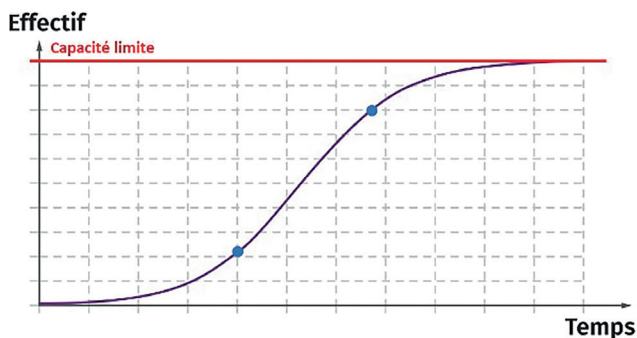
Pour épargner au genre humain un avenir très désagréable d'ici la fin du siècle, il est donc nécessaire de s'attaquer à la source du problème identifié, à savoir les émissions de gaz à effet de serre, et en premier lieu, le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). Mais pour en limiter les émissions, il faut comprendre d'où il vient, et pourquoi il s'en forme toujours plus au fil du temps.

# La transition énergétique

## Pourquoi une transition énergétique

→ Courbe de production du pétrole  
Source : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Saturation\\_\(économie\)](https://fr.wikipedia.org/wiki/Saturation_(économie))

↓ Courbe du modèle de Verhulst



Le CO<sub>2</sub> est, avec la vapeur d'eau, le produit de toute réaction de combustion de matière organique. Or, la matière organique se caractérise par une structure reposant sur des chaînes carbonées. Autrement dit, le CO<sub>2</sub> apparaît lorsque l'on brûle des produits carbonés. Pourquoi alors brûler de tels produits ? Tout simplement parce que leur combustion génère de l'énergie, à n'importe quelle heure de la journée et à haut rendement par rapport à l'énergie que les humains, les animaux, le vent ou le soleil peuvent fournir.

Or, quels sont les secteurs économiques consommateurs d'énergie en France ? Ou plutôt, existe-t-il des secteurs économiques qui ne consomment pas d'énergie ? Non, parce que l'énergie est avant tout l'expression physique du changement d'état d'un système (d'immobile à mobile, de froid à chaud, etc.). Tous les secteurs sont concernés d'une manière ou d'une autre par la consommation d'énergie, à travers les transports, les bâtiments, la production industrielle, la production d'énergie, la gestion des déchets ou l'agriculture. C'est cette utilisation de l'énergie qui a servi, ces deux derniers siècles, à construire le monde dit « développé » dans lequel nous vivons aujourd'hui. C'est aussi cette utilisation de l'énergie qui émet du CO<sub>2</sub> en quantité proportionnelle.

Suffirait-il alors de se passer de ces ressources carbonées que la planète abrite ? Elles qui se sont formées gratuitement, après des millions d'années de sédimentation d'anciens êtres vivants, nous donnant aujourd'hui du charbon,

du pétrole, et du gaz naturel, appelés « énergies fossiles » ?

D'aucuns diront qu'il le faut, parce que les actions humaines ont un coût environnemental très élevé : l'exploitation des sols et des forêts menace la biodiversité, détruit ce que la Terre nous a donné pour que l'humanité puisse s'y épanouir en harmonie avec les mondes animal, végétal et minéral, et génère des dérèglements thermohygrométriques propices à l'apparition de maladies ou de virus que nos organismes ne sont pas habitués à combattre.

D'autres diront que nous n'avons de toute façon pas le choix.

En effet, le processus de formation des énergies fossiles est infiniment long à notre échelle de temps, si bien qu'il faut considérer le stock mis à notre disposition comme donné une fois pour toutes.

En France, en 2019, la consommation finale d'énergie reste à plus de 65 % d'origine fossile (majoritaire dans l'industrie, les transports et l'agriculture et la pêche), quand, dans le monde, ce pourcentage avoisine les 81 %.

Prenons l'exemple du pétrole, qui représente en France 90 % de l'énergie consommée par le secteur du transport. Etant donné la durée de formation de cette ressource, le volume du stock mondial de pétrole disponible sur Terre est donné une fois pour toutes, c'est pourquoi la part mobilisée de ce stock au fil du temps tend à suivre la courbe du modèle de Verhulst ci-dessous (fonction logistique) jusqu'à atteindre 100 % de la capacité limite

mobilisable, imposée par des contraintes géologiques.

Reproduite en bleu dans le graphe ci-dessous, la fonction logistique admet pour dérivée la fonction dont la courbe est représentée en rouge, laquelle illustre la vitesse avec laquelle ce stock est exploité : dans notre exemple, il s'agit de la courbe de production du pétrole.

À la lecture de ce graphique, on visualise immédiatement la problématique : tant que nous nous situons dans la partie croissante de la courbe de production du pétrole, il nous est possible d'alimenter toujours plus de machines thermiques, que ce soit pour extraire ou transporter les matières premières, les transformer, et en distribuer les produits finis. En somme, générer une augmentation du PIB.

Mais le pétrole est présent en quantité finie, donc sa production passe nécessairement par un pic avant de décroître jusqu'à épuisement du stock (le fameux « pic de Hubbert »). Même en pondérant la production par la taille du marché (courbe jaune), la croissance ne peut pas être renforcée à l'approche de la saturation.

Ce raisonnement s'appliquant de manière analogue au charbon et au gaz, c'est donc plus de 65 % de l'énergie finale consommée aujourd'hui en France que nous n'aurons plus à notre disposition à terme pour faire fonctionner notre économie.

Programmer la sortie des énergies fossiles a donc pour but d'amoindrir l'effet de sevrage auquel seront de toute façon soumis les utilisateurs qui les

consomment. Il s'agit, pour une demande énergétique donnée, de substituer l'offre d'énergie fossile par une offre alternative, reposant sur des ressources non épuisables, ou « renouvelables » comme le soleil, le vent, ou les courants aquatiques.

Mais ces sources d'énergie sont loin d'être aussi pilotables ou rentables que les énergies fossiles (il n'y a du soleil que quand il fait jour, le vent est intermittent...) et l'histoire a démontré que l'usage de ces seules sources d'énergie était bien moins rentable ; serait-on passé des voiliers aux porte-conteneurs si les voiliers étaient plus efficaces pour le transport de marchandises ? pourquoi continue-t-on, dans de nombreux pays, à produire de l'électricité à partir de centrales à charbon alors que l'éolien et le photovoltaïque existent aujourd'hui ?

Selon ce raisonnement, la transition énergétique consisterait à revenir vers les énergies que l'on exploitait avant l'industrialisation, mais avec la connaissance et les technologies d'aujourd'hui. La transition énergétique, ce serait donc uniquement développer des technologies permettant de se passer de la consommation d'énergies fossiles ?

## Repenser l'organisation de notre société comme véritable réponse

Pas seulement, car pour développer de telles technologies, il faut d'une part produire et transformer de la matière, ce qui exige de l'énergie déjà disponible donc mobilise encore plus de ressources fossiles qu'il n'en faut déjà actuellement pour nos « affaires courantes », et d'autre part, être en mesure de répliquer cette technologie. Or, passé les pics de production des énergies fossiles, nous avons vu qu'il y en aurait de moins en moins à disposition. Il s'agit donc en

premier lieu de gérer un monde où devra baisser la demande énergétique. La demande de consommation d'énergie baissant, la quantité d'énergie fossile à substituer baissera également, rendant plus propice un développement plus « raisonnablement » dimensionné de technologies capables de nous faire sortir du monde du fossile sans risquer d'également épuiser les ressources alternatives.

Par exemple, si l'on choisit de remplacer l'intégralité du diesel pour poids lourds par des agrocarburants entièrement produits à partir d'huiles végétales, il est nécessaire de disposer de très grandes quantités de colza ou de soja, sur des surfaces agricoles normalement dévolues à l'alimentation. La surface de la terre étant physiquement limitée, cette conversion ne peut être extensible à souhait. Le premier levier de transition à actionner est donc la maîtrise de la demande de transport, pour enclencher une réduction du nombre total de poids lourds utilisés pour le transport.

La transition énergétique repose donc avant tout sur la recherche d'une sobriété énergétique.

Pour que cette sobriété soit significative à grande échelle, elle doit guider les grandes décisions structurantes. Et comme l'affirmait André Gide, « choisir, c'est renoncer ». La véritable transition énergétique ne peut être effective qu'en priorisant les grandes actions qui sont réellement de nature à mener notre société vers une grande sobriété énergétique (a fortiori sobriété absolue en matière d'énergies fossiles), même quand elles semblent aller à l'encontre des souhaits qu'elle exprime à court terme.

En effet, quand les ressources croissent, il est toujours possible d'aller plus vite et plus loin dans le progrès en laissant la libre concurrence faire son œuvre. Quand elles décroissent, tout comme lorsque notre stock de nourriture diminue mais que l'on ne peut pas le réapprovisionner, il devient nécessaire de s'orienter vers une gestion planifiée des ressources, qui parfois se matérialise sous forme de restrictions.

Est-il prioritaire de développer une ultra-connectivité entre objets du quotidien ? Est-il pertinent de « tertiariser » un pays à l'excès alors que d'un autre côté, début 2020, il n'était plus possible de produire un masque chirurgical en France, nous conduisant à nous en remettre à des importations dont le transport émet des gaz à effet de serre évitables ?

Quels sont les domaines stratégiques dans lesquels une production locale est indispensable pour assurer les besoins que l'on pourrait qualifier d'essentiels pour une population ? (par exemple : se nourrir, se laver, se vêtir, se soigner, se loger, se déplacer et s'instruire...) Quels sont les vecteurs énergétiques à notre disposition pour s'assurer que cette production soit décarbonée ? Selon quel échéancier ?

Quels sont les sujets potentiellement incompatibles avec un objectif de sobriété énergétique ? Est-ce pertinent de produire des véhicules automobiles de plus en plus grands, fussent-ils électriques ? Est-ce nécessaire pour la survie de l'espèce humaine de chercher à se rendre sur Mars ? Est-ce indispensable de trouver des manières « alternatives » de procréer des enfants quand l'augmentation tendancielle de la population mondiale rendra la sobriété énergétique d'autant plus contraignante par individu (un individu de plus étant un consommateur d'énergie de plus) ?

Au final, la véritable transition énergétique, c'est parfois devoir renoncer à un progrès technologique ou social qui relèverait plus du caprice individuel que de la nécessité collective. La véritable transition énergétique, c'est s'imposer des limites quand nos rêves n'en ont justement pas.

Et c'est probablement cela que Nicolas Hulot essayait de défendre avant de se résigner devant des choix plutôt faits en faveur d'intérêts individuels visant à repousser les limites toujours un peu plus loin, et privilégiant la culture de l'instant aux problématiques de fond de long terme auxquelles nous devons pourtant tous se préparer. ■

# La transition énergétique au sein des territoires

L'exemple du Douaisis

La transition énergétique est une modification structurelle et profonde des modes de production et de consommation de l'énergie. C'est une des composantes de la transition écologique. Elle résulte des évolutions techniques, des prix et de la disponibilité des ressources énergétiques ainsi que de la volonté des élus, des entreprises et des populations qui désirent réduire les effets négatifs de ce secteur sur l'environnement.

Mettre en œuvre la transition énergétique revient, le plus souvent, à basculer d'un modèle énergétique basé sur les ressources fossiles, limitées et non renouvelables vers un mix énergétique fondé essentiellement sur des ressources renouvelables. Il s'agit d'abandonner, graduellement, les énergies carbonées polluantes (pétrole, gaz naturel, charbon) par des énergies propres et sûres (énergie solaire thermique ou photovoltaïque, éolienne, hydraulique, géothermique ou biomasse).

La transition énergétique promeut ainsi des énergies moins émettrices de Gaz à Effet de Serre (GES) mais intègre aussi la réduction de la demande en énergie, obtenue notamment au moyen de :

- L'efficacité énergétique qui correspond à l'amélioration de la performance des bâtiments et des technologies
- La sobriété énergétique qui correspond à un changement des modes de vie et qui repose sur des mesures individuelles qui demandent du temps et sont limitées

La transition énergétique est, par conséquent, une transition systémique, comportementale et sociotechnique. Ses enjeux peuvent être résumés comme suit :

**PARCOURS**



**Chekib BEN SMIDA**  
IMT Lille Douai, promo 1992

Il est Directeur Transition Écologique, Mobilité et Qualité chez DOUAISIS AGGLO.

- Réduire les émissions de GES responsables du réchauffement climatique
- Passer à un système énergétique plus sûr en termes géostratégique et de risque industriel et nucléaire
- Évoluer vers un système énergétique moins centralisé avec différentes échelles spatiales d'aménagement : architecturale, urbaine et paysagère

▪ Évoluer vers une moindre consommation d'énergie (efficacité, efficacité énergétique), ce qui devrait aussi :

- Diminuer les inégalités d'accès à l'énergie
- Protéger la santé publique
- Assurer des emplois plus locaux mieux répartis et moins délocalisables.

Certains spécialistes, comme l'économiste américain Jeremy Rifkin, privilégient par ailleurs des modes de production et de distribution décentralisables. Il a été l'auteur du Master Plan « La 3<sup>ème</sup> révolution industrielle du Nord Pas de Calais », baptisé Rev3.



LA 3<sup>ème</sup> RÉVOLUTION INDUSTRIELLE EN HAUTS-DE-FRANCE



Source : Chambre de Commerce et d'Industrie de Douai

Dans ce plan prospectif, l'économiste évoque un processus de révolution qui tend à combiner d'une part la transition énergétique avec d'autre part une évolution importante du système de l'information grâce à l'Internet. Cette combinaison permettrait d'exploiter une ressource diffuse constituée d'une part d'énergies renouvelables et d'autre part du potentiel d'économies d'énergie.

La transition énergétique combine donc les économies d'énergie à l'efficacité énergétique dans les territoires et les villes à grande échelle, notamment en reconfigurant les réseaux urbains de chaleur aux smart grids, par exemple des compteurs électriques intelligents permettent de décaler certaines consommations à une heure où l'électricité est plus disponible et moins chère, et l'énergie est produite plus localement.

## L'exemple du Douaisis

Le Douaisis est un territoire composé d'une partie urbaine, de terres agricoles fertiles et d'un gisement important de friches à valoriser. Il est doté d'une infrastructure lourde de transports et est concerné par la maîtrise tant des risques liés aux mouvements de terrain (du fait de la présence d'anciens puits de mines et de cavités souterraines) que des risques technologiques liés à la présence de sites SEVESO seuil haut.

Il recouvre de multiples réservoirs de biodiversité, de zones humides (présence de la vallée de la Scarpe) et près de ¾ de sa surface est couverte par des zones à enjeu en eau potable.

Face aux enjeux divers liés à la crise écologique et au changement climatique et afin de garantir un développement responsable, adapté, résilient et solidaire, les élus ont souhaité que le territoire, outre l'environnement, soit d'excellence énergétique et neutre en carbone d'ici 2030.

Ainsi, une planification de la transition énergétique et une accélération de la production d'énergies renouvelables ont été mises en place.

La planification est mise en œuvre par l'élaboration de plusieurs documents réglementaires, notamment le Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET). Par la suite, plusieurs démarches sont enclenchées. Elles sont conçues sur la base de projets globaux, innovants, pluridisciplinaires et selon une méthode de qualité et d'excellence environnementale certifiée ISO 9001, ISO 14001.

➔ Source : Rapport Développement Durable 2020 de DOUAISIS AGGLO

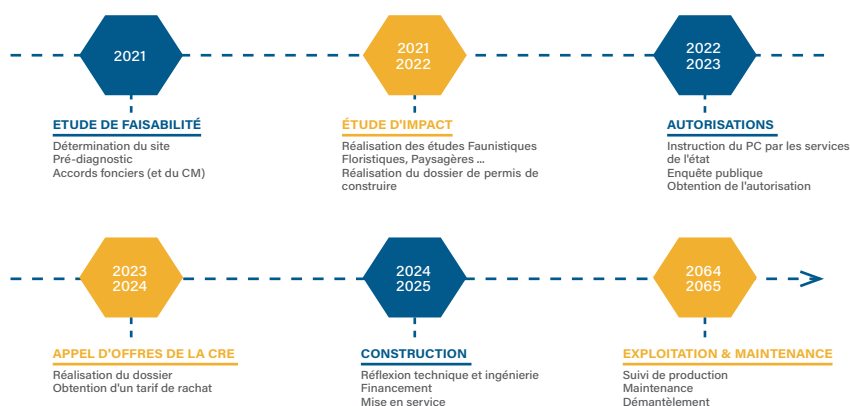
## La mise en œuvre de la transition écologique dans le Douaisis s'appuie sur :

### 1 Une accélération du déploiement des énergies renouvelables (ENR)

La mise en œuvre des projets ENR représente un travail de longue haleine et requiert un passage par diverses étapes. À titre d'exemple, le planning ci-dessous représente les étapes nécessaires à la réalisation d'un projet de centrale photovoltaïque au sol.

L'accélération du déploiement des énergies renouvelables se traduit par :

- Le projet de réalisation, sous cinq années et sur près de 150 hectares de centrales photovoltaïques au sol sur des friches publiques et privées ; réalisation soutenue même si le potentiel solaire dans notre région n'est que de 1053 heures de plein ensoleillement par an (contre 1800 heures dans le Sud de la France). La puissance potentielle totale de ces installations serait de 156 Mégawatts crête ; soit une production de 165 TerraWatts heures/an, ce qui correspond à la consommation de 76 000 habitants (avec chauffage).
- Le lancement d'un Appel à Manifestation d'Intérêt (AMI) pour la massification de centrales photovoltaïques sur les toitures notamment celles destinées à l'autoconsommation
- Le développement des micro centrales hydroélectriques
- Le développement des projets éoliens
- Le recours à l'hydrogène vert par le développement de projets systémiques ; projets qui offrent une valorisation des sources renouvelables, qui apportent une interconnexion et une flexibilité des réseaux énergétiques ainsi qu'une valeur ajoutée dans les différents usages (mobilité, industrie, autoconsommation, etc.). Parmi ces projets, on compte :
  - La réalisation d'une station assurant un avitaillement en carburants, exclusivement, renouvelables (GNC/Bio GNC, GNL ; Électrique et Hydrogène)
  - La création d'un écosystème hydrogène vert intégré (production/stockage/distribution)
  - La décarbonation des transports en commençant par lancer des études prospectives et comparatives multi-carburants (électrique à hydrogène Pile A Combustible, électrique à batterie ; GNV/ Bio GNV, hybride Diesel rechargeable) sur le verdissement des flottes de transport et leur conversion vers des motorisations à faibles émissions. Ces études permettent la mise en exergue, selon un triptyque économique, environnemental et technique, du carburant à déployer sur le territoire à l'avenir. Elles répondent aux interrogations suivantes :
    - Quels sont les types de véhicules à acheter (en matière de motorisation) à court, à moyen et à long terme en fonction de leurs usages ?
    - Quelles sont les synergies possibles entre les différents véhicules (bus, bennes, voitures, etc.) ?
    - Comment augmenter la part d'énergie renouvelable dans les carburants des parcs ?
    - Quelles sont les possibilités d'optimisation des coûts (mutualisation des véhicules et/ ou des infrastructures d'approvisionnement, innovations pour obtenir des financements, etc.) ?
    - Quels sont les impacts financiers (en coût global) selon les scénarii de motorisation des flottes de transport ?
    - Quels sont les impacts environnementaux ?
    - Quels sont les impacts sur l'entretien et la maintenance des véhicules gérés en régie (habilitation, compétences, équipements, norme atelier, etc.) ?
    - Quels sont les impacts sur les infrastructures et sur l'exploitation ?



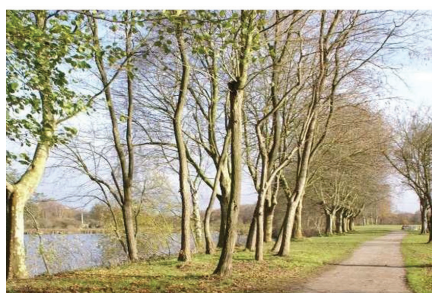
# La transition énergétique

## L'adaptation nécessaire des territoires

### 2 Un renforcement des opérations d'efficacité énergétique

Cela se traduit par :

- La réalisation des travaux de rénovation énergétique des bâtiments publics
- La réhabilitation lourde des logements sociaux
- La réhabilitation des locaux des TPE/PME
- La réhabilitation des logements privés



↑ Source : Rapport Développement Durable 2020 de DOUAISIS AGGLO

### 3 Un déploiement renforcé des mobilités vertes, électriques et une amélioration de la qualité de l'air

Ce déploiement trouve ses sources dans la Loi d'Orientation des Mobilités, dite loi LOM, qui transforme en profondeur la politique des mobilités et met l'accent sur des mobilités plus vertueuses : actives, partagées et solidaires. Parmi les enjeux figurent la limitation de l'étalement urbain, le développement du report modal (politique du stationnement, lignes Transport en Commun, mobilités douces) et la limitation de l'autosolisme (aires de covoiturages, plans de déplacements, etc.).

L'amélioration de la qualité de l'air (réduction des émissions de GES et de la pollution atmosphérique) constitue un enjeu très fort. Nous observons en effet des pics de pollution parmi les plus élevés de la région. Si cette pollution provient en partie des apports d'origine extraterritoriale, le Douaisis est à l'origine d'émissions importantes dues notamment au chauffage dans l'habitat ancien.

Cela se traduit par :

- Le développement, notamment avec l'IMT Lille Douai, de projets dédiés à la qualité de l'air qui favorisent l'innovation technologique et sociologique et qui relèvent à la fois des domaines de l'observation, de la sensibilisation et de la participation citoyenne (Mappy vélos ; cartes stratégiques, modèle urbain, etc.)
- L'augmentation de la part modale active de 2,5 % à 4 % dans les prescriptions du Plan de Déplacement Urbain (PDU) 2015-2025 (65 % des déplacements quotidiens font moins de 5 km)



- L'accompagnement technique, juridique et financier des lycées, collèges et écoles dans la réalisation de leurs plans de mobilité
- Le déploiement d'une l'Infrastructure de Recharge pour Véhicules Électriques (IRVE), le développement des véhicules hydrogène et le renforcement des flottes de Vélos à Assistance Électrique (VAE) afin de diversifier l'offre d'électromobilité répondant à des besoins spécifiques dans la mobilité professionnelle sur le Douaisis
- La concrétisation de la transition bas carbone et le développement des mobilités au quotidien et la création de nouvelles lignes de bus
- La promotion de l'utilisation des modes actifs dans les déplacements quotidiens par la sécurisation des itinéraires, le développement des services aux usagers et le développement d'une « culture – vélo »



### 4 C'est aussi la préservation de la biodiversité, de la ressource en eau et la lutte contre l'artificialisation des sols

Cela se traduit par :

- La limitation de l'extension urbaine et l'artificialisation des sols en privilégiant le renouvellement urbain dans les « dents creuses » et les friches industrielles ou commerciales
- La constitution de trames vertes et bleues par la préservation des pôles de nature et le renforcement des liaisons écologiques
- Le développement des trames sombres afin de réduire la pollution lumineuse et la trame brune pour une meilleure connaissance et la préservation des sols
- La gestion des espaces naturels par le biais d'une gestion conservatoire
- Le développement de l'éco-pâturage afin de concilier préservation de l'activité agricole et le renforcement de la biodiversité
- Le renforcement de l'éducation à l'environnement auprès des différents publics à travers l'éducation active et l'implication des habitants
- La contribution au renforcement de la nature en ville pour lutter contre les îlots de chaleur et l'amélioration du cadre de vie ■

← Source : Rapport Développement Durable 2020 de DOUAISIS AGGLO



# Un scénario de **transition énergétique** pour la France

Dérèglement climatique, effondrement de la biodiversité, précarité énergétique, risques technologiques, pollution de l'air, raréfaction des ressources... notre système énergétique, et le modèle de consommation qu'il permet, sont devenus insoutenables. Dès lors, comment se passer rapidement des énergies fossiles et nucléaire sans revenir à la bougie ? C'est l'objet des travaux réalisés par négaWatt.

**A**ssociation à but non-lucratif créée en 2001, négaWatt est dirigée par un collège de membres actifs, la Compagnie des négawatts, qui rassemble une trentaine d'experts impliqués dans des activités professionnelles liées à l'énergie. Tous s'expriment et s'engagent à titre personnel au sein de l'association.

L'Association négaWatt, à travers son scénario de transition énergétique, se donne comme ambition de montrer comment la France peut répondre aux multiples enjeux environnementaux et atteindre la neutralité climatique d'ici 2050, avec à la clé de multiples bénéfices économiques, sociaux et environnementaux.

## **Bâtiment, transport, industrie : des gisements considérables d'économie d'énergie**

Le scénario négaWatt se fonde sur le triptyque sobriété - efficacité énergétique - énergies renouvelables : trois piliers indissociables pour mener à bien cette nécessaire transition énergétique. Alors que les gaspillages d'énergie sont aujourd'hui largement répandus, la sobriété nous invite à consommer plus intelligemment l'énergie, grâce à l'arrêt d'appareils

**PARCOURS**



**Stéphane CHATELIN**  
IMT Lille Alès, promo 2005

Il est Directeur de l'association négaWatt.

fonctionnant inutilement, à l'augmentation de la réparabilité ou du recyclage des biens d'équipement, au report modal de la voiture ou le camion vers les modes de transport alternatifs, etc.

Les actions d'efficacité énergétique, c'est à dire le recours aux techniques et produits les plus performants pour assurer un service énergétique (comme l'isolation des bâtiments pour réduire les besoins de chauffage, ou le recours à des appareils présentant un meilleur rendement) permettent elles aussi de réduire les consommations.

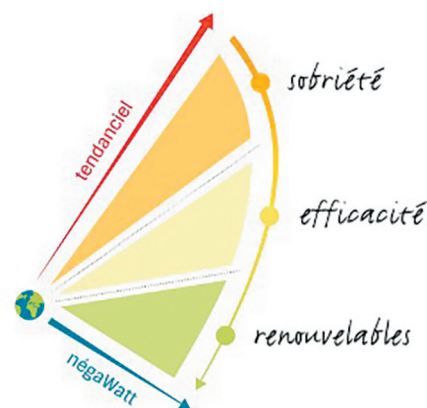
**Sobriété et efficacité permettent en France d'envisager une division par deux**

d'ici 2050 de la consommation d'énergie finale.

## **Abandon progressif du nucléaire et des énergies fossiles, essor des renouvelables**

En parallèle, un déploiement ambitieux mais mesuré des énergies renouvelables permettrait une sortie progressive des énergies fossiles et nucléaire.

Dans le mix électrique, de nombreuses études (ADEME, négaWatt, AIE-RTE, CIRED, etc.) montrent depuis des années la faisabilité technique d'un mix électrique



# La transition énergétique

L'adaptation nécessaire des territoires

→ Source : [négawatt](#)

100 % renouvelable<sup>1</sup>; par ailleurs l'éolien et le solaire affichent aujourd'hui des coûts de production bien moins élevés que leurs homologues fossiles et nucléaire. Conserver/relancer la filière nucléaire n'est donc pas un choix technique ou économique mais un choix politique et idéologique.

En parallèle des filières électriques, les énergies renouvelables issues de la biomasse (principalement bois-énergie et gaz renouvelable produit par méthanisation) ont également un rôle important à jouer pour permettre une décarbonation d'ensemble de notre système énergétique :

- la forêt française est aujourd'hui sous-exploitée : elle produit annuellement deux fois plus de bois qu'on en retire. Tout en veillant à la protection de la biodiversité à travers une gestion raisonnée, le volume de bois d'œuvre et de bois énergie pourrait donc augmenter dans les prochaines décennies ;
- la méthanisation utilise des résidus de culture, des déjections d'élevage et des déchets verts pour produire du biométhane, la même molécule que l'on retrouve dans les réseaux de gaz naturel mais qui aujourd'hui est d'origine fossile et majoritairement importée de Russie et de Norvège. Le potentiel de production de gaz renouvelable produit par méthanisation est assez significatif en France du fait de l'importance de sa surface agricole.

Couplé à la réduction de la consommation, le développement de l'éolien, du solaire et des bioénergies permet d'envisager un système énergétique - et pas seulement électrique - 100 % renouvelable d'ici 2050.

## Une nécessaire évolution des vecteurs énergétiques

En France, les principaux vecteurs énergétiques sont les suivants :

- les carburants liquides, qui servent essentiellement au trafic routier et au secteur aérien ;
- les carburants gazeux, utilisés principalement pour le chauffage des bâtiments et dans le secteur industriel ;

## La transition énergétique est possible

Meilleure qualité de l'air +



+ Économies sur l'achat d'énergie

Plus de pouvoir d'achat +



+ Création d'emplois

2017

- l'électricité, utilisée majoritairement dans les logements mais aussi dans l'industrie
- les combustibles solide, bois et charbon : le premier est surtout utilisé pour le chauffage des logements, le second sert à l'industrie.

L'impérieuse question de la transition énergétique nécessite de revoir, pour chaque usage de l'énergie, la pertinence des différents vecteurs à notre disposition, au vu des ressources mobilisables en amont pour produire ces vecteurs.

Dans le bâtiment, l'électricité a et aura un rôle important à jouer, à condition qu'elle soit bien utilisée. Dans des bâtiments bien isolés (niveau BBC), lorsqu'elles sont bien dimensionnées, les pompes à

chaleur performantes présentent d'ores et déjà des consommations 5 à 6 fois moins importantes que tout autre mode de chauffage. D'ici à 2050, elles peuvent être généralisées dans la moitié du parc de logements et dans de nombreuses surfaces tertiaires. Les réseaux de chaleur (alimentés par des sources renouvelables), le bois-énergie et le gaz (renouvelable) pourront venir en complément.

Dans les transports, une électrification est également souhaitable et envisageable dans la mobilité légère (voitures, VUL), même

<sup>1</sup> - <https://decrypterlenergie.org/un-systeme-electrique-alimente-a-100-par-les-energies-renouvelables-est-il-techniquement-possible-en-france>



## Un scénario aux multiples bénéfiques

Le résultat est probant : en 2050, dans le scénario négaWatt, les émissions résiduelles de gaz à effet de serre sont tellement faibles qu'elles sont intégralement compensées par les puits de carbone (forêts, sols, etc.). Ce scénario ambitieux mais réaliste ne se contente pas de répondre aux seuls enjeux climatiques. Il présente également de **nombreux bénéfices pour la société française. 600 000 emplois nets sont créés** à l'horizon 2050 (400 000 en 2030) ; si des pertes d'emploi sont à attendre dans la construction neuve de bâtiment, dans l'automobile ou dans les filières nucléaire et fossile (et ce même dans un scénario tendanciel), les créations d'emploi attendues dans le secteur de la rénovation du bâtiment et dans les énergies renouvelables sont très nettement supérieures.

**La précarité énergétique - près de 10 % des ménages français ont aujourd'hui du mal à se chauffer, et consacrent plus de 10 % de leurs revenus à leur facture de chauffage - est presque totalement éradiquée. Les émissions de polluants atmosphériques sont sensiblement diminuées. La consommation de matières premières (cuivre, clinker pour le ciment, fer, etc.) est elle aussi significativement réduite.**

**Le scénario négaWatt démontre que la transition énergétique est techniquement possible et économiquement souhaitable, en plus d'être socialement indispensable.** Face aux enjeux, elle n'est plus une option mais une impérieuse nécessité. Il faut désormais rapidement la mettre en œuvre, à l'échelle nationale et internationale comme au niveau local ! ■

si le bioGNV a lui aussi un rôle important à jouer et si une attention particulière doit être apportée sur la ressource disponible pour la fabrication des batteries (le cobalt et le lithium ne sont pas des matériaux très abondants). Dans la mobilité lourde, le bioGNV montre toute sa pertinence au regard de la solution électrique qui engendre une baisse de la charge utile des poids lourds. Enfin, la solution hydrogène, mise en avant par de nombreux acteurs ces derniers mois, présente encore de nombreux obstacles avant de pouvoir être déployée. Si elle pourra peut-être trouver une place d'ici à 2050, ce sera nécessairement en

complément des filières électricité et bioGNV beaucoup plus matures et plus accessibles.

L'industrie doit elle aussi voir ses processus s'électrifier pour réduire les consommations de gaz fossile et accroître ses performances énergétiques.

L'électricité a donc un rôle majeur à jouer dans les prochaines décennies, et ce dans tous les secteurs, en complément des autres sources renouvelables.

**Rappelons néanmoins que l'électrification seule ne suffira pas, la réduction des consommations d'énergie est un préalable indispensable, quel que soit le mix énergétique envisagé.**

## POUR EN SAVOIR +

Pour en savoir plus sur le scénario négaWatt 2017-2050 :

<https://negawatt.org/Scenario-negaWatt-2017-2050>

# La transition énergétique

/// L'adaptation nécessaire des territoires

## La transition énergétique et le G20

À l'automne 2021 se tiendra à Rome le sommet du G20 sous présidence italienne, ce sommet sera l'aboutissement d'une année de travail à différents niveaux politiques et techniques. Le Y20 auquel j'ai la chance de participer cette année est un de ces groupes de travail, le Y20 rassemble 60 jeunes de moins de 30 ans de l'ensemble des pays du G20. Les recommandations du Y20 seront remises en juillet 2021 au chef d'état du pays organisateur qui se chargera ensuite de les partager avec ses homologues.

**P**armi les priorités choisies pour le sommet de cette année par la présidence italienne nous retrouvons les enjeux climatiques et la nécessaire transition énergétique. Je tâcherai ici de vous présenter trois des priorités de la délégation française pour le sommet de cette année : réaliser une transition énergétique juste, réaliser une transition énergétique efficace, améliorer le financement des « énergies du futur ». D'autres sujets tels que la sobriété énergétique ou l'électrification des moyens de transport seront présentés au Y20 également, mais, étant moins sujets à débat je ferai le choix de ne pas en parler ici.

En espérant que cette rapide entrée en matière vous encouragera à participer au débat et pourquoi pas aux prochains sommets !

### Priorité : réaliser une transition énergétique juste

Aujourd'hui, dans le monde 84,3 % de la consommation d'énergie repose sur trois énergies fossiles carbonées : le pétrole, le charbon, le gaz. La nécessité de réduire la part de ces énergies fossiles au profit d'énergies moins émettrices de gaz à effet

**PARCOURS**



**Thibaut ATCHÉ**  
IMT Mines Alès, promo 2017

Il est délégué français au Y20 (G20 Youth Engagement Group) et responsable secteur commercial pour l'Afrique anglophone chez Camfil France.

de serre et moins néfastes pour la santé est en passe de devenir un consensus mondial. Cependant si la communauté internationale semble prendre conscience de l'impérieuse nécessité de « verdier » notre mix énergétique, la réduction des énergies fossiles dans notre consommation globale n'a été que d'un très insuffisant 0,5 % entre 2018 et 2019 et les exemples de nouveaux projets pétroliers ou de centrales à charbon ne sont pas rares.

Bien entendu les disparités sont très importantes entre les pays et les continents, si la France et certains pays dépourvus d'énergies fossiles carbonées dans leur sous-sol ont eu depuis longtemps à s'adapter et présentent aujourd'hui un mix énergétique (pour la production d'électricité, en excluant les transports) particulièrement « vert » il n'en va pas de même pour tous. A l'heure où j'écris ces lignes la France produit de l'électricité à 86g équivalent CO<sub>2</sub>/kWh quand l'Allemagne est à 330g eqCO<sub>2</sub>/kWh<sup>1</sup>.

Je céderai ici à une facilité française et prendrai l'exemple de l'Allemagne pour illustrer un propos qui serait d'autant plus vrai pour des pays tels que : le Mexique, la Russie, l'Arabie saoudite, la Chine, les USA, etc. En effet, si l'Allemagne ne ménage pas ses efforts pour réduire l'empreinte carbone de son mix énergétique<sup>2</sup> l'importance historique de l'extraction de charbon dans les bassins houillers de la Ruhr et de la Sarre a dans la dernière décennie freiné les efforts allemands pour verdier le mix énergétique du pays. L'enjeu est ici social avant tout, nous autres, élèves des écoles des mines sommes bien placés pour connaître les ravages sociaux que peuvent causer la fin de l'extraction de charbon dans une région qui en dépend majoritairement pour son économie (les Cévennes en sont un bon

1. <https://www.electricitymap.org/zone/FR>  
2. D'après wikipédia l'Allemagne se place en 2018 au 1<sup>er</sup> rang européen pour la production d'électricité éolienne : 111,6 TWh, soit 29,4 % du total de l'Union européenne.

exemple). Sous cet angle, nous apercevons la principale difficulté qui se dresse aujourd'hui sur le chemin de la transition énergétique : l'obstacle n'est pas tant technique que social et politique.

Dès lors que faire ? Afin de réussir cette transition énergétique il apparaît donc impératif de permettre aux populations qui dépendent de l'extraction d'énergies fossiles de se reconverter dans d'autres industries. De nombreuses solutions existent et d'autres sont encore à trouver, et si aucune solution ne saurait être suffisante à elle toute seule je voudrais pour ma part en présenter une qui me tient particulièrement à cœur.

Partant du constat que la croissance infinie du PIB apparaît de plus en plus comme un mythe qu'il convient de réinventer, que l'industrie manufacturière repose aujourd'hui sur la satisfaction de « besoins superflus », il semblerait que seule la science permettrait de donner un objectif commun à l'Humanité sans détruire la seule planète que nous habitons. Ainsi, pourquoi ne pas investir massivement dans des projets « megascience » localisés dans des régions en reconversion industrielle telle que les Cévennes autrefois et aujourd'hui la Ruhr allemande, le Texas et bien d'autres ? Ces projets megascience de l'envergure d'un CERN ou d'un ITER, capables de mobiliser des filières industrielles importantes et diversifiées, porteraient sur des thématiques d'avenir indispensables à la survie de l'humanité.

C'est pourquoi, une des propositions que la délégation française défendra devant les leaders du G20 sera l'indispensable reconversion rapide d'une partie des travailleurs de l'industrie des énergies fossiles vers des métiers liés à la transition énergétique au travers de projets scientifiques d'envergure. Ces projets pourraient mobiliser 1 % du PIB mondial d'ici 2050.

## Priorité : réaliser une transition énergétique efficace

Nous l'avons vu, réaliser une transition énergétique rapide n'est pas une mince affaire. Les enjeux ne sont pas uniquement techniques mais aussi sociaux et politiques et la moindre confusion entre ces trois paramètres peut freiner considérablement nos efforts pour réduire les émissions de gaz à effet de serre.

En Europe et dans le monde les Etats redoublent de créativité pour résoudre l'équation compliquée qu'est l'accroissement de la consommation en énergie dans un contexte de transition énergétique urgente. Un des outils pour piloter ce jeu d'équilibriste porte le nom de « taxonomie verte », en Europe une entreprise peut prétendre à ce label vert si ses activités émettent moins de 100g d'équivalent CO<sub>2</sub> par kWh consommé ou si ses activités sont jugés « transitoires » ou « habilitantes »<sup>3</sup>. Aujourd'hui le statut de l'énergie nucléaire fait encore débat malgré un bilan carbone estimé à 12g eq CO<sub>2</sub> par le GIEC au niveau international et à 66g eq CO<sub>2</sub> par l'ADEME en France. Nous verrons dans les quelques paragraphes qui suivent que le débat autour du nucléaire illustre parfaitement le danger que représente la confusion entre décision politique et décision technique dans notre lutte contre le changement climatique.

Si les reproches faits au nucléaire ont parfois évolués au cours des décennies, nous retiendrons deux critiques majeures faites au nucléaire et qui sont applicables dans le monde entier<sup>4</sup> : sa dangerosité et l'impact environnemental des déchets radioactifs.

Alors qu'en est-il vraiment ? Considérant la dangerosité du nucléaire regardons les chiffres. Le nucléaire (catastrophes majeures comprises) causerait ainsi 0,07 mort par TWh produit, comparable au 0,04 mort par TWh produits par l'énergie éolienne. Ces chiffres sont bien inférieurs au bilan des énergies carbonées qui s'établit à 2,82 morts (soit 40 fois plus) pour le gaz ou à 24,62 pour le charbon<sup>5</sup>. Pour un pays comme la Belgique, remplacer le parc nucléaire par 50 % d'énergie renouvelables et 50 % de gaz revient à tuer environ 44 personnes chaque année (16 TWh \* (2,82-0,07) = 44), soit l'équivalent de l'ensemble des étudiants de deux classes préparatoires distinctes.

Parlons déchets nucléaires, ici deux solutions sont mises en avant par les acteurs de la filière nucléaire : la première, peu élégante mais néanmoins simple et efficace, consiste à ensevelir les déchets à 500 mètres de profondeur dans un ensemble géologique sans intérêt économique et ayant une stabilité physique de l'ordre de plusieurs centaines de millions d'années<sup>6</sup>.

La deuxième solution consiste à recycler les déchets les plus dangereux dans des réacteurs nucléaires dits de 4<sup>ème</sup> génération comme Astrid en France ou encore les deux réacteurs BN en Russie (les USA et la Chine ne sont pas en reste). Cette solution aurait le mérite de brûler plus de 90 % des déchets à longue durée de vie tout en mettant fin à l'extraction d'uranium naturel (la France pourrait s'auto-alimenter avec les stocks de déchets actuels pendant des centaines d'années)<sup>7</sup>. Il apparaît donc ici que le problème des déchets n'est donc pas scientifique mais plutôt idéologique et il appartient au débat politique de trancher, non pas sur la dangerosité de ces déchets que l'on saurait gérer, mais plutôt sur l'opportunité d'enfouir pour toujours et très profondément une quantité définie et contrôlée d'éléments radioactifs.

Bien que le nucléaire ne soit pas adapté à tous les pays et toutes les situations, le bilan technique après 70 ans d'existence et malgré deux accidents d'envergure apparaît donc favorable à cette énergie, tant du point de vue de la santé que de l'impact environnemental<sup>8</sup> et climatique. Pourtant, la confusion entre réalité physique et débat idéologique entrave les efforts indispensables à la transition énergétique en brouillant la frontière entre priorités politiques et techniques. Il est de la responsabilité des élus de recentrer le débat sur des enjeux politiques (moins de carbone, de la sécurité, oui ou non des déchets nucléaires... etc.) et de fixer les objectifs à attendre par la communauté scientifique.

La délégation du Y20 portera donc le message que face à une crise urgente et complexe nous appelons les politiques à agir avec humilité et en concertation avec les experts scientifiques. Nous appelons les responsables politiques à décorréliser les débats idéologiques (acceptons nous d'enterrer de manière sûre des déchets nucléaires ?), des débats techniques (peut-on enterrer de manière sûre des déchets nucléaires ?). Nous demanderons donc à ce que les décisions liées à la taxonomie des énergies soient fondées sur des faits scientifiques démontrés, au regard des critères que le débat politique et idéologique aura retenu.

3. <https://www.touteleurope.eu/environnement/climat-quest-ce-que-la-taxonomie-verte-europeenne/>

4. On exclut le coût et les délais de construction, sujet très français et non applicable à des pays tels que la Chine, la Russie et les USA.

5. <https://ourworldindata.org/safest-sources-of-energy>

6. <https://international.andra.fr/solutions-long-lived-waste/cigeo>

7. Les réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération ne sont cependant pas considérés comme économiquement intéressants avant au moins 2050 au regard du faible cours actuel de l'uranium.

8. Etat de la biodiversité dans la zone d'exclusion de Tchernobyl : <https://zapovednik.by/en/nauka/struktura-nauchnoj-chasti/otdel-ekologii-fauny>

# La transition énergétique

/// L'adaptation nécessaire des territoires

## Priorité : améliorer le financement des « énergies du futur »

Au travers des deux priorités précédentes nous avons esquissé quelques mesures applicables dès aujourd'hui. Mais les challenges que nous aurons à affronter d'ici la fin du siècle ne sont pas tous connus et les solutions aux problèmes actuels pas toujours prêtes. Nous avons évoqué rapidement des projets scientifiques comme ITER, ASTRID, CIGEO, tous liés aux technologies nucléaires. Si les réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération et la fusion nucléaire auront un rôle important à jouer d'ici la fin du siècle il conviendrait de ne pas oublier la seconde jambe de la lutte contre le changement climatique, à savoir les énergies renouvelables (en 2019 les énergies renouvelables représentaient 11,4 % contre 4,3 % pour le nucléaire dans la consommation d'énergie primaire au niveau mondial<sup>9</sup>).

Le nucléaire n'est pas une énergie parfaite et certains pays décident de s'en passer. La France elle-même a fait le choix de réduire sa dépendance au nucléaire, cependant face aux insuffisances actuelles des énergies renouvelables cette réduction s'est faite

au prix d'une augmentation des émissions de CO<sub>2</sub>, espérons-le ponctuelle. Pourtant la volonté de recourir davantage aux énergies renouvelables est légitime, que ce soit pour des raisons économiques, techniques ou idéologiques. Dès lors, la performance des énergies renouvelables apparaît comme un enjeu crucial de la transition énergétique.

En 2019 en France l'effort public de recherche et développement en énergie atteint 1 163 millions d'euros (2/3 pour le nucléaire, 1/3 pour le renouvelable), soit une progression de 5 % par rapport à 2018.<sup>10</sup> Cette tendance est positive et la France fait partie des meilleurs élèves au niveau mondial, il n'en reste pas moins que trouver des financements pour de la recherche et développement pour ces projets est encore compliqué, de nombreux projets sont revus à la baisse voire annulés. Face à l'ampleur

de la crise à venir, les Etats doivent dès aujourd'hui actualiser leurs priorités et s'investir plus fortement dans le financement de projets d'avenir et parfois incertains donc désertés par les capitaux privés.

La délégation française au Y20 demandera ainsi aux leaders du G20 de porter la part des financements publics de R&D consacré aux énergies « vertes » à au moins 10 % (contre 5 % en France aujourd'hui par exemple) à l'horizon 2030.

## Pour conclure, que vous soyez d'accord ou pas, faites entendre votre voix

La délégation française du Y20 n'est pas élue, et ses membres n'ont pas la prétention de représenter la jeunesse française dans son ensemble.

Si deux idées doivent être retenues du message que nous voulons porter au sommet du G20 il s'agirait des suivantes :

- 1/ même face à la crise, nous ne pouvons pas nous permettre de négliger ceux qui souffrent de la transition en cours,
- 2/ les outils qui nous permettront de surmonter cette crise sur le long terme ne sont pas encore prêts et les efforts de recherche doivent être renforcés sans attendre.

Pour participer aux réflexions voire au sommet de l'an prochain, je vous invite à suivre le lien suivant : <https://www.open-diplomacy.eu/>; ou à me contacter directement sur LinkedIn.

Quoiqu'il en soit, le Y20 n'est qu'une plateforme parmi d'autres et pour citer Etienne Klein, il est temps que les ingénieurs donnent de la voix ! ■

9. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy/primary-energy.html>

10. [https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-09/datafab\\_essentiel\\_225\\_depenses\\_rd\\_energie\\_2019\\_septembre2020.pdf](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2020-09/datafab_essentiel_225_depenses_rd_energie_2019_septembre2020.pdf)



Incendie - Informatique - Intrusion

16, rue Raoul Mortier ■ Zone de Beauregard ■ 86190 VOUILLE  
06 07 16 77 33 ■ [eg3i@orange.fr](mailto:eg3i@orange.fr)

# La transition énergétique en **Australie**

Photovoltaïque, éoliennes, stockage d'énergie, hydrogène vert... ces termes vous sont-ils familiers ? La transition énergétique s'inscrit au cœur de la transition écologique, qui devient également une priorité ici... à l'autre bout du monde.

L'Australie a longtemps été un mauvais élève en matière d'énergies renouvelables mais est enfin entré dans la course pour rattraper son retard. Il y a 10 ans, plus de 90 % de l'électricité australienne était produite à partir de charbon et de gaz. En 2019, ce chiffre est passé sous la barre des 80 %, grâce à une percée flamboyante du solaire et de l'éolien sur le continent.

La transition énergétique est en marche !

## Pourquoi cet engouement soudain ?

Certainement pas une volonté politique ! En effet, le gouvernement australien est étrangement conservateur sur le sujet, et timides sont les aides au développement de cette industrie. Malgré le rattachement de l'Accord de Paris sur le climat, le Premier ministre actuel, Scott MORRISON, et le ministre de l'Énergie continuent de soutenir et de favoriser les lobbyistes de l'industrie charbonnière et gazière.

Heureusement, les turbines éoliennes ne cessent de s'améliorer et le coût des panneaux solaires photovoltaïques a été divisé par 25 sur les 20 dernières années. Résultat : Les coûts moyens actualisés de l'énergie solaire et éolienne sont devenus les plus compétitifs du marché australien et le nombre d'installations a explosé. Plus besoin de subvention, des investisseurs, développeurs de projets et constructeurs du monde entier se bousculent pour obtenir une part du gâteau.

Certaines centrales à charbon et à gaz vieillissantes n'arrivent plus à rivaliser contre les bas prix de l'électricité verte injectée sur le réseau et sont forcées de fermer prématurément. La diminution du coût de l'électron se fait déjà ressentir sur la facture du consommateur final.

## PARCOURS



**Philippe METZ**

IMT Mines Alès, promo 2013

Il est Ingénieur solaire et analyste de mission Maverick chez 5B.

Le scénario est gagnant-gagnant : Moins de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère pour une électricité moins chère et un système plus durable !

## À quand le 100 % renouvelable ?

Une transition énergétique ne s'opère pas du jour au lendemain.

Comme vous le savez, le solaire et l'éolien sont des sources d'énergie intermittentes, et par conséquent, elles fluctuent en fonction de l'ensoleillement et l'énergie cinétique du vent. Un réseau électrique peut communément accepter un taux de pénétration solaire-éolien entre 20 et 30 %. Au-delà, il est nécessaire de penser une gestion intelligente du réseau afin de limiter la dépendance de notre consommation vis-à-vis des conditions météorologiques.

Bonne nouvelle : de nombreuses solutions existent. Le stockage d'énergie en fait partie, et peut être implémenté via cinq vecteurs principaux. Le plus populaire est le vecteur électrochimique avec les batteries, dont les progrès technologiques récents ont été catalysés par la croissance du marché des véhicules électriques. Les batteries suivront la même tendance de diminution des coûts de production que les panneaux photovoltaïques. Nous les voyons déjà apparaître dans les foyers, ou en complément de fermes solaires/éoliennes afin de lisser leur production d'électricité, et ainsi permettre une augmentation de leur proportion dans le mix énergétique. Des batteries sont également installées de manière autonome à des endroits stratégiques du réseau, car elles ont la capacité d'offrir un grand nombre de services pour en optimiser le fonctionnement et la stabilité.

# La transition énergétique

/// L'adaptation nécessaire des territoires



Les quatre autres vecteurs de stockage d'énergie sont :

- Thermique
- Cinétique (ex : volant d'inertie)
- Gravitaire (ex : pompage hydraulique)
- Chimique (ex : hydrogène)

Et ouvrent la voie à une multitude de possibilités et de nouveaux modèles économiques.

## L'Australie au cœur de la transition énergétique en Asie-Pacifique

L'Australie dispose de l'un des meilleurs productibles solaires au monde et d'une

superficie proche du double de celle de l'Union Européenne. En théorie, elle pourrait donc accélérer la transition en décarbonant le mix énergétique de pays qui n'auraient ni la surface, ni de semblables conditions d'ensoleillement, via l'export d'énergie verte.

Science-fiction ou réalité ? Plusieurs projets sont déjà en cours de développement !

Par exemple, « Suncable » a pour ambition de connecter le réseau électrique singapourien à une gigantesque ferme solaire de 14GW (soit environ dix fois plus grande que le record mondial actuel) dans le désert australien via un câble sous-marin de 3 800km. Une équipe d'une trentaine d'ingénieurs travaille déjà à temps plein sur son développement pour un démarrage prévu en 2024. À 5B, nous sommes également impliqués sur Suncable, car notre technologie innovante

de structure solaire a été présélectionnée pour le projet !

Un autre exemple : le « Asian Renewable Energy Hub », qui prévoit de générer puis d'exporter de l'hydrogène « vert » sur le continent australien et à l'international à partir d'une centrale hybride solaire-éolienne de 26 GW dans le désert du Pilbara. Le Japon et la Corée du Sud ont d'ores et déjà exprimé leur intérêt pour l'importation d'hydrogène australien.

Comme vous le voyez, le progrès industriel et l'audace de certains visionnaires ont rapidement propulsé l'Australie au rang d'espoir international en matière de transition énergétique. De nombreux défis technologiques restent bien sûr à résoudre, mais chaque défi représentant une nouvelle opportunité à saisir... qu'attendez-vous pour nous rejoindre dans la course ? ■



# Atteindre la **neutralité carbone** en 2050 demande de **repenser** **notre approche de l'énergie**

## Ce que m'a appris l'arctique canadien

La crise climatique que nous traversons aujourd'hui découle en partie de notre façon d'aborder l'énergie : essayer de résoudre les problèmes les uns après les autres sans avoir une vision transversale et intégrée de la situation. Sortir de cette crise nécessite de traiter les problèmes avec un œil nouveau, c'est ce que j'ai appris en travaillant sur un projet de simulation de solutions de décarbonisation pour 75 communautés Inuits dans le nord du Canada.

**A**u Canada, il existe de très nombreuses communautés autochtones dont l'origine sur le territoire remonte bien avant l'arrivée des premiers colons français et anglais. Ces communautés se caractérisent par leur éloignement des grands centres urbains et par le peu d'accessibilité aux ressources nationales, dont le réseau électrique. Si elles possèdent leurs propres installations électriques, leur alimentation par des centrales au diesel se révèle très polluante. Pour ces communautés éloignées et touchées par une précarité socio-économique - découlant de problèmes historique, politique ou encore culturel - le pétrole a depuis longtemps remplacé les huiles tirées de la pêche pour s'éclairer et se chauffer. Transportable, stockable, sécuritaire et d'une grande densité énergétique, le pétrole fournit des garanties à un prix bien plus faible que les autres. En brûlant ce pétrole, les communautés participent au réchauffement climatique malgré son impact notoire sur leur mode de vie. En effet, le réchauffement climatique est au

### PARCOURS



**Fabien MAISTRE**

IMT Lille Douai, promo 2018

Il travaille comme ingénieur junior en transition énergétique chez SG2B.

cœur des phénomènes qui exacerbent la précarité des communautés, formant un malheureux cercle vicieux. La fonte de la banquise, source de nourriture, en est l'exemple le plus symbolique.

### Avoir une vision globale

Partant de ce constat, beaucoup d'efforts ont été faits ces dernières années pour tenter d'intégrer des énergies renouvelables au réseau existant, sous le concept de micro-réseau. Mais sans une approche intégrée, qui permettrait d'identifier des solutions couplant réseaux électriques, réseaux de chaleur et efficacité énergétique des bâtiments, les options testées ne sont pas optimales.

Une solution que nous avons envisagée pour réduire la consommation de pétrole était l'installation des éoliennes à proximité des communautés. Cependant, dans de nombreux cas, le parc éolien produirait plus d'électricité que la communauté n'en consomme. Stocker le surplus d'électricité dans des batteries augmenterait considérablement le coût du projet, rendant l'option non viable économiquement. Avec ma société SG2B,

# La transition énergétique

## L'adaptation nécessaire des territoires

nous avons alors développé un scénario biénergie où le trop plein d'électricité renouvelable alimenterait en chaleur les habitations. Une autre avenue serait d'utiliser ce surplus d'énergie pour chauffer des serres communautaires, diversifiant ainsi leurs sources d'alimentation et assurant une production locale de produits frais, actuellement importés à un coût prohibitif par avion.

## La tarification carbone

De nombreux projets d'énergie renouvelable étaient techniquement possibles pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, mais trop peu d'entre eux étaient rentables par rapport aux projets fonctionnant aux énergies fossiles. En effet, les conditions climatiques difficiles –6 mois sans soleil– et les difficultés d'intégrer des énergies renouvelables sur les réseaux au diesel existants, rendaient l'implémentation de tels projets compliquée et trop chère. Cependant, il existait un biais dans l'évaluation des projets car l'impact des externalités liées au carbone n'était pas pris en considération. Pour mesurer ces impacts, une méthode de plus en plus employée à travers le monde est la tarification carbone. Un coût est associé à chaque tonne de carbone émise dans l'atmosphère. Cette tarification carbone qui peut prendre la forme d'une taxe ou d'un marché commun sur le carbone, est devenue une pierre angulaire dans le développement des projets d'énergies

renouvelables. Au Canada, une taxe de 40 \$CA/tonne de CO<sub>2</sub> est actuellement en vigueur et elle devrait progressivement augmenter durant les années à venir pour atteindre 170 \$CA/tonne en 2030. Si de nombreux projets renouvelables ne sont aujourd'hui pas rentables par rapport à des projets liés aux énergies fossiles, la prise en compte du coût réel des émissions carbone sur nos sociétés et sur l'environnement, permettrait d'avoir une comparaison plus juste.

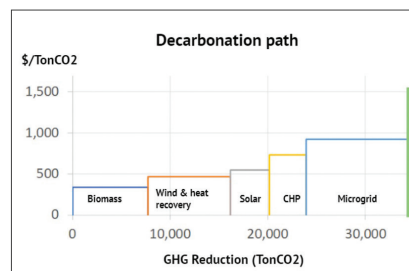
C'est ainsi que lors de notre projet concernant les communautés Inuits, nous avons appliqué une taxe carbone de 50 \$CA par tonne de CO<sub>2</sub>. Cette tarification a permis de rendre rentables des projets comme une petite centrale solaire par rapport à la production d'électricité avec des génératrices au diesel.

## Choisir le meilleur projet

Lors de notre recherche de solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre des communautés, de nombreux projets étaient envisageables, mais comment déterminer le "meilleur projet" ?

Si d'un point de vue financier c'est la rentabilité qui prime, pour un projet de réduction de gaz à effet de serre, l'élimination du carbone devrait aussi être prise en compte dans le processus de sélection.

La courbe d'abattement (voir ci-dessus) est un graphique qui compare les projets



↑ Courbe d'abattement pour une sélection de projets en conditions arctiques

selon la réduction de GES par dollar investi. Dans ce cas-ci, le meilleur projet est celui qui possède le plus petit \$/tonne de CO<sub>2</sub> évité et les projets rentables possèdent un \$/tonne de CO<sub>2</sub> négatif.

Nous avons utilisé cette méthode de comparaison pour retenir les projets avec les plus faibles en \$/tonne de CO<sub>2</sub>. Après simulation de plus de 12 projets de technologies différentes, ceux qui ont été retenus, sont ceux qui utilisaient cette approche : la mise en commun des besoins de chaleur de la communauté ou encore éolienne couplée avec un réseau de chaleur.

## Conclusion

L'atteinte des objectifs mondiaux de neutralité carbone pour 2050 est, selon moi, envisageable, mais nécessitera, entre autres, de repenser notre manière d'aborder nos problèmes et nos solutions.

Le projet réalisé pour les communautés Inuits a permis de mettre en lumière qu'une réflexion basée sur une vision compartimentée des énergies ne permettait pas de résoudre le problème énergétique dans son ensemble. Une approche globale de la situation permettait d'apporter des solutions optimales pour les besoins des populations tout en respectant l'environnement.

SG2B, l'entreprise avec laquelle j'ai réalisé le projet des communautés Inuits, partage la même vision que moi. Nous développons actuellement une plateforme informatique appelée Alterum sur laquelle les villes pourront inviter leurs citoyens et les entreprises à se connecter et à participer aux projets de la municipalité pour réduire les gaz à effet de serre. Ainsi tous pourront voir les efforts réalisés par la ville et le chemin qu'il reste encore à parcourir pour atteindre la neutralité carbone. ■



↑ Communauté de Pangnirtung  
Source image : David Kilabuk (Photographe), Pangnirtung [image numérique], récupérée sur l'article de CBC News, Power not yet fully restored to Pangnirtung, le 02 avril 2015.  
<https://www.cbc.ca/news/canada/north/power-not-yet-fully-restored-to-pangnirtung-1.3019117>

- Spécialisée dans le Terrassement, les Voiles par passes et le Gros-œuvre, nous sommes fiers aujourd'hui, après 4 ans d'expérience, de collaborer avec SEPIMO, LE GROUPE E. DENIS, LNC, LE GROUPE AVALLI, etc..
- Nous mettons tout en œuvre pour satisfaire nos Clients et réaliser les travaux qui nous sont confiés avec une équipe de 2 conducteurs de travaux, 5 chefs de chantiers, 6 maçons, 4 ferrailleurs, 1 finisseur, 1 chauffeur camion benne, 1 chauffeur porteur bras et une équipe administrative.
- Notre dépôt situé dans l'Oise nous permet de stocker nos banches, nos poutrelles, nos pelles 13T et 25T, nos trémies, nos bennes à béton et à terre



## Quelques références

<p><b>GAGNY</b> 6-8 rue Aristide Briand</p>		<p>Construction de 34 Logements et 2 locaux commerciaux R+6 sur 2 niveaux de sous-sol Terrassement - VPP - Superstructure BA</p>
<p><b>PARAY VIEILLE POSTE</b> 5 avenue de Verdun</p>		<p>Construction de 30 logements R+3 sur un niveau de sous-sol Terrassement - VPP - superstructure BA</p>
<p><b>RAMBOUILLET</b> Avenue Sadi Carnot</p>		<p>Construction de 4 bâtiments - 52 logements R+3 sur 1 niveau de sous-sol Terrassement - VPP - superstructure BA</p>
<p><b>CHOISY LE ROI</b> Impasse Rosa Parks</p>		<p>Construction de 30 logements R+6 sur un niveau de sous-sol Terrassement - VPP - Superstructure BA</p>
<p><b>LIMAY</b> 14 rue JL Duvivier</p>		<p>Construction de 30 logements R+6 sur un niveau de sous-sol Terrassement - VPP - Superstructure BA</p>



# Et si tout le monde était bien logé ?

## ALILA

Cité internationale  
63-67 quai Charles de Gaulle  
69463 LYON cedex 06

Tel : 04 72 18 95 95

alila.fr



**NOUS ACHETONS  
VOTRE TERRAIN  
AU MEILLEUR  
PRIX !**



## Entreprise de construction spécialisée Gros Œuvre

depuis 1994

“ Fondée en 1994, Plamon et Cie est une entreprise familiale du BTP reconnue pour sa rigueur et son savoir-faire. Animés par une volonté d'efficacité, mes équipes et moi-même, nous engageons à vos côtés afin de réaliser dans les règles de l'art les missions qui nous sont confiées.

Ayant à cœur de proposer des prestations de qualité, mes équipes qu'elles soient sur le terrain ou dans les bureaux, vous apporteront dans un esprit de coordination un travail soigné.

Notre disponibilité et notre capacité de réaction immédiate satisferont nos clients.

Nicolas Monniot - Gérant ”

### - NOS OPÉRATIONS EN COURS À GAGNY -



**Villa Rubis**

ALILA PROMOTION  
Construction de 51 logements



**Villa Ambre**

ALILA PROMOTION  
Construction de 92 logements



**Le Carré Mansart**

NEXITY IR programme Grand Paris  
Construction de 43 logements

*N'hésitez pas à nous contacter...*



**PLAMON ET CIE**



179 allée Montfermeil 93220 Gagny



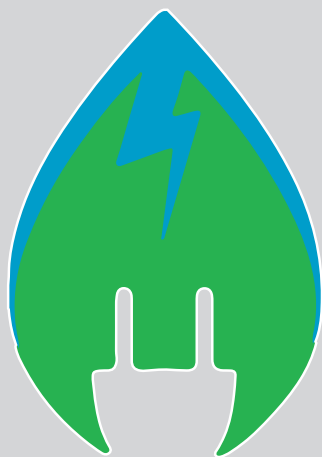
01 43 01 32 33



contact@plamon.fr



Plamon & cie



SPB ELEC

Electricité  
*Installation neuves*  
*Réhabilitation*  
*Domotique / Courants faibles*  
*Entretien /Dépannage particuliers*

*Ensemble,  
pour réussir !*

ZAC des portes de l'Oise, rue Léonard de Vinci, 60230 CHAMBLY  
01 30 28 20 52 - [contact@spb-elec.com](mailto:contact@spb-elec.com)

## Les minerais et la transition écologique

### Transition écologique : quelles implications pour l'activité « minerais et matériaux » ?

L'application de l'accord de Paris est maintenant lancée, dans les sphères publiques comme dans les entreprises. Si initialement elle semblait concerner surtout l'activité des combustibles fossiles, les études faites sur ce qu'est une société décarbonée montrent que les implications pour les différents matériaux et minerais vont beaucoup plus loin. C'est en particulier le cas de l'étude **ZEN 2050, imaginer et construire une France neutre en carbone**<sup>1</sup>, publiée en 2019 par l'association, suite à dix-huit mois de travail entre experts et entreprises qui ont mis en commun leurs données, questions et réflexions.

L'étude part de la description de modes de vie « bas carbone » pour différents types de ménages, selon leur motivation à changer mais aussi leurs émissions de départ, s'interroge sur les changements dans les grands systèmes que supposent ces modes de vie, puis sur les solutions qui pourraient être déployées assez largement et rapidement. Enfin, elle ébauche des conditions de succès de la transformation écologique, et formule des recommandations à destination de différents acteurs, dont les entreprises et les pouvoirs publics.

1. <http://www.epe-asso.org/>

2. <http://www.epe-asso.org/zen-2050-imaginer-et-construire-une-france-neutre-en-carbone-mai-2019/>

### PARCOURS



**Claire TUTENUIT**

Corps des Mines, promo 1981

Elle est Déléguée générale de l'Association française des Entreprises pour l'Environnement<sup>1</sup>.

### Quels changements dans les modes de vie ?

Une réduction des émissions de près de 5 % par an, y compris les émissions diffuses, prend tout son sens quand l'on se rappelle que la réduction des émissions en 2020 du fait du Covid a été de 7 % seulement, malgré ce qui a été un arrêt de nombreux secteurs de l'économie pendant de longs mois. Une réduction de 5 % par an est comparable au rythme de fermeture des activités des charbonnages français dans les années

70 et 80, avec une différence : elle concerne des activités beaucoup plus nombreuses que le charbon, réparties sur

l'ensemble du territoire, et surtout l'activité des ménages et pas seulement celles des entreprises :

par exemple, réduire les émissions des transports automobiles de 5 % par an veut dire un passage extrêmement rapide aux véhicules électriques et aux mobilités douces.

De même, les changements dans le logement sont accélérés : rénovation complète de l'ensemble du parc existant, ralentissement de l'étalement urbain par la densification de l'habitat au lieu de l'actuelle construction pavillonnaire, et bien entendu changement de certains modes constructifs avec davantage de bois en remplacement de ciment.

L'alimentation a une part importante par la réduction de moitié de la consommation de viande, qui réduit les émissions de l'élevage et libère des terres pour des cultures autres qu'alimentaires, matériaux ou énergie.

Enfin bien entendu la consommation se réduit en volume de biens, au profit des services et d'une économie beaucoup plus circulaire, où l'usage remplace la possession de nombreux biens, où les produits sont réparables... et réparés...

### Quels changements dans les systèmes techniques et les secteurs ?

Ces changements dans nos modes de vie ont des conséquences sur les systèmes techniques et l'ensemble des

structures industrielles. Nombre de process industriels s'électrifient pour réduire le recours aux fossiles, l'hydrogène vert apparaît comme vecteur pour cette énergie ; la mobilité se transforme avec une électrification accélérée mais aussi un recours plus large aux modes doux, compatible avec la densification de l'habitat. Une part de la chaleur vient de la biomasse, déchets compris.

Les émissions industrielles se réduiraient de 70 %, de 80 Millions de tonnes équivalent CO<sub>2</sub> (MteCO<sub>2</sub>) à moins de 18 MteCO<sub>2</sub>, un peu moins que celles de la France (-90 %) car il est possible de capter et stocker le gaz carbonique des process industriels. Ceci n'est possible qu'avec une efficacité énergétique et industrielle fortement accrue, y compris à des niveaux systémiques. La transformation des minerais est émettrice de CO<sub>2</sub>, que ce soit le fer, l'aluminium, le ciment, à la fois par la réduction du minerai et par l'apport énergétique qu'exigent ces réactions chimiques au sein de la matière. La réduction des émissions passe donc par une réduction des volumes en jeu, donc beaucoup d'innovation technologique et organisationnelle.

## Quelles conséquences sur les matières premières ?

Les consommations de matériaux neufs, donc de minerais, devraient ainsi être réduites, pour différentes raisons : l'écoconception devrait permettre de faire durer les produits plus longtemps, le recyclage devrait fournir davantage de matières premières secondaires au marché ; la rénovation consomme moins de matériaux que la construction neuve, de bâtiments ou d'équipements; enfin le recours à la capture et stockage du gaz carbonique, nécessaire à la réduction des émissions industrielles ou de production d'électricité, renchérit leur coût et réduira les volumes appelés.

En revanche, les changements dans les systèmes énergétiques, et en particulier l'électrification, auraient des conséquences sur la demande en métaux rares et autres matières nécessaires à la production d'énergies renouvelables et surtout à leur stockage ; la concurrence et l'innovation dans ce domaine sont d'ailleurs déjà vives.

Enfin, le stockage souterrain du CO<sub>2</sub> est une activité dans laquelle l'industrie parapétrolière investit déjà massivement, car elle fait appel à des compétences similaires à l'exploitation pétrolière. Le sous-sol profond n'a pas fini d'être sollicité !

## Une transformation plus qu'une transition

La rapidité de ces changements, si l'on veut tenir le rythme de décarbonation auquel la France s'est engagée par l'accord de Paris, suggère le terme de « transformation » plutôt que celui de transition. Cette transformation serait plutôt favorable à l'emploi, il s'agit de mettre beaucoup d'intelligence pour éviter la consommation d'énergie et de matériaux. Elle appelle l'engagement de tous, en particulier celui des ingénieurs, pour une nouvelle phase dans l'évolution de l'industrie, face à un défi majeur que nombre d'entre nous s'attendent déjà à relever. Les alumni des Mines sont d'ailleurs particulièrement nombreux à se mobiliser pour cette « race to zero » qui va monter dans l'agenda de cette année jusqu'à la COP26 de novembre à Glasgow <sup>3</sup>. ■

3. <https://unfccc.int/process-and-meetings/conferences/glasgow-climate-change-conference>



### ETRE LA POUR VOUS LORSQUE VOUS AVEZ BESOIN DE NOUS

Mesures d'urgence après un incendie ou dégât des eaux, BELFOR est l'interlocuteur dont vous avez besoin ! Nos équipes sont à vos côtés pour assainir rapidement et efficacement afin de tout remettre en état. Nous appliquons toutes les actions nécessaires pour limiter les dégâts sans perdre de temps.

Nous intervenons 24 / 7 / 365, dans les 24 à 48 heures suivant l'incident, où que vous soyez et quelle que soit la difficulté de la situation.

Appel d'urgence 24h / 24h : **0825 88 18 18** ou au **info@fr.belfor.com**

DECONTAMINATION SOLUTIONS  
RENOVATION SOLUTIONS  
TECHNOLOGY SOLUTIONS  
ENVIRONMENTAL SOLUTIONS

**BELFOR**

# La transition énergétique

Les réponses des entreprises



Article publié initialement sur LinkedIn le 13 avril 2021

ARTICLE ORIGINAL

## Oui, les **actionnaires** ont un rôle décisif

Toujours convaincue que la question de l'environnement est l'affaire de chacun d'entre nous, et qu'une entreprise se doit d'embarquer dans sa démarche l'ensemble des partenaires de son écosystème, je voudrais me concentrer sur une partie prenante dont on commence à mesurer l'importance dans cette dynamique collective : je veux parler des actionnaires.

L'actualité m'en fournit l'occasion. Le 8 avril, lors de son assemblée générale, VINCI a demandé à ses actionnaires de se prononcer sur sa politique environnementale. C'était la première fois en France qu'une entreprise du CAC40 soumettait une « résolution climatique » au vote de ses actionnaires – un vote consultatif, sur le mode *say on climate* comme disent les Anglo-saxons. **La préservation de la planète est donc désormais abordée en même temps que les questions de résultats financiers ou de dividende – quel symbole !**

Une telle initiative revient à mettre l'environnement au cœur de la stratégie. On n'aborde pas avec les actionnaires et les investisseurs des sujets secondaires. On leur demande d'approuver les grandes orientations de l'entreprise. Leur présenter une telle résolution, c'est donc, pour celui qui l'émet comme pour ceux qui la votent, reconnaître l'importance essentielle du sujet. Autrement dit, la stratégie environnementale n'est plus un à-côté de la stratégie business : elle en est une composante à part entière ; elle détermine même, pour une large part, l'avenir des business de l'entreprise.

Parler environnement à des investisseurs ? Je vois d'ici certains froncer les sourcils, en invoquant l'antagonisme entre recherche du profit et responsabilité sociétale de l'entreprise. Cette supposée contradiction, à mon sens, n'a plus cours. En témoigne le vote de nos actionnaires, qui ont **soutenu à 98,14 % le plan environnemental** que nous leur avons présenté. Dans la foulée, le même jour, le cabinet Axylia, qui a créé l'indice Vérité 40 – une sorte de



CAC40 qui mesure la performance des entreprises retraitée de leurs émissions carbone – nous a attribué la note B, soit la meilleure des entreprises du secteur de la construction. Un signal positif du même ordre nous a été donné ces derniers mois quand nous avons lancé notre première obligation verte, ou green bond, souscrite plus de cinq fois.

**Tout cela signifie que les investisseurs, aujourd'hui, soutiennent clairement les entreprises qui s'engagent dans des projets porteurs d'un impact positif sur l'environnement.** Après tout, actionnaires et investisseurs sont aussi des citoyens. Ils sont pleinement conscients de la nécessité d'agir pour la préservation de la planète – et pour l'avenir des femmes et

des hommes qui y vivent –, en s'emparant du sujet à l'échelle des États et des acteurs économiques comme des individus, dans notre vie quotidienne.

Cette implication positive des actionnaires et des investisseurs rejoint une conviction profondément ancrée dans notre projet collectif, chez VINCI : **Performance économique et environnementale ne s'opposent pas : au contraire, elles convergent**, à condition de raisonner sur le temps long. En l'occurrence, le temps long de nos métiers de bâtisseurs, dont les réalisations façonnent durablement les villes et les territoires, et qui ont un rôle essentiel à jouer dans la transition écologique. En somme, la pérennité de nos entreprises rejoint celle de la planète, dès lors que nous sommes prêts à nous engager résolument dans la transformation environnementale de nos activités, avec l'ampleur et le rythme qu'exige l'urgence climatique.

**C'est sur ce grand projet collectif et les engagements qui l'accompagnent que nous avons demandé à nos actionnaires de se prononcer – et je crois pouvoir dire qu'ils sont ambitieux.**

Organisé autour de trois axes prioritaires, notre plan environnemental prévoit notamment :

- d'agir pour le climat, notamment par la réduction de nos émissions directes de gaz à effet de serre de 40 % en 2030 par rapport à 2018 ;
- d'optimiser les ressources grâce à l'économie circulaire, c'est-à-dire de réduire notre dépendance aux ressources naturelles et de systématiser la valorisation de nos déchets ;
- de préserver les milieux naturels, ce qui se concrétise par exemple par l'objectif « zéro-phyto » pour l'entretien des sites dont nous avons la charge.

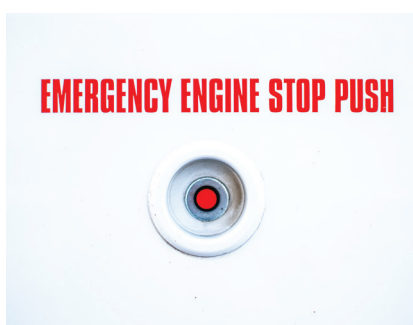
(Je n'entre pas ici dans les détails de ce qui a déjà été accompli, des exemples d'initiatives en cours ou des indicateurs déjà disponibles, mais y reviendrai avec plaisir dans les commentaires pour ceux que cela intéresse.)

**Et maintenant, la mise en tension de l'interne, avec le Prix de l'Environnement !**

Ce vote des actionnaires nous a donc permis de franchir une étape importante dans le déploiement de notre ambition environnementale. Il fallait et il faut continuer à parler environnement avec les actionnaires. C'est nécessaire, mais pas suffisant. Une telle démarche de transformation, qui va jusqu'au cœur des métiers et des façons de faire de nos entreprises, implique une mobilisation de toutes les énergies. A commencer par celle des salariés, dont je soulignais le rôle moteur dans mon dernier article. ■



# La performance énergétique des bâtiments : **transition collective** et **mobilisation individuelle**



Est-il nécessaire de revenir sur les enjeux que représente la consommation énergétique des bâtiments ? Notre consommation énergétique et ses impacts, directs et indirects, remodelent en partie notre monde. Là où l'énergie bon marché du début du siècle dernier a rapproché les peuples et a réduit, au moins en partie, les inégalités, les impacts de ces consommations et l'évolution inéluctable du coût des énergies conduisent aujourd'hui à des difficultés majeures : environnementales, économiques et sociales.

**E**n France, de nombreuses démarches sont menées depuis des années pour tenter de réduire les consommations énergétiques des bâtiments : dans le neuf et l'existant avec les réglementations thermiques et maintenant environnementales, les labels de performance, les DPE, les Certificats d'Économies d'Énergie, les aides locales, régionales, nationales, européennes, crédits d'impôt, « coups de pouce » ou autres accompagnements de l'Ademe. L'une des constantes de ces démarches : elles sont fondées sur l'investissement et les calculs théoriques. Et bien souvent, les actions mobilisées ne sont pas les plus efficaces mais les mieux « valorisées » dans les calculs réglementaires, dans les fiches CEE ou dans les politiques territoriales du moment.

Malgré tout, cette approche est certainement nécessaire : elle permet d'organiser à grande échelle, l'amélioration de nos bâtiments. La transition collective s'inscrit souvent dans la réglementation et à des niveaux qui rendent difficile la lecture particulière, spécifique, et donc adaptée, de chaque bâtiment.

**PARCOURS**



**Olivier GUILLEMOT**  
IMT Mines Albi, promo 1999

Il est désormais Directeur Délégué chez H3C Énergies.

Cette démarche générale, théorique et souvent biaisée, laisse peu de place à la réalité des consommations et aux actions de terrain, proches des usagers des bâtiments. Certains montages permettent d'y remédier, au moins en partie, tels

que les CPE (Contrats de Performance Énergétique), mais les actions restent principalement techniques et déléguées aux exploitants.

Ainsi, les usagers mêmes des bâtiments, ceux qui vivent, au quotidien, dans les logements, dans les bureaux, dans les usines, ne sont que trop rarement engagés dans cette transition nécessaire. Les approches réglementaires, techniques, technologiques, décorrélées du réel ont des conséquences majeures : appréhension difficile des enjeux, rupture du lien naturel entre les actions et la performance, démobilité des usagers, perte de sens général. A trop vouloir traiter ce sujet par un prisme d'ingénieurs et de juristes, on en oublie parfois l'essentiel : la consommation énergétique provient du besoin de confort et ce besoin de confort dépend des usagers, des êtres humains de cultures, de croyances, de convictions, d'histoires différentes...

Il ne s'agit pas ici de renoncer totalement à la technique, à la performance intrinsèque des équipements, des régulations intelligentes, des automates et smart buildings ou autres innovations qui

# La transition énergétique

## Les réponses des entreprises

permettent de consommer ou produire mieux et plus efficacement. Remplacer une chaudière au fuel vieille de 40 ans par une chaudière biomasse de dernière génération est toujours une bonne idée.

Il s'agit plutôt de prendre un peu de hauteur vis-à-vis des approches techniques et réglementaires et de remettre du sens dans ces objectifs et ces actions. De remettre un peu d'humain et de réalité dans le réel... Cette démarche est essentielle pour réussir une transition énergétique et environnementale pérenne, efficace et soutenable. Mais c'est aussi une nécessité humaniste et sociale : réussir cette transition est la responsabilité de tous et de chacun d'entre nous : il est donc essentiel de se donner les moyens d'assumer cette responsabilité, de croire en notre intelligence individuelle et collective, en notre capacité de mobilisation, d'engagement et d'actions.

**Mais pourquoi il nous raconte tout ça... ?  
Je suis ingénieur, pas sociologue !**

Alors il faut évoluer ! Nous ne sommes plus uniquement des ingénieurs au sens

du « super technicien ». En fait, nous ne l'avons jamais été. Nous sommes, et nous le devenons de plus en plus, des accompagnateurs au changement, des mobilisateurs d'engagement, des accoucheurs de bonnes idées, des traducteurs d'objectifs en actions. Les sujets sont complexes et le rôle d'un ingénieur est de traiter la complexité pour en faire émerger de la valeur. Valeur économique, environnementale et humaine.

L'enjeu de nos métiers dans la performance énergétique des bâtiments prend ainsi une nouvelle dimension. Nous devons mieux comprendre les réels enjeux et les leviers. Les mettre en perspective. Les comprendre techniquement bien sûr, mais dans une logique technique adaptée aux objectifs à atteindre et aux acteurs à mobiliser.

Alors peut être que de nouvelles connaissances ou compétences se développeront dans nos esprits d'ingénieurs, à la croisée des chemins de la technique, du digital et de l'UX, des sciences comportementales, des sciences

cognitives, des théories de l'engagement. Il ne s'agit pas de devenir des experts de tout mais des généralistes de l'ensemble pour réussir notre difficile mission et relever ce défi environnemental global.

Cette nouvelle donne est passionnante. Elle s'inscrit aujourd'hui dans une réalité. La réglementation trouve enfin un écho favorable à ces démarches où l'utilisateur n'est plus oublié. Où la performance par l'investissement seul disparaît. Où la réalité concrète s'inscrit durablement. Le « décret tertiaire » impose aujourd'hui une trajectoire forte de réduction des consommations pour tous les bâtiments tertiaires de plus de 1000 m<sup>2</sup>. Et dans cette réglementation, seul le résultat compte, la consommation réelle, mesurée, directement en lien avec les actions du quotidien.

L'utilisateur reprend sa place et redevient acteur à part entière de sa responsabilité individuelle pour la réussite collective. Ou n'est-ce qu'un rêve ? ■



# TCL

## Travaux Publics

Z.A. de l'Avaleresse  
Rue César Dewasmes  
BP 20045 - 59690 VIEUX-CONDÉ

**Tél. 03-27-21-87-20**

**Fax 03-27-21-87-29**

contact@tcl-travauxpublics.fr  
www.tcl-travauxpublics.fr



**La compétence régionale  
d'aménageur**

# L'économie fonctionnelle

## le bon état d'esprit pour la transition énergétique

Pour présenter brièvement mon parcours, j'ai été diplômé en 2003 de l'Ecole des Mines de Douai en génie mécanique. Je suis fier de ce diplôme, surtout que tout ne se présentait pas pour le mieux pendant ma scolarité jusqu'au lycée, mais tout est possible à qui a le courage et la foi !

J'ai pu finir mes études à l'Université de Montréal ce qui a été une superbe expérience (je me sens désolé pour la promotion 2020), il fallait être relativement bien classé pour pouvoir partir et encore une fois ce n'était pas évident au vu de mes résultats poussifs en première année. Mais tout est possible à qui a le courage et la foi.

Suite à ça, à la faveur d'un VIE (très bonne façon pour s'essayer à l'expatriation), je suis parti vivre en Pologne qui est devenu ma seconde patrie, tant je me sens profondément Franco-Polonais. Pendant 10 ans j'ai travaillé dans les énergies conventionnelles pour des groupes énergétiques Français en réalisant des audits industriels, en construisant des centrales de cogénération gaz et enfin en étant opérateur du réseau de chaleur de Varsovie.

En dehors du travail, je suis passionné d'aviation j'ai passé successivement toutes les licences nécessaires pour être Pilote de Ligne et après une carrière en tant qu'ingénieur, je transforme ma passion en profession et passe (à 39 ans) Copilote sur les lignes court-courriers dans la compagnie nationale Polonaise LOT. C'est l'aboutissement de 7 ans d'étude dans ce domaine. Tous les rêves sont possibles, avec du courage et la foi (troisième foi).

Mais en 2020, entre autres poussé vers la sortie par le COVID, je dois quitter l'aéronautique et commence des études sur les énergies renouvelables à Polytechnique Varsovie. Ces expériences et la situation environnementale me convainquent que je suis plus nécessaire en tant qu'ingénieur pour la transition énergétique que Pilote de Ligne (quand

**PARCOURS**



**Sebastian KNYSZ**  
IMT Lille Douai, promo 2003

Il développe l'énergie photovoltaïque et éolienne en Europe Centrale.

bien même c'est plus "sexy"). Entretemps, je suis devenu Papa et ça a certainement changé mon point de vue.

Aujourd'hui, je développe la production d'énergie solaire et éolienne (offshore et onshore) en Europe Centrale depuis Varsovie.

Après toutes ces expériences professionnelles et personnelles, je me confirme qu'il faut participer au projet Européen de neutralité carbone et notamment à la transition énergétique nécessaires. Le Green Deal Européen qui a pour but la neutralité carbone d'ici à 2050 est ambitieux et je veux y prendre part.

On ne peut pas y arriver en fonctionnant de la même façon. Il faut repenser notre mode de consommation. Je pense que l'économie

fonctionnelle est un élément de l'économie circulaire elle-même constitutive de la transition énergétique. Je vous invite à lire le rapport de l'ADEME à ce sujet : <https://bibliothèque.ademe.fr/dechets-economie-circulaire/3633-vers-une-economie-de-la-fonctionnalite-a-haute-valeur-environnementale-et-sociale-en-2050.html>

Pour illustrer mes propos, je vous fais part de ce que nous avons mis en place au sein du réseau de chaleur de Varsovie appartenant à Veolia. Jusque-là, le business model était la vente de chaleur sous forme d'un produit, le Gigajoule (GJ pour les intimes). Ce modèle n'est pas vertueux car pousse à la vente et donc à la consommation pour augmenter le profit. Nous sommes passés à la vente d'un service. On vend désormais un bien-être thermique : l'intérêt du chauffagiste n'est plus de vendre des GJ, mais au contraire, tout en assurant une certaine température, d'en vendre le moins. Les intérêts de ce business model est que cela pousse le chauffagiste à être plus économe et l'analyse des données (Big Data), l'Intelligence artificielle et l'IoT sont de nouveaux outils qui permettent de grandes améliorations dans ce domaine. De plus, cela renforce la conscientisation des clients avec des campagnes invitant à l'économie d'énergie.

Ce modèle existe déjà dans l'aéronautique où les compagnies aériennes paient pour un cycle (nombre d'atterrissages par exemple) et non pour une pièce. L'industrie du pneumatique y a recours depuis longtemps pour les poids lourds.

# La transition énergétique

## Les réponses des entreprises

D'une manière générale, mes chers camarades, à propos de la transition énergétique. Posez-vous les bonnes questions, à quoi vous seriez le plus utiles. Au-delà de ce que vous aimez faire, de ce à quoi vous avez du talent, surtout, ne participez pas au déclin du vivant sur Terre. En 2020, la masse de ce que l'Humanité a créé, a égalé la masse du vivant, ne participez pas à ce déséquilibre. La transition énergétique s'inscrit dans cette façon de penser. Il s'agit de consommer moins d'énergie et pour celle qui doit être produite, qu'elle soit « propre »...

Vous avez l'esprit ingénieur, vous comprenez le fond de ma pensée, vous avez la capacité d'évaluer votre impact. J'oriente maintenant mes choix professionnels dans cet esprit. Je ne vais pas vous donner d'exemple ou vous faire un cours sur les secteurs d'activités néfastes (j'ai moi-même dû cheminer) et ce n'est pas évident car l'impact est souvent indirect. La planète compte sur votre discernement. J'ai quitté un métier "Passion" (Pilote de Ligne) pour un métier "Raison" (développement des énergies renouvelables).

Devenir ingénieur, c'était mon rêve et l'Ecole des Mines (désormais IMT Lille Douai) est à la hauteur de ce rêve. Cela vous donne beaucoup de connaissances et une capacité de mieux comprendre le monde, cela va vous donner une carrière intéressante, ouverte et vous serez convoités. Il y a cependant des responsabilités. Il est difficile de critiquer l'ignorant qui se fourvoie. Vous, vous n'êtes pas ignorants et êtes préparés à agir en conscience.

Malheureusement le système éducatif ne prépare pas les étudiants tout à fait pour cette transition.

Premièrement, ce système, surtout dans la technologie, est structurellement en retard. Quand vous sortirez, une partie de la façon de penser qu'on vous aura transmise sera "has been" par la force des choses. Le monde change plus vite que le gap générationnel Étudiant/Professeur. En fait, il faut déjà moins d'une génération pour "penser" autrement. La façon de fonctionner du monde sera en quelque sorte déjà différente de ce qu'on vous

aura appris (je sais, ce n'est pas facile à entendre).

Deuxièmement, Le système éducatif ne s'attarde pas assez à ce qui est beau (le pourquoi), or derrière toute démarche environnementale est le désir de protéger ce qui est fragile et beau. Ça commence par ça. De-là vient l'envie (le besoin) de protéger. J'espère que c'est ce sentiment de responsabilité qui vous guidera dans vos démarches professionnelles quitte à faire des choix pas toujours évidents, pas toujours à la mode. Ou même ne pas toujours faire le plus d'argent.

En contrepartie, la transition énergétique est un sujet passionnant et fait partie d'un changement plus global (l'économie circulaire entre autres). Vous tirerez beaucoup de satisfaction à travailler pour un secteur qui a du sens et tend vers le meilleur.

Si ce que je viens d'écrire vous intéresse ou vous questionne, je serais ravi d'en débattre avec vous. ■

N'hésitez pas à me contacter par mail : [sebastian.knysz@imt-lille-douai.org](mailto:sebastian.knysz@imt-lille-douai.org)



# Mon expérience dans les énergies renouvelables

Le terme de « chef de projet » est souvent un terme « fourre-tout ». Ceux qui exercent cette fonction le font dans différents secteurs et différentes missions. L'objectif de ce témoignage est de présenter le métier dans le domaine des énergies renouvelables, et pourquoi pas susciter quelques vocations dans un secteur d'activité en pleine expansion.

## Comment suis-je arrivé là ?

Comme beaucoup, jeune je n'avais pas forcément d'idée précise de ce que je voulais faire. De culture plutôt scientifique, je m'étais orienté vers les écoles d'ingénieurs car les débouchés étaient nombreux et pluridisciplinaires.

A travers les cours et les stages, j'ai pu m'orienter et identifier le domaine des énergies renouvelables comme étant celui qui rejoignait ce que je voulais faire, alliant défense de l'environnement, technicité et relationnel, avec du challenge, de nombreuses évolutions (techniques, réglementaires, humaines) et différentes facettes permettant de ne jamais s'ennuyer !

A l'école, je m'étais spécialisé dans l'énergie avec le cursus Génie Énergétique. J'avais profité des études pour partir effectuer mon stage d'ingénieur-adjoint dans le secteur de la biomasse en Lettonie, et un semestre au Québec, région connue pour son hydroélectricité.

J'ai ensuite commencé à travailler en Bourgogne dans des structures publiques et semi-publiques. A Dijon dans un premier temps en tant que assistant chef de projet puis chef de projet EnR (énergies renouvelables). Je travaillais principalement dans le développement de projet éolien et photovoltaïque, et occasionnellement dans l'hydroélectricité et la méthanisation.

**PARCOURS**



**Paul PELLET**  
IMT Lille Douai, promo 2018

Il est chef de projet Energies Renouvelables chez Enertrag.

J'ai ensuite travaillé à Nevers en tant que responsable du développement éolien, puis EnR (en l'occurrence ici c'était éolien et photovoltaïque). Il s'agit du même type de structure qu'à Dijon (syndicat public et SEM), qui permet de voir un aspect différent des entreprises privées puisque les objectifs et les méthodes ne sont pas nécessairement les mêmes.

L'avantage des petites structures est que l'on multiplie la diversité des tâches et des domaines d'intervention. De plus la structure publique sur laquelle s'appuyait mon entreprise parapublique avait de nombreux secteurs d'activité, ce qui m'a également permis d'approfondir ou découvrir des domaines particuliers

comme l'efficacité énergétique, la mobilité verte, le développement durable et la planification territoriale, ou encore le réseau électrique, la gestion des déchets, l'architecture...

Dans un grand groupe, on se focalise davantage sur un aspect du métier, mais dans ce type de structure il faut être plus autonome et plus polyvalent. J'ai donc dû me faire économiste et fiscaliste pour la réalisation des plans d'affaires, juriste pour les accords de partenariat et la rédaction de marchés et de contrats, écologue et paysagiste pour les études, etc. La règle d'or est de s'adapter. Personne ne s'attend à ce que vous sachiez tout faire en sortant de l'école. Mais l'école nous apprend à apprendre, à nous adapter.

Après pratiquement 3 ans en Bourgogne, j'ai rejoint ma société actuelle : Enertrag. Je suis désormais basé en région parisienne, et gère la région Auvergne-Rhône-Alpes pour la société.

Enertrag est une société indépendante spécialisée dans l'éolien, qui travaille également sur le photovoltaïque et le dihydrogène. J'y travaille donc en tant que chef de projet, sur les thématiques de l'éolien et du photovoltaïque.

Dans ce type de structure, il y a des experts pour chaque thématique (raccordement électrique, écologie, paysage, aéronautique, vent, finance, juridique, construction...). Il y a donc moins de pluridisciplinarité mais plus de technicité et de précision attendue sur la base du métier de chef de projet.

# La transition énergétique

## Les réponses des entreprises

### ➔ Schéma de la chronologie d'un projet éolien

## Mais concrètement ça fait quoi un chef de projet EnR ?

Un projet d'énergie renouvelable suit des étapes-clés, qui diffèrent un peu selon le type d'énergie.

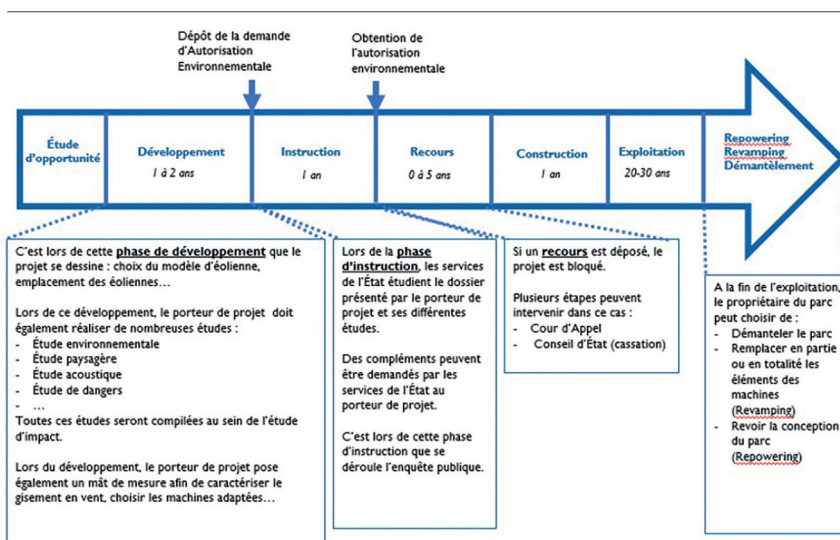
Je prends ci-contre le cas de l'éolien :

La première phase porte différents noms (étude d'opportunité, de faisabilité, de préfaisabilité, prospection). Généralement un développeur (porteur de projet) identifie un site pour l'implantation d'une installation, contacte les élus du Conseil Municipal de la commune afin d'avoir leur approbation, puis les propriétaires des terrains pour savoir s'il est possible d'en louer une partie pour y mettre des panneaux / des éoliennes. Selon les entreprises, c'est parfois les chefs de projet, ou bien des prospecteurs professionnels qui sont en charge de cette étape. Le plus souvent ce sont les chefs de projets juniors.

Si tout le monde est d'accord, on lance la phase de développement. C'est durant cette phase que le terme de chef de projet prend tout son sens. Le chef de projet doit donc piloter son projet, et a également un rôle de « chef d'orchestre » auprès des bureaux d'études (nécessairement externes pour une question d'impartialité). Pour réaliser un projet éolien, il faut à minima mener des études de vent, écologique (faune / flore), paysagère et acoustique afin de vérifier que les conditions strictes (réglementation ICPE) soient remplies pour l'implantation d'un parc.

De plus, le chef de projet doit mener une concertation auprès des riverains. Aujourd'hui les citoyens souhaitent naturellement être entendus lorsqu'un projet structurant notre territoire se construit. Une concertation bien menée permet de construire avec les citoyens et leurs idées un projet qui soit réellement territorial.

On voit donc qu'il y a un aspect très technique lié au métier (identification des sites, études), mais également extrêmement humain, avec un relationnel important (relation avec les élus, les propriétaires, concertation des citoyens).



De plus le contexte évolue très rapidement : les investissements grandissant avec les objectifs des Etats, la filière des énergies renouvelables a fait un bond technologique important ces dernières années. Il y a encore 5 ans on installait des panneaux photovoltaïques de 250 kWc<sup>1</sup> et des éoliennes de 150 mètres de hauteur bout de pale de 2 MW chacune ; aujourd'hui on conçoit des centrales photovoltaïques avec des panneaux de 450 kWc et des parcs éoliens avec des éoliennes allant jusqu'à 230 m de haut et 6 MW chacune. Ainsi d'anciens parcs de quelques dizaines de mâts sont remplacés par une poignée d'éoliennes pour la même puissance, et même une production supérieure (plus on va haut plus il y a de vent). Mais cela implique un impact visuel plus important, et donc une place accrue de la concertation dans la conception des projets, et des évolutions réglementaires pour prendre en compte ces nouveaux enjeux.

Le chef de projet dépose ensuite le résultat de son travail auprès des services de l'Etat qui décident du bien-fondé de la demande. Le chef de projet doit alors répondre aux questions des services et assurer le lien et la communication des informations avec également les élus et riverains.

Si un permis de construire est accordé, il s'ensuit la phase de construction et de raccordement. Il s'agit là d'un métier très différent, avec beaucoup de logistique et de génie civil.

Une fois l'installation construite, deux métiers sont à l'œuvre : les techniciens de maintenance (préventive et curative, métier très technique) et les ingénieurs en charge de l'exploitation qui surveillent et optimisent la production du parc.

Les différents métiers d'ingénieurs à intervenir sur un projet sont donc chef de projet, expert dans un bureau d'étude, ingénieur construction, ingénieur exploitation.

## Quelles sont les différences opérationnelles entre les énergies renouvelables ?

Les projets éoliens sont des projets longs (7-8 ans), très cadrés réglementairement et où la communication et la concertation est la plus importante. L'exploitation dure entre 20 et 30 ans. Il existe de l'éolien terrestre et maritime.

Les grands projets photovoltaïques durent 3 à 5 ans et sont assez techniques. Il existe un grand nombre de types de projet : en toiture, en ombrières de parkings, flottant (lacs artificiels), au sol sur terrain dégradé (pollué / industrialisé), au sol sur terrain agricole / élevage. L'exploitation dure entre 30 et 40 ans.

La production d'hydroélectricité a été beaucoup développée. Aujourd'hui, il reste très peu de projets en cours, et ils sont très longs (>10 ans) et très compliqués réglementairement. En revanche la filière cherche toujours des gens pour

1. Kilowatt crête, unité de mesure utilisée pour évaluer la puissance atteinte par un panneau solaire lorsqu'il est exposé à un rayonnement solaire maximal.

→ Source : ADEME

l'exploitation des nombreux barrages existants (qui vont d'ailleurs bientôt pour beaucoup arriver en fin de concession). L'exploitation d'une centrale de production dure a minima 50 ans, voire beaucoup plus.

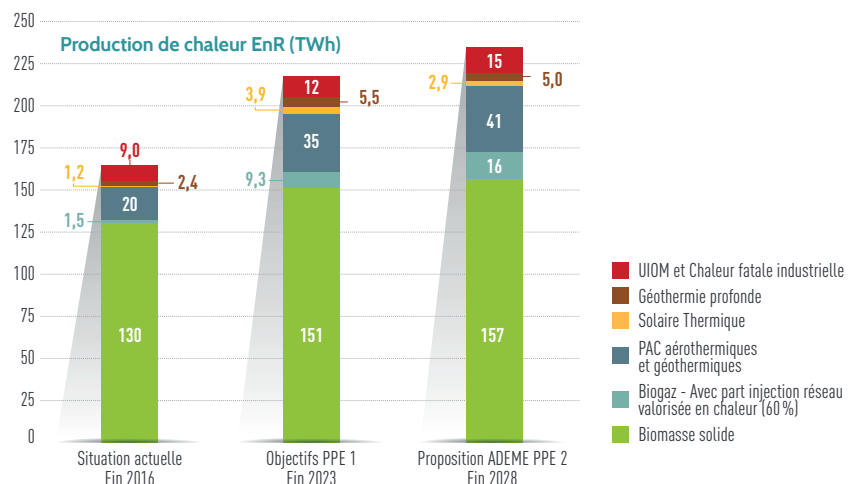
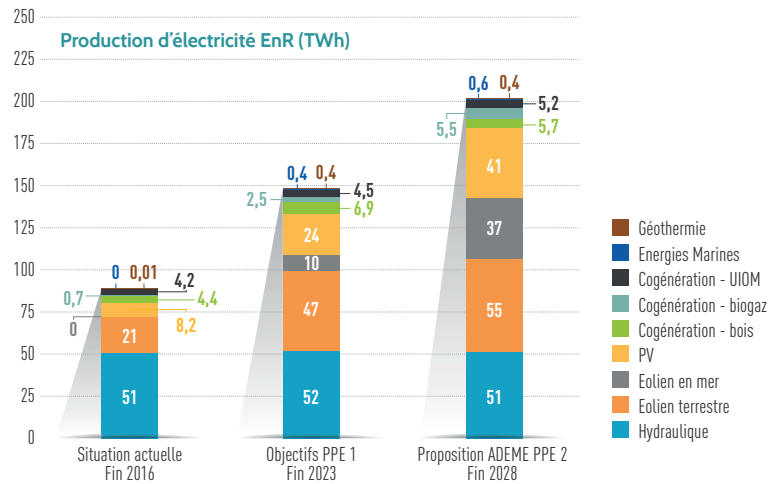
La méthanisation (ou la méthanation) c'est un peu comme de la cuisine. Il faut avoir de bons produits locaux (fumier de l'éleveur d'à côté, lisier de l'agriculteur du coin, et pourquoi pas un soupçon d'éléments chimiques d'une entreprise voisine). En revanche je déconseille de goûter le résultat final ! Il s'agit de projets dont la durée peut fortement varier selon les installations, très techniques et nécessitant beaucoup de relationnel.

La biomasse est un terme parfois ambigu car désigne au stricto sensu la production d'énergie à partir de composé organique, ce qui est le cas de la méthanisation. Mais en pratique on désigne par-là les réseaux de chaleur avec chaudière à bois. On trouve parfois le terme de bois-énergie. Les projets durent généralement 2-3 ans et sont assez techniques.

Le meilleur moyen de savoir ce qui vous correspond est ensuite de tester, et les postes « EnR » ont l'avantage de permettre de vous faire découvrir plusieurs énergies en même temps. Et même une fois que vous les connaissez, cela permet de varier les plaisirs !

## Quels débouchés aujourd'hui ?

Selon l'énergie, certaines recrutent davantage dans le développement (photovoltaïque par exemple), d'autres plutôt dans l'exploitation (hydroélectricité typiquement).



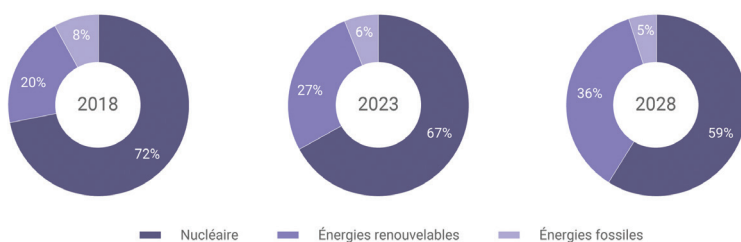
L'Etat a des objectifs ambitieux en termes de développement des énergies renouvelables, définis notamment dans la Programmation Pluriannuelle de l'Energie.

Pour atteindre ces objectifs ambitieux, les entreprises du secteur embauchent et ne connaissent pas la crise ! Dans

mon entreprise actuelle on accueille actuellement quasiment 1 personne/ semaine, et nous sommes passés d'une quarantaine à 85 salariés en l'espace de quelques années. Une RH d'un grand groupe m'a informé qu'elle avait recruté 10 personnes par mois pendant le premier confinement lié à la covid-19. A titre personnel, je me fais contacter en moyenne au moins une fois par semaine depuis que j'ai environ 1 an d'expérience. La difficulté – comme souvent – c'est d'y entrer, de trouver son premier poste.

Pour terminer cet article, je donne ce conseil à celles et ceux qui souhaitent découvrir ce secteur : n'hésitez pas à utiliser vos contacts et le réseau de l'IMT, faites part de vos retours d'expérience et entraînez-vous ! ■

France\* Le mix électrique en 2018 et les objectifs de la PPE



\* France métropolitaine continentale

← Source : PPE, Ministère de la Transition écologique et solidaire

# La transition énergétique

Les changements techniques qui se dessinent

## La transition énergétique dans les transports : un modèle historique à repenser

### Le secteur des transports jusqu'à aujourd'hui

Le secteur des transports est à l'échelle mondiale l'un des plus gourmands en énergie et émetteurs de polluants et de gaz à effet de serre. Il est responsable d'un quart des émissions directes de CO<sub>2</sub> dues à la consommation d'énergie (les autres consommateurs principaux étant l'industrie et le bâtiment).<sup>1</sup> Le modèle actuel, mis en place au début du XX<sup>e</sup> siècle, a permis une intensification de la mobilité des marchandises et des personnes à base de véhicules motorisés et de carburants issus du pétrole. Bien qu'offrant une liberté de mouvement sans précédent, ces modes de transport et leurs infrastructures sont désormais des symboles de la pollution atmosphérique, des dérèglements climatiques, de la défiguration et de la séparation physique des espaces urbains, en plus de la difficulté de se déplacer en transports collectifs ou non motorisés.<sup>2</sup>

Comme l'indique l'article de The Conversation reproduit dans le Mineraï de Septembre 2018 intitulé « La voiture électrique hors des sentiers battus »<sup>3</sup>, la dépendance des véhicules motorisés au pétrole n'était pourtant pas écrite dès le départ et il s'en est fallu de peu - de quelques choix initiaux ayant fait durablement pencher la balance en faveur de la technologie du moteur à combustion. Notons que cette « marche aléatoire » en faveur du moteur à combustion a également obtenu le coup de pouce de grandes compagnies automobiles et pétrolières émergentes, qui, dans un contexte général d'enthousiasme pour les

**PARCOURS**



**Marine GORNER**  
IMT Lille Douai, promo 2014

Elle a été analyste énergie et transports à l'Agence Internationale de l'Énergie de 2014 à 2021.\*

\*Au moment de la rédaction et de la publication de cet article, l'auteur n'était plus employée de l'Agence Internationale de l'Énergie. L'auteur ne s'exprime pas au nom de l'Agence Internationale de l'Énergie dans cet article.

nouvelles possibilités de l'automobile, ont contribué à précipiter la fin de service de nombre de réseaux de transport urbains électrifiés à travers les États-Unis et jusqu'en Australie au milieu du XX<sup>e</sup> siècle.<sup>4</sup>

La réussite de la transition énergétique dans les transports tiendra dans l'utilisation de sources d'énergie « décarbonées » avec une utilisation responsable des ressources naturelles pour leur production et une vigilance quant à leurs impacts et inconvénients. Dans un objectif de développement durable, ces solutions devront être accompagnées, d'une part, d'une plus grande efficacité énergétique, et d'autre

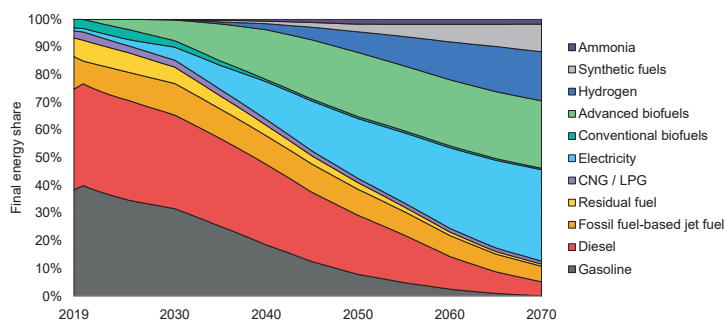
part, de la promotion d'une mobilité plus sobre et privilégiant des moyens de transport peu gourmands en énergie voire non motorisés. Dépolluer et décarboner les transports au XXI<sup>e</sup> siècle relève donc d'un exercice intellectuel, technologique, industriel et politique à la fois passionnant et décisif, avec des tournants historiques à la clé.

### L'avenir est à la diversification des sources d'énergie selon les usages

Une grande partie de la réduction des externalités<sup>5</sup> négatives liées aux transports actuels se fera par la réduction de la dépendance de ce secteur aux produits pétroliers, qui est de plus de 90 %. Un panel de solutions à potentiel zéro-carbone peut être mis en œuvre, via un grand nombre de vecteurs énergétiques possibles : l'électrification directe, l'hydrogène, les biocarburants (y compris le biogaz) et les carburants

1. <https://www.iea.org/reports/tracking-transport-2020>
2. <https://www.itdp.org/2021/03/10/highways-and-zoning-tools-of-racist-policy/>
3. <https://theconversation.com/la-voiture-electrique-hors-des-sentiers-battus-93759>
4. [https://en.wikipedia.org/wiki/General\\_Motors\\_streetcar\\_conspiracy#Role\\_in\\_decline\\_of\\_the\\_streetcars](https://en.wikipedia.org/wiki/General_Motors_streetcar_conspiracy#Role_in_decline_of_the_streetcars)
5. <https://www.jstor.org/stable/23265077?seq=1>
6. Définition Wikipédia : « L'externalité caractérise le fait qu'un agent économique crée, par son activité, un effet externe en procurant à autrui, sans contrepartie monétaire, une utilité ou un avantage de façon gratuite, ou au contraire une nuisance, un dommage sans compensation » (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Externalité>)





IEA 2020. All rights reserved.

Notes: CNG = compressed natural gas; LPG = liquefied petroleum gas. Fossil fuel-based diesel takes longer to be replaced in the transport sector fuel mix than fossil fuel-based gasoline, as alternatives for diesel in heavy-duty trucking and intercity buses take longer to deploy.



**Fig. 1 : Utilisation finale d'énergie dans le secteur des transports par vecteur énergétique dans le scénario « Développement Durable » de l'Agence Internationale de l'Energie.**  
Source : IEA (2020), *Energy Technology Perspectives*. All rights reserved.

peu à peu arrivés sur le devant de la scène des plus grands marchés automobiles. Les raisons sont un élargissement du soutien des autorités, et l'apparition de modèles performants pour un usage quotidien.

Ce tournant coïncide en effet avec la mise en place de standards de consommation de carburant de plus en plus contraignants, notamment avec la régulation CAFE aux Etats-Unis et le standard européen, ainsi que des normes de pollution rendant de plus en plus coûteux les systèmes de dépollution des moteurs thermiques (et pouvant nuire à leur efficacité énergétique), le tout complété par des aides à l'achat.

Quant aux constructeurs, on peut citer notamment Tesla, qui a réussi son pari de capter les enthousiastes pour la technologie électrique dans les segments de luxe et a rendu le véhicule électrique désirable. En parallèle, des constructeurs plus classiques comme Nissan et Renault, qui, avec leurs modèles Leaf et Zoe lancés au début des années 2010, ont proposé des véhicules tout-électriques pratiques et attractifs permettant de débiter une transition massive, notamment via les flottes publiques et d'entreprise.

Le scandale du dieselgate en 2015 ainsi que le développement rapide d'une industrie automobile électrique prometteuse et compétitive en Chine ont terminé de convaincre une majeure partie des constructeurs historiques. L'offre de modèles électriques rechargeables s'accroît inexorablement et les constructeurs annoncent des objectifs ambitieux et de grandes transitions industrielles pour la décennie à venir.

7. <https://energy-cities.eu/50-shades-of-grey-and-blue-and-green-hydrogen/>
8. <https://energy-cities.eu/50-shades-of-grey-and-blue-and-green-hydrogen/>
9. Corporate Average Fuel Economy
10. <https://www.transportation.gov/mission/sustainability/corporate-average-fuel-economy-cafe-standards>
11. [https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation\\_en](https://ec.europa.eu/clima/policies/transport/vehicles/regulation_en)
12. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>
13. <https://webstore.iea.org/nordic-ev-outlook-2018>
14. <https://www.lefigaro.fr/automobile/2010/10/01/03001-20101001ARTFIG00424-avec-zoe-renault-devoile-ses-batteries.php>
15. <https://www.lefigaro.fr/societes/dieselgate-chronologie-d-un-scandale-20190930>
16. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020> (voir notamment figure 2.2 et tableau 2.7)
17. <https://www.capital.fr/auto/voiture-electrique-volkswagen-veut-devenir-n1-en-4-ans-devant-tesla-1397096>

liquides synthétiques. Dans le scénario « Développement Durable » de l'Agence Internationale de l'Energie, les carburants fossiles – dominants dans les transports aujourd'hui – ne représentent plus que 14 % d'énergie finale en 2070 (fig. 1).

Il est à noter que ces technologies et carburants alternatifs ne sont pas bas-carbone par nature ; il faut pouvoir les produire comme tels. L'hydrogène par exemple, peut être « gris » (à base d'énergies fossiles, généralement du gaz naturel), « vert » (réalisé à partir d'électricité bas carbone via l'électrolyse), ou une palette d'autres couleurs renvoyant à différents procédés de synthétisation. L'hydrogène gris est de loin le plus synthétisé aujourd'hui, et le CO<sub>2</sub> généré par son procédé de fabrication n'est pas capturé (lorsqu'il l'est, l'hydrogène est dit « bleu »). Une production beaucoup plus massive d'hydrogène vert constitue l'objectif de beaucoup de gouvernements dans leurs stratégies de décarbonation de l'économie.

L'électrification directe des véhicules a pour avantage une grande efficacité énergétique : un moteur électrique consomme 2 à 4 fois moins d'énergie pour la propulsion qu'un moteur à combustion, et ne rejette pas de gaz d'échappement. L'objectif est également de coupler l'électrification directe à de l'électricité bas-carbone.

Les carburants synthétiques liquides contiennent les mêmes molécules que les carburants fossiles traditionnels. On a donc la possibilité de les utiliser directement avec les mêmes motorisations et infrastructures de distribution que celles déjà en place. Mais leur combustion génère des émissions de CO<sub>2</sub> qui doivent être compensées par de la captation de carbone pour être considérés comme durables. On les produira ainsi principalement à partir d'hydrogène « vert » et d'une source de carbone

(rejets industriels, biomasse durablement produite, capture directe dans l'air à l'aide de procédés et d'énergie eux-mêmes décarbonés).

Au final, l'électricité décarbonée devrait jouer un très grand rôle dans la transition énergétique du secteur des transports, y compris pour la synthèse de carburants liquides ou gazeux bas-carbone (hydrogène, ammoniac, hydrocarbures de synthèse). Les seules sources d'énergie bas carbone qui n'auront pas directement recours à l'électricité seront les biocarburants produits de manière durable ainsi que les ressources carbonées (fossiles ou de synthèse) associées à un cycle de carbone fermé.

## Passer à la voiture électrique : refonte radicale d'une industrie mondiale

### Les années 2010 et 2020 : un tournant pour le marché de la voiture électrique

Tout au long du XX<sup>e</sup> siècle, l'industrie automobile s'est consolidée autour d'un nombre limité de constructeurs d'envergure mondiale : Américains, Européens, Indiens, Coréens, Japonais et désormais Chinois, ayant tous misé, développé et excellé dans la technologie du moteur à combustion (avec des variants à succès à l'échelle locale tels la motorisation hybride au Japon ou l'adaptation à l'éthanol au Brésil).

C'est au tournant du XXI<sup>e</sup> siècle puis vers les années 2010, impulsés par les progrès des batteries lithium-ion et des politiques publiques précurseuses comme en Norvège, que les véhicules électriques sont

# La transition énergétique

Les changements techniques qui se dessinent

Que de temps et d'efforts pour parvenir enfin à plus de dix millions de voitures électriques en circulation à travers le monde - tout-électriques et hybrides rechargeables - en 2020 (dont 4,5 millions en Chine, 3,2 millions en Europe et 1,8 millions aux Etats-Unis) et à une résilience du marché face à la crise du Covid-19 bien meilleure que pour les voitures thermiques. Ce succès porte les ventes de voitures électriques à 4,5 % des ventes de véhicules particuliers en 2020. Le chemin est donc encore long mais les économies d'échelle réalisées ont déjà permis de diviser le prix des batteries par kWh et de multiplier leur densité énergétique par un facteur dix environ en dix ans. La technologie est donc plus abordable et permet de couvrir des distances tout à fait honorables avant recharge.

## De grands changements industriels en perspective

La transition d'un secteur industriel aussi important que l'automobile n'est pas anodine d'un point de vue économique et social. Celui-ci emploie environ 15 millions de personnes à l'échelle mondiale. D'une expertise industrielle établie dans les motorisations thermiques, avec un savoir-faire de pointe acquis et perfectionné sur plus d'un siècle, devra se substituer une autre forme d'expertise dans les batteries, les moteurs électriques et les solutions de recharge. Cela signifie anticiper à la fois les nouvelles plateformes d'assemblage des véhicules, les usines de fabrication de batteries, l'approvisionnement en matériaux pour les batteries (parmi lesquels lithium, cobalt, nickel, graphite), mais aussi la formation des ingénieurs, techniciens et ouvriers du secteur automobile. C'est pourquoi l'Union Européenne par exemple, entend faire de la formation une partie intégrante de sa stratégie de conversion de l'industrie automobile.

Bien que les perspectives d'emploi dans cette nouvelle filière soient fortes, un véhicule électrique présente une architecture beaucoup plus simple qu'un véhicule thermique, avec moins de pièces. Cela implique une intensité moindre en employés à la fabrication et à la maintenance. Conserver tous les emplois de la filière automobile, et en créer de nouveaux, signifie donc rediriger les compétences vers l'ensemble des secteurs d'avenir de la mobilité : la fabrication et le recyclage des batteries, les infrastructures de recharge, ainsi que les moyens de transport alternatifs

et leurs infrastructures (par exemple le vélo). Ces domaines sont estimés plus pourvoyeurs d'emploi par dollar investi que l'assemblage automobile classique.

## Matières premières : une croissance vertueuse des industries extractives comme clé de voûte de la réussite de la transition énergétique

Electrification rime avec batteries et leur demande est partie pour exploser, et avec elles celle pour leurs matières premières. Toute industrie extractive comporte des risques, à l'instar de celle des énergies fossiles. Dans le cas des principaux matériaux pour les batteries, ces risques sont géopolitiques car soumis à une forte concentration géographique des sites d'extraction et de raffinage, sociaux (en lien avec les conditions de travail, l'impact sur les populations locales - parfois autochtones - et la corruption) et environnementaux (principalement liés aux ressources en eau et à l'émission de polluants sur les sites de production et de transformation). La juste répartition des bénéfices économiques et environnementaux de cette industrie à la fois pour les populations locales et à l'échelle globale sera un des points-clé pour réussir durablement. Par la suite, le processus de fabrication des batteries requiert de l'énergie qui doit aussi être de préférence décarbonée, afin d'améliorer encore plus les bénéfices climatiques des véhicules électriques sur leur cycle de vie.

Le recyclage des matériaux permettra de réduire certains de ces risques, bien que l'industrie du recyclage ait aussi des besoins en énergie pour fonctionner. Ainsi il s'agira, comme dans tout domaine de l'économie, de tirer parti de nos ressources naturelles, mais en agissant au plus tôt pour assurer leur exploitation la plus respectueuse et durable possible et éviter de répéter les catastrophes du passé. Une forte attention citoyenne et des pouvoirs publics, avec des marques automobiles exposées et soucieuses de leur image, sera indispensable. L'Union Européenne a ainsi annoncé vouloir se positionner en leader des batteries durables, qu'elles soient fabriquées sur son sol ou importées, via une série d'initiatives telles que le « Battery Passport », annoncé en 2020 et la révision de la Directive de 2006 sur les batteries qui assurera une meilleure prise en compte des spécificités des batteries de véhicules électriques (qui étaient quasiment inexistantes en 2006).

## Pour les moyens de transport lourds et de longue-distance : plusieurs solutions à optimiser

### Les limites des batteries électriques

La technologie batterie-moteur électrique commence à faire consensus en tant qu'alternative la plus crédible chez les décideurs économiques et politiques pour remplacer les véhicules légers thermiques. Les incertitudes et délais de transition semblent plus importants plus les véhicules sont lourds et parcourent de longues distances, c'est-à-dire pour une partie du fret routier, les transports maritimes et l'aérien.

Ces secteurs se prêtent mieux à l'utilisation de carburants de grande densité énergétique, puisqu'ils doivent pouvoir transporter une grande quantité d'énergie sur tout ou partie de leur parcours afin de répondre à leurs besoins. La taille et le poids des batteries électriques limite leur attractivité (une batterie de voiture est d'environ 40 à 80 kWh, celle d'un poids-lourd électrique

18. <https://www.iea.org/commentaries/how-global-electric-car-sales-defied-covid-19-in-2020>
19. <https://www.iea.org/articles/global-ev-data-explorer>
20. <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-cited-below-100-kwh-for-the-first-time-in-2020-while-market-average-sits-at-137-kwh/>
21. <https://www.cleanenergyministerial.org/sites/default/files/2018-07/GlobalEVOutlook2017.pdf>
22. <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery/transport#abstract>
23. <https://www.capital.fr/auto/lue-veut-gagner-la-bataille-de-la-voiture-electrique-nombreux-emplois-a-la-cle-1396845>
24. <https://www.iea.org/reports/sustainable-recovery/transport#abstract>
25. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020> (voir notamment figure 3.7 et 3.8).
26. [https://webstore.iea.org/download/direct/2807?fileName=Global\\_EV\\_Outlook\\_2019.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2807?fileName=Global_EV_Outlook_2019.pdf) (voir notamment figure 5.3)
27. [https://webstore.iea.org/download/direct/2807?fileName=Global\\_EV\\_Outlook\\_2019.pdf](https://webstore.iea.org/download/direct/2807?fileName=Global_EV_Outlook_2019.pdf) (voir notamment tableau 5.1)
28. <https://www.nytimes.com/interactive/2021/01/15/climate/electric-car-cost.html>
29. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> (voir notamment chapitre 4 et figure 4.5)
30. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020> (voir notamment figure 4.4)
31. Ainsi qu'une mise en place plus contraignante pour les états-membres en transformant la Directive (que chaque état-membre doit ensuite incorporer à sa législation nationale) en Régulation (qui est directement applicable et contraignante).
32. <https://www.euractiv.com/section/energy-environment/news/eu-to-push-new-standards-for-greenest-car-batteries-on-earth/>
33. [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/batteries-and-accumulators\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/batteries-and-accumulators_en)

de plusieurs centaines de kWh). Toutefois, comme nous l'avons vu, les progrès déjà réalisés et attendus grâce à la recherche et à leur déploiement sur les véhicules légers rendent les batteries de plus en plus crédibles mêmes pour des utilisations sur des véhicules plus lourds et de plus longue distance.

### D'autres solutions existent mais sont encore coûteuses et peu déployées

Les autres solutions envisagées – l'hydrogène, les biocarburants, l'ammoniac (de plus en plus évoqué pour servir le transport maritime), et les hydrocarbures synthétiques – sont technologiquement viables mais possèdent également leur propres challenges et limitations. Le stockage d'hydrogène à bord de véhicules peut être délicat et les piles à combustible ont encore un coût très élevé ☹️, ses réseaux de distribution sont à créer et l'hydrogène bas-carbone requiert de l'électricité bas-carbone en très grande quantité ☹️. En ce qui concerne les biocarburants, leur quantité pouvant être produite de manière durable n'est pas infinie (ils supposent une agriculture plus ou moins intensive, associée à une demande en énergie et à des risques de pollution et de « land-use change » ☹️). Les biocarburants produits à partir de déchets agricoles ou urbains seraient les mieux à même de garantir une utilisation vertueuse des ressources mais ils requièrent une concentration et une disponibilité continue de grandes quantités de déchets, ce qui peut limiter leur utilisation au-delà d'une échelle locale. La capture et l'utilisation de carbone peine pour le moment à se déployer, ☹️ et l'ammoniac (NH<sub>3</sub>), qui ne requiert pas de source de carbone pour sa synthèse, nécessite de l'hydrogène et est délicat à manipuler.

En pratique, des solutions comme les lignes caténaïres de long des autoroutes qui alimenteraient en continu les poids-lourds et leur permettraient de transporter de moins grosses batteries, ou des solutions hybrides s'appuyant sur une batterie de taille raisonnable couplée à un moteur à combustion alimenté en biocarburant ou à une pile à combustible alimentée en hydrogène, sont proposées. Leur but est de proposer une utilisation de chaque ressource au meilleur de ses capacités de manière économiquement

➔ **Autoroutes urbaines vs. rues complètes : construire la ville pour les personnes et pas pour les voitures.**  
Source : ITDP, 2021. ☹️

viable, bien que les solutions hybrides augmentent généralement les coûts d'investissement (lié au fait d'avoir deux moteurs dans un même véhicule, l'un électrique et l'autre thermique, par exemple). ☹️☹️

## Malgré les solutions technologiques à disposition, une mobilité plus sobre sera essentielle.

Dans les projections de l'Agence Internationale de l'Énergie pour les secteurs du transport longue-distance, les solutions mentionnées dans cet article sont toutes déployées pour répondre à un maximum de demande de mobilité. Mais elles sont accompagnées d'efforts très importants dans les technologies et solutions d'efficacité énergétique et opérationnelle (par exemple, assistance éolienne pour le secteur maritime, réduction de la résistance à l'air du fuselage d'avions, meilleur taux de remplissage et optimisation des trajets pour tous les modes), afin de limiter raisonnablement la demande en énergie de ces secteurs. ☹️ Ceux-ci doivent pourtant tous observer une croissance forte dans les décennies à venir du fait du développement économique et de la croissance démographique mondiale.

C'est cette équation qu'il faut tenter de résoudre.

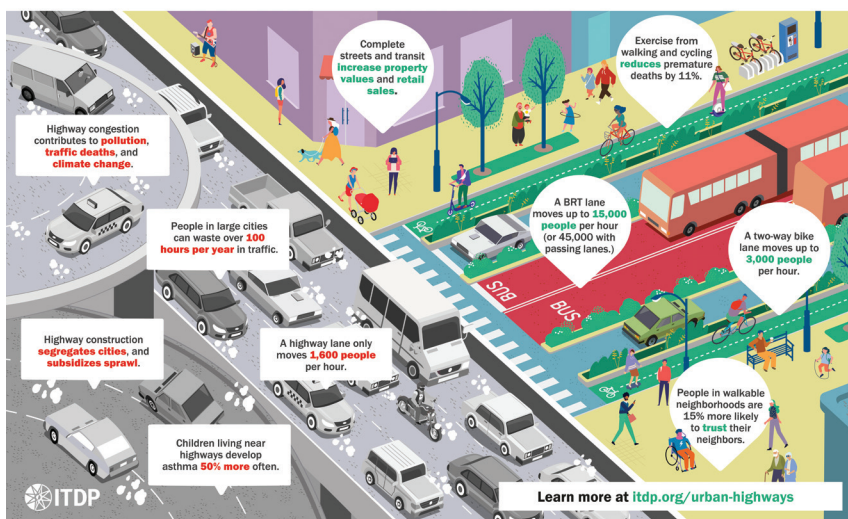
### Le paradigme du tout-voiture à repenser

En 2020, plus d'un milliard de voitures étaient en circulation dans le monde. Ce seront près de deux milliards au milieu du siècle, à mesure que les ménages encore non équipés s'équipent, notamment dans les pays émergents. Cette croissance pourrait être réduite de plusieurs centaines de millions d'unités si les ménages et les entreprises se passent de plus en plus de leurs véhicules ou n'estiment pas utile soit d'acquérir leur première voiture, soit d'en avoir plusieurs. Cela suppose donc des alternatives de mobilité attractives

34. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626192030533X> (voir notamment section 4.3)
35. <https://insideevs.com/news/406676/battery-electric-hydrogen-fuel-cell-efficiency-comparison/>
36. Changement d'affectation des terres, en français, qui souligne le risque de déforestation ou de remplacement d'autres cultures pour les besoins de production de biocarburant.
37. [https://www.researchgate.net/publication/260725768\\_Limits\\_to\\_biofuels](https://www.researchgate.net/publication/260725768_Limits_to_biofuels)
38. <https://www.iea.org/reports/ccus-in-clean-energy-transitions>
39. <https://www.mobility.siemens.com/global/en/portfolio/road/ehighway.html>
40. [https://www.ict.fraunhofer.de/content/dam/ict/en/documents/media/ae/AE\\_Brennstoffzellen\\_Range\\_Extender\\_V01-0\\_en.pdf](https://www.ict.fraunhofer.de/content/dam/ict/en/documents/media/ae/AE_Brennstoffzellen_Range_Extender_V01-0_en.pdf)
41. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
42. [https://www.itdp.org/multimedia/urban-highways-vs-complete-streets/?utm\\_source=Sustainable+Transport+e-bulletin&utm\\_campaign=76650a31b7-Mid\\_Summer\\_2017\\_eBulletin\\_COPY\\_02&utm\\_medium=email&utm\\_term=0\\_fcab8d7a24c-76650a31b7-135834950&mc\\_cid=76650a31b7&mc\\_eid=8850037d95](https://www.itdp.org/multimedia/urban-highways-vs-complete-streets/?utm_source=Sustainable+Transport+e-bulletin&utm_campaign=76650a31b7-Mid_Summer_2017_eBulletin_COPY_02&utm_medium=email&utm_term=0_fcab8d7a24c-76650a31b7-135834950&mc_cid=76650a31b7&mc_eid=8850037d95)

#### URBAN HIGHWAYS VS. COMPLETE STREETS: Cities can build streets for people instead of for cars.

The expert consensus is clear. Complete streets are healthier, more productive, more sustainable, more equitable, and move more people than highways.



# La transition énergétique

## Les changements techniques qui se dessinent

et satisfaisantes. Beaucoup de solutions commencent à émerger dans nos villes telles la réallocation des espaces urbains en faveur des moyens de transport publics et partagés et des moyens non motorisés avec une grande complémentarité entre toutes les options possibles.

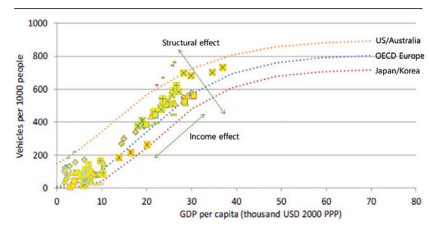
Il est d'ailleurs démontré que les villes disposant historiquement d'un réseau de transport public dense et efficace entraînent un plus faible taux de possession de véhicule particulier. Tout l'enjeu des politiques publiques en faveur d'un air propre et du climat est donc d'influer sur la courbe de Gompertz de l'adoption des véhicules particuliers (figure ci-contre), qui représente la pénétration d'un bien de consommation dans la société, jusqu'à une certaine saturation du marché.

La route vers l'efficacité énergétique se trouve pourtant quelque peu retardée par de nouvelles tendances de consommation comme l'adoption très rapide et à grande échelle des SUV depuis dix ans (5 % de part de marché en France en 2008, 40 % en 2020). Ces véhicules urbains rehaussés, plus gros et puissants se sont imposés dans le monde, même en France, pourtant un pays historiquement de voitures à taille modeste. Qu'est-ce qui a fait changer nos besoins depuis 2010 ? Leur déploiement est pourtant allé à contre-courant d'une réduction de la consommation de nos véhicules. Un SUV électrique permet d'engendrer de grandes économies d'énergie par rapport à un SUV thermique, mais il consommera toujours plus qu'un véhicule de taille et de puissance plus modeste, sans parler des problèmes d'espace disponible en milieu urbain ainsi que leur plus grande dangerosité en cas d'accident.<sup>43</sup>

Les problématiques de la voiture pour le transport des personnes ont des similitudes avec celles du transport de marchandises par la route. Les poids-lourds représentent à l'échelle mondiale 6 % des véhicules routiers mais sont responsables de 30 % de leur demande en énergie.<sup>44</sup> Il s'agit donc d'un secteur pour lequel des mesures ciblées

→ **Changement de l'activité sur une sélection de lignes aériennes après déploiement d'une ligne ferroviaire à grande vitesse. Ces dernières peuvent réduire l'activité aérienne sur les mêmes corridors jusqu'à 80% en un laps de temps court après leur mise en service.**  
Source : IEA (2019), *The Future of Rail*. All rights reserved.

→ **Représentation schématique du taux de possession de véhicules particuliers en fonction des revenus moyens. Le taux de possession de véhicules particuliers augmente avec les revenus par habitant mais est aussi structuré par les politiques publiques locales (taxation, densité urbaine, transports en commun).**  
Source : Réalisé à partir de données de UNECE (2012).



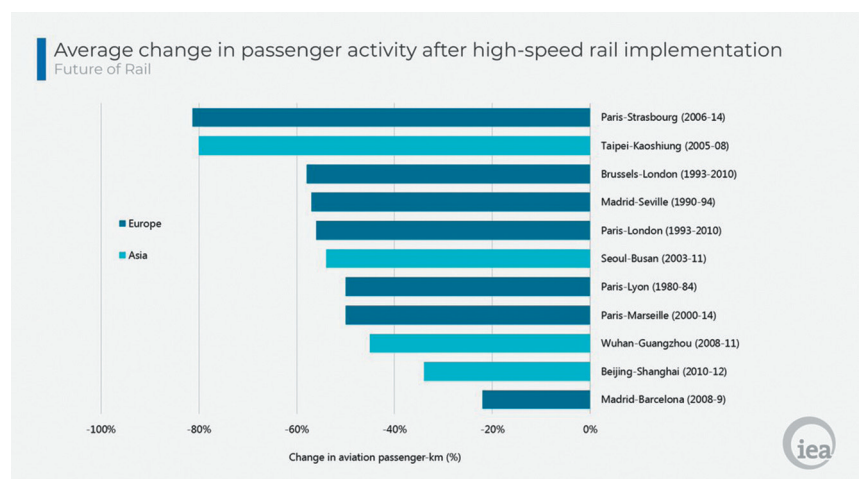
peuvent avoir un impact important. Une réduction des distances à parcourir, une meilleure optimisation des opérations et la recherche de l'efficacité énergétique en plus du développement d'alternatives modales (ferroviaire, fluvial) pour le fret font aussi partie des enjeux pour un transport plus propre.

### Un fort potentiel pour un usage plus sobre de l'avion

Aujourd'hui responsable de 3 % des émissions de gaz à effet de serre au niveau mondial, l'activité du secteur aérien devrait être multipliée par presque 4 dans les 50 prochaines années par rapport à 2019.<sup>45</sup> La disponibilité des sources d'énergie alternatives afin de faire significativement baisser les émissions de ce secteur est donc posée. Les voyages sur de très longues distances dans un laps de temps très court, que l'avion est le seul à permettre aujourd'hui, engendrent les plus fortes consommations d'énergie en valeur absolue (pas forcément par kilomètre parcouru). Le récent rapport du SHIFT sur l'aérien a mis en lumière qu'« aucune trajectoire réaliste ne peut conduire à l'objectif [du maintien du secteur dans un budget carbone compatible avec les objectifs de l'Accord de Paris sur le climat de 2015<sup>46</sup>] sans réduire la croissance du trafic ».<sup>47</sup>

Deux voies constituent des clés d'une limitation raisonnable de cette croissance. La première est le fort potentiel de substitution d'une partie des trajets aériens par les lignes ferroviaires à grande vitesse. Sur des distances où les deux modes sont mis en compétition, il a été observé une nette diminution des trajets effectués en avion au profit du ferroviaire (voire graphe ci-dessous), plus pratique pour le voyageur. Il est aussi le plus souvent bien plus efficace énergétiquement car électrifié et moins émetteur de gaz à effet de serre.<sup>48</sup> La France est l'un des pays les mieux équipés en lignes à grande vitesse, mais ce n'est pas le cas de beaucoup d'autres pays dans le monde.

- 43. [https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/infographies-plus-lourds-plus-polluants-plus-dangereux-pourquoi-les-suv-sont-dans-le-retrovisueur-des-ecolos\\_4105801.html](https://www.francetvinfo.fr/monde/environnement/infographies-plus-lourds-plus-polluants-plus-dangereux-pourquoi-les-suv-sont-dans-le-retrovisueur-des-ecolos_4105801.html)
- 44. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- 45. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020>
- 46. ce sans favoriser le secteur aérien par rapport aux autres modes de transport et sources d'émission, c'est-à-dire sans permettre à l'aérien d'utiliser de budget carbone qui serait alloué, en proportion des émissions actuelles, à d'autres secteurs.
- 47. [https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03/Pouvoir-voler-en-2050\\_ShiftProject\\_Rapport-2021.pdf](https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/03/Pouvoir-voler-en-2050_ShiftProject_Rapport-2021.pdf)
- 48. <https://www.iea.org/reports/the-future-of-rail>



La seconde, c'est le profil des utilisateurs du transport aérien. En 2018, plus de 60 % des émissions mondiales de CO<sub>2</sub> du secteur aérien ont été générées par les 16 % de la population aux revenus les plus élevés. ☺ Près de 20 % des émissions sont également dues aux voyageurs en espaces « premium ». ☺ Dans ce contexte, une taxation plus forte, instrument répandu pour influencer les choix d'entreprises ou d'individus, financer les infrastructures et éventuellement compenser les externalités négatives liées à une activité devrait être plus aisée à mettre en place que dans d'autres cas, les risques d'impacter négativement des populations modestes étant limité. Œuvrer à une meilleure gestion des déplacements professionnels (une grande partie des voyages « premium ») et repenser les bonnes pratiques dans ce domaine en incitant les entreprises à réévaluer la nécessité et/ou la fréquence de leurs déplacements en avion est sans doute l'une des pistes les plus réalistes et les moins impactantes pour les libertés individuelles de mobilité. Entre autres, les entreprises peuvent encourager le recours au train à grande vitesse, ou les rencontres à distance dont la pandémie de Covid-19 a révélé la faisabilité et l'efficacité.

### Digitalisation et automatisation de la mobilité : des opportunités et une vigilance nécessaire pour donner vie au transport durable de demain

Les transformations technologiques et sociétales actuelles sont également

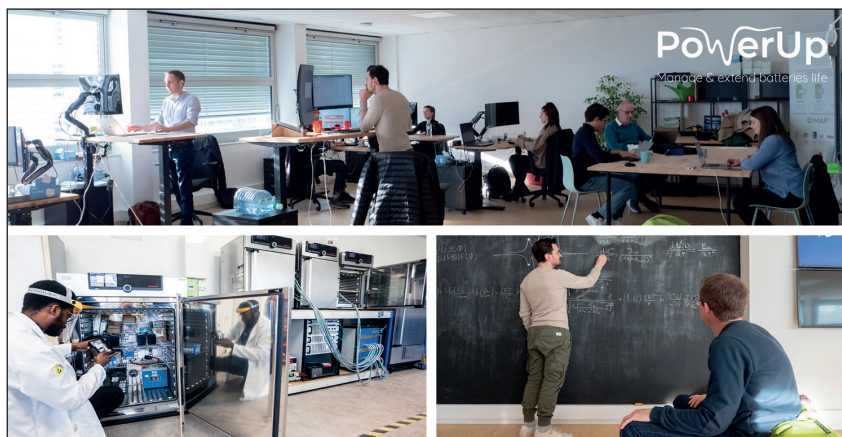
accompagnées par le virage digital amorcé dans tous les secteurs de l'économie. Dans les transports, cela se traduit par un degré de plus en plus élevé d'automatisation des véhicules, mais aussi d'interconnexion entre services, utilisateurs, infrastructures, et tous les acteurs de la mobilité. ☺ Un degré fort de connectivité dans les transports permet à la fois l'optimisation des trajets et parcours, et une meilleure communication afin de mutualiser les services de transport de fret ou de passagers.

La digitalisation pourrait aussi engendrer un effet « rebond », c'est-à-dire une intensification de notre recours aux moyens de transports classiques auxquels nous essayons pourtant de réduire notre dépendance. Les risques sont l'intensification de l'utilisation de services de chauffeur individuel y compris pour des trajets courts ou réalisables en transports en commun, la possibilité de réaliser des activités en voiture autres que la conduite grâce à l'automatisation qui pourrait inciter les travailleurs à accepter de plus longs trajets quotidiens, ou encore le commerce digital intensifiant les achats couplés au transport international et de livraison.

Pour les décideurs et les citoyens, les enjeux de la mise en place de la mobilité du futur sont importants pour un accès juste et équitable au droit à la mobilité, et pour la limitation des conséquences pour le climat et l'environnement. On sait par ailleurs que les effets néfastes des activités de transport actuelles sont souvent exacerbés pour les populations les moins mobiles.

Les décisions sont à prendre à la fois à court et à plus long-terme : il faut amorcer la conversion de l'appareil industriel et de l'économie du transport, et avoir une vision claire des objectifs. Pour donner un exemple pratique, il sera nécessaire de mettre en place une transition pour le financement de l'infrastructure des transports dans un avenir proche. Une grande partie de ce financement est historiquement basé sur les taxes sur les carburants (principalement pétrole et diesel). Cette source de revenus sera de moins en moins viable au fur et à mesure de la diversification des sources d'énergie et de la transition à l'électrique. ☺☺ Changer notre rapport à la mobilité des personnes et au transport des marchandises est un défi. Comme nous le disions plus haut, la transition énergétique dans les transports est un tournant nécessaire et la décennie qui s'annonce sera décisive pour le déploiement d'un nouveau modèle de mobilité durable. ■

- 49. <https://www.iea.org/reports/energy-technology-perspectives-2020> (voir notamment box 5.5)
- 50. <https://theicct.org/sites/default/files/publications/CO2-commercial-aviation-oct2020.pdf>
- 51. [https://steps.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2017/05/STEPS\\_ITDP-3R-Report-5-10-2017-2.pdf](https://steps.ucdavis.edu/wp-content/uploads/2017/05/STEPS_ITDP-3R-Report-5-10-2017-2.pdf)
- 52. <https://100years.enotrans.org/eno-in-the-1930s/>
- 53. <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2019> (voir notamment section "Government revenue from taxation", p.189)



### POWERUP, SPÉCIALISTE DE LA GESTION DES BATTERIES LITHIUM-ION !

Notre savoir-faire s'appuie sur une **expertise de plus de dix ans** de recherche du **CEA-Liten** et **7 brevets**. La **technologie MAP** garantit l'usage efficace et la maintenance de vos batteries en fonction de leur utilisation.

### REJOIGNEZ-NOUS!

[welcometothejungle.com/fr/companies/powerup](http://welcometothejungle.com/fr/companies/powerup)



Emanation du 

# La transition énergétique

Les changements techniques qui se dessinent

## Auto consommation collective le futur de l'énergie ?

Consommer et partager l'électricité verte produite par un parc solaire, tout en réduisant ses factures !

### L'autoconsommation collective, qu'es acqû ?

C'est le fait d'être plusieurs à consommer l'électricité produite par un parc photovoltaïque au sein d'une zone définie. Les consommateurs voisins du parc solaire peuvent acheter directement l'électricité produite par les panneaux photovoltaïques au producteur local d'électricité verte. Ce système permet en outre de s'affranchir de certaines taxes liées à l'utilisation du réseau électrique public (notamment car les besoins de transport afférent sont moindres) et ainsi de bénéficier d'un tarif avantageux.

Les avantages de ce système : Une production et consommation locale de l'électricité. Une énergie vraiment verte, respectueuse de l'environnement. Un système économique local et juste. Une réappropriation locale des enjeux énergétiques. C'est le circuit court de l'énergie !

### Qui peut participer à ces opérations ?

Tout particulier ou entreprise peut bénéficier d'une opération d'autoconsommation collective, en fonction de ces deux critères :

- La localisation géographique. Les bénéficiaires doivent se situer dans un rayon géographique proche du parc solaire. Les logements et entreprises situés à une distance inférieure à 20 km sont éligibles à l'offre locale (arrêté du 14.10.2020)
- Le profil de consommation. Certains profils de consommation sont particulièrement adaptés aux projets d'autoconsommation collective. En effet, pour consommer un maximum d'énergie locale, il faut consommer en journée (en même temps

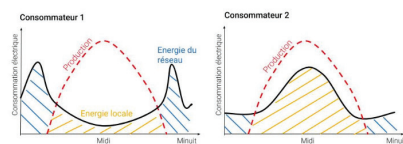
**PARCOURS**



**Simon COSSUS**  
IMT Mines Albi, promo 2005

Il est Directeur Général chez Enercoop Languedoc-Roussillon.

que la production d'électricité). C'est pourquoi les foyers ou structures qui ont des consommations élevées en pleine journée sont des profils particulièrement intéressants pour ces offres.



### Qu'est-ce-que ça change ?

À la fois rien et tout ! Concrètement, l'électricité consommée sera toujours d'aussi bonne qualité : pas de coupure, aucune installation à faire pour le consommateur, pas d'engagement dans la durée. C'est uniquement le système de facturation qui sera légèrement modifié. Par contre en intégrant ce type de projet d'autoconsommation collective, une part des charges d'électricité devient stable sur

le long terme (le prix du photovoltaïque est connu à l'avance) et l'on participe au financement d'un parc de production d'énergie sur notre territoire. Le reste inhérent au complément d'énergie pour alimenter la nuit ou les jours sans soleil, viendra de votre fournisseur classique.

Les limites du dispositif :

Actuellement, la puissance maximale pour ce type de projet est de 3MW soit environ 4GWh/an de produisible dans le sud de la France. C'est l'équivalent de la consommation d'environ 1000 foyers hors chauffage. On observe beaucoup de nouveaux projets qui se basent sur ce modèle économique mais en proportion du total des projets photovoltaïques cela reste très marginal. Cette situation est due à la complexité de la facturation de l'énergie au client final qui relève plus du métier de fournisseur d'énergie que de celui de producteur, donc d'un métier plutôt dédié au marché de masse plutôt que traditionnellement industriel et peu tournée vers le grand public.

Les opérateurs y voient pourtant aujourd'hui un levier très intéressant après celui de l'investissement participatif pour améliorer l'intégration socio-économique des projets d'énergie renouvelable et lever certaines oppositions qui leur sont parfois faites.

A long terme on peut également se poser la question de la notion de service public de l'énergie, car ces pratiques peuvent ouvrir la porte à de fortes disparités du coût du kWh en fonction des régions, notamment pour celles moins bien dotées en énergies renouvelables, et a contrario pour d'autres, leur permettre de développer une vraie compétitivité économique. ■



# L' "Air Inflammable" de Lavoisier sera-t-il le vecteur énergétique de la prochaine ère ?

Le stockage d'électricité via un système de conversion du gaz d'hydrogène est une solution qui présente des atouts séduisants pour répondre aux défis des systèmes électriques de demain. En effet, ces systèmes sont en pleine évolution, et dans ce contexte, les réseaux électriques pourraient être confrontés à des besoins nouveaux en techniques de stockage d'électricité. On cherche notamment des systèmes de stockage « propres », économiquement viables et techniquement fiables pour pallier à l'intermittence des énergies renouvelables. Pour la filière « Hydrogène énergie » c'est ici une opportunité de faire émerger une application industrielle de grande ampleur.

## Un paysage énergétique en pleine évolution

La croissance démographique et le développement accéléré des pays émergents rendent les prévisions de consommation énergétique mondiale très incertaines. Cette consommation devrait continuer d'augmenter, d'autant plus avec l'électricité, vecteur énergétique qui symbolise la modernité et le développement avancé d'une société. En effet, on observe une forte corrélation entre les taux d'électrification des pays et leur PIB (Produit Intérieur Brut), ou leur IDH (Indice de Développement Humain). Plus ces taux augmentent, plus ces indicateurs sont élevés. Ce phénomène est réversible, ces indicateurs sont hauts lorsque la consommation d'électricité par habitant est importante.

L'électricité n'existe pas à l'état naturel, il faut la produire à partir d'énergies fossiles, nucléaires ou bien renouvelables. Ainsi, il faut se préparer à ce que la consommation des ressources permettant de produire cette électricité augmente en suivant cette dynamique. Néanmoins, si nous prenons en compte le progrès technique dans les différentes industries concernées par ce vecteur énergétique (production, transport/distribution et conversion) et la sobriété de la demande en aval, cette croissance pourrait être sérieusement atténuée. Ces deux derniers points sont même devenus primordiaux pour la

**PARCOURS**



**Teddy BOUVET**  
IMT Mines Alès, promo 2010

Il travaille à Vancouver (Canada) chez Ballard Power Systems comme Technology Solutions Engineer.

plupart des pays qui sont dépendants des énergies fossiles, c'est-à-dire la quasi-totalité des pays du globe. Tout d'abord, les réserves naturelles s'épuisent, et les marchés entrent peu à peu dans une forte tendance des prix à la hausse. Il semble très audacieux de croire que l'on pourra maîtriser le prix du pétrole ou du gaz encore longtemps, alors que la demande ne cesse de croître et la production commence à être limitée. Ensuite, les énergies fossiles sont confrontées aux problématiques du changement climatique. Le dioxyde de carbone issu de la combustion de ces énergies est responsable du phénomène d'effet de serre irréversible sur le climat.

Ainsi, l'énergie nucléaire et les énergies renouvelables devraient peu à peu prendre la part des énergies fossiles dans les mix énergétiques nationaux. Cet effet pourrait aussi être dissimulé par l'augmentation des importations d'électricité aux interconnexions avec des pays « moins fossiles ». Il semble donc évident que le nouveau défi pour les énergéticiens de demain sera de mettre en œuvre des solutions innovantes pour faire des économies d'énergie. La moins chère et la moins polluante des énergies, sera toujours celle que nous ne consommerons pas !

## Les systèmes électriques insulaires ont l'expérience de la production décentralisée

Les systèmes électriques insulaires sont souvent limités en nouvelles capacités. Les grandes centrales traditionnelles, telles les centrales thermiques au charbon ou les centrales nucléaires sont coûteuses, et parfois trop risquées à mettre en service dans ces territoires. En effet, dans le cas des centrales nucléaires, les risques sismiques, volcaniques, peuvent rendre l'exploitation de ces moyens de production trop dangereuse. La construction de gros ouvrages pour

# La transition énergétique

Les changements techniques qui se dessinent



©Shutterstock

transporter l'électricité est-elle aussi plus compliquée. Enfin, pour les sites les plus isolés, l'approvisionnement en combustible fossile s'avère excessivement coûteux. Ces régions ont donc parfois recours à des moyens d'électrification plus simples, décentralisés, pour tirer profit du potentiel local en gisement solaire ou éolien. D'autant plus que les orientations politiques en faveur des énergies renouvelables créent de fortes incitations financières pour investir dans ces énergies. Cependant, dans les systèmes électriques insulaires, le réseau est souvent peu étendu et peu maillé. Il est donc beaucoup plus sensible aux variations de production et de consommation que sur des réseaux continentaux. Ainsi, l'intermittence de la ressource renouvelable fragilise l'équilibre entre l'offre et la demande. En effet, un passage nuageux ou une variation des vents peut faire varier brutalement la production d'électricité et déstabiliser complètement un réseau.

C'est ainsi que nous voyons apparaître la problématique du stockage dans les systèmes électriques insulaires. Nous savons que l'électricité se stocke difficilement. Elle se stocke à petite échelle (stockage décentralisé ou nomade) dans des batteries électrochimiques, ou à plus grande échelle (stockage centralisé) de manière indirecte par des dispositifs de

turbinage/pompage intégrés à des bassins hydrauliques. Sous l'impulsion du nouveau contexte énergétique, nous observons depuis quelques années un nombre important de projets de démonstration de nouvelles technologies de stockage dont l'ambition est de contribuer à l'intégration massive des énergies renouvelables intermittentes.

Notamment, pour des missions de lissage de la courbe de production (intermittente) ou d'équilibrage des réseaux (report d'énergie produite en heure creuse vers les périodes de pointe). Parmi ces technologies, le stockage d'électricité via un système de conversion d'hydrogène (électrolyse/pile à combustible) est une solution qui suscite un intérêt grandissant, notamment en Guyane Française avec le projet CEOG ([www.ceog.fr/le-projet](http://www.ceog.fr/le-projet)) développé par la société Hydrogène de France (HDF) en collaboration avec Ballard Power Systems ([www.ballard.com](http://www.ballard.com)).

## L'hydrogène : une solution idéale ?

En 1783, le français Antoine Laurent de Lavoisier publia un rapport sur la synthèse

de l'eau, composé d'« air inflammable » et « d'air vital ». Quelques années plus tard, cet « air inflammable » est dénommé « hydrogène », c'est-à-dire « qui produit de l'eau ». Tout ceci pour illustrer le lien étroit entre l'eau, symbole de pureté, et l'hydrogène, symbole de propreté. En outre, l'atome d'hydrogène H est l'élément le plus abondant et également réparti sur Terre. Mais la molécule d'hydrogène H<sub>2</sub> n'existe pas à l'état naturel : il faut la produire et l'acheminer ! Actuellement, le principal moyen de production est le reformage (eau + air + énergies fossiles ou biomasse => hydrogène + CO<sub>2</sub>), puis vient ensuite l'électrolyse (eau + électricité nucléaire ou renouvelable => hydrogène + oxygène). Ces procédés de production (avec ou sans CO<sub>2</sub>...) sont facilement adaptables à une architecture centralisée (industrie de réseaux analogue à celle du gaz naturel) ou décentralisée (production et stockage in-situ, y compris à très petite échelle). Du côté de l'utilisation, cette filière « hydrogène énergie » vise principalement les usages dits « mobiles » (propulsion et auxiliaires de puissance dans les transports) et « stationnaires » (stockage d'énergies renouvelables, alimentation de secours). En effet, l'utilisation de l'hydrogène permet de se chauffer, d'alimenter un moteur thermique et/ou électrique, de produire et stocker de l'électricité... Sa combustion dans



un brûleur, un moteur ou sa réaction chimique dans une pile à combustible génère uniquement de l'eau, de la chaleur, et dans ce dernier cas de l'électricité à très bon rendement énergétique (environ 60 %). Si de plus, l'hydrogène est obtenu à partir d'un électrolyseur et que l'électricité employée est renouvelable ou nucléaire, le contenu en émissions de CO<sub>2</sub> de ce vecteur énergétique est très faible. Cette filière est vraiment transversale, et peut être réellement indépendante des énergies fossiles.

## Les nombreux défis de la filière « Hydrogène-Energie »

Aujourd'hui, 90 % de la production d'hydrogène provient directement de combustibles fossiles par le procédé de reformage. La technique la plus exploitée est en particuliers le reformage du gaz naturel dans de grosses unités fixes (production centralisée). D'autres unités de tailles plus modestes et parfois mobiles utilisent du méthanol (production décentralisée). Le rendement énergétique de ces technologies (en incluant la compression) atteint au maximum 60 %. Ce procédé entraîne une libération de CO<sub>2</sub> lorsque la chaleur est fournie par une source fossile, il n'est donc pas valable sur le plan environnemental. De ce point de vue, d'autres solutions existent : la décomposition thermique de l'eau ou l'électrolyse de l'eau. La décomposition thermique à haute température (proche de 3000 °C) dans un réacteur nucléaire ou dans un réacteur solaire n'a encore fait l'objet d'aucune démonstration concrète de faisabilité, mais elle a été à l'étude notamment en France, au CEA, avec le projet de réacteur de 4<sup>ème</sup> génération « Very High Temperature Reactor » (VHTR). La technique de l'électrolyse est la plus utilisée après le reformage. Elle permet d'approcher des rendements énergétiques proches de 80 %. Néanmoins, la production de l'électricité nécessaire à l'électrolyse entraîne à son tour des pertes et va logiquement atténuer ce rendement. Si l'électricité est d'origine fossile, on décrédibilise l'intérêt environnemental et on fait chuter le rendement global aux alentours de 30 %. Si elle est d'origine nucléaire, pas de CO<sub>2</sub>, mais un rendement énergétique tout aussi bas. Si l'électricité est d'origine renouvelable, elle échappe aux deux contraintes précédentes car le faible rendement importe peu puisque l'énergie reçue est « gratuite ». En effet, dans le cas d'une ressource renouvelable

intermittente (solaire ou éolien) cette technique permettrait de maîtriser et valoriser une production fatale abondante qui n'était pas injectée dans le réseau jusqu'à aujourd'hui. L'électrolyse est donc intéressante, mais cette solution est encore relativement coûteuse à faibles volumes (économie d'échelle attendue). Les efforts de R&D et les projets à grande échelle permettront de faire augmenter le rendement global tout en faisant baisser les coûts.

Une fois produit, l'acheminement ou le stockage de l'hydrogène par gazoducs, citernes ou bouteilles ne pose pas a priori plus de contraintes qu'avec le gaz naturel, puisqu'il s'agit aussi d'un gaz. Cependant, il faut noter que les flux volumiques gazeux à faire transiter sont 4 fois plus importants que pour le gaz naturel, à pression et contenu énergétique équivalents. En effet, la molécule d'hydrogène est très énergétique en termes de masse (2,4 fois l'énergie massique du gaz naturel), mais du fait de sa légèreté (8 fois moins dense que le gaz naturel), l'hydrogène est finalement 4 fois moins énergétique en volume que le gaz naturel. Même sous forme liquide (à -253 °C) un volume d'hydrogène à pression atmosphérique est 2,7 fois moins énergétique qu'un volume identique de gaz naturel liquéfié (à -162 °C). Ainsi, le stockage de l'hydrogène sous forme de gaz comprimé (300 à 700 bar en pratique) ou de liquide a un coût énergétique important, bien supérieur à celui du gaz naturel. La compression de l'hydrogène gazeux représente environ 10 % de son contenu énergétique pour passer de 1 à 300 bar et 15 % pour atteindre 700 bar. Quant à la liquéfaction, elle peut représenter jusqu'à 35 % de son contenu énergétique. Ces propriétés physiques sont très souvent soulignées par les détracteurs de la filière « hydrogène-énergie » qui n'hésitent pas à rappeler qu'il s'agit d'un gaz relativement « encombrant ». C'est d'ailleurs l'une des raisons pour lesquelles la filière a du mal à pénétrer sur le marché de l'automobile, et plus généralement dans les secteurs concernés par l'usage des transports « léger », dans lesquels l'encombrement est un critère déterminant.

Du fait de son excellent rendement énergétique (jusqu'à 60 %), la pile à combustible est aujourd'hui présentée comme le meilleur moyen d'utiliser l'hydrogène comme source d'énergie, et notamment pour restituer dans un réseau électrique un produit renouvelable préalablement stocké. Néanmoins, cette technologie doit elle aussi être optimisée sur le plan économique et sur le plan technique. La réaction chimique nécessite une membrane en polymère ainsi qu'un catalyseur de platine, métal précieux, rare et mal distribué à la surface terrestre.

C'est donc un facteur important dans le coût de fabrication de cette technologie. Mais il existe aussi des piles dites à haute température qui ont un besoin réduit en platine. La R&D doit également lever ces obstacles afin que ces technologies puissent devenir compétitives, et largement disponibles.

Enfin, en marge de la maîtrise technique, l'image de l'hydrogène comme vecteur énergétique reste largement à construire auprès du grand public. D'autant plus que l'hydrogène pâtit souvent d'une mauvaise publicité. Les détracteurs n'hésitent pas à avancer l'argument de sa « dangerosité » ou de son « explosivité », mais il n'y a rien de réellement fondé qui prouve que l'hydrogène est plus dangereux que le gaz naturel, ou d'autres combustibles gazeux. Parmi les faits évoqués, on mentionne souvent « l'explosion », devenue « l'incendie » après enquête, du dirigeable Hindenburg de la société Zeppelin, en 1937, aux Etats-Unis. N'y a-t-il jamais eu d'explosions et d'accidents tragiques dans nos centres villes sur les réseaux de gaz naturel ? Ainsi, le fait oublié qui n'est pas toujours mentionné, est que la détonation peut avoir lieu seulement si les gaz sont confinés. Certes, les propriétés physiques de l'hydrogène sont très particulières, mais il s'agit d'un gaz inflammable, ni plus ni moins ! Les risques à maîtriser avec ce gaz sont tout aussi spécifiques que ceux du gaz naturel, ou du gaz de ville (composé pour moitié de dihydrogène, et distribué, malgré tout, pendant plusieurs décennies dans de grandes villes françaises). Le principal risque à maîtriser est que l'hydrogène est incolore, inodore et brûle avec une flamme peu visible. Son énergie minimale d'inflammation très basse (0,02 mJ contre 0,29 mJ pour le gaz naturel) et son domaine d'inflammabilité compris entre 4 et 75 % en milieu confiné (5,3 et 15 % pour le gaz naturel) en font un gaz facilement inflammable. Cependant, par sa faible densité et la petite taille de la molécule, il diffuse extrêmement vite dans l'air. Il diffuse verticalement 4 fois plus vite que le gaz naturel. Cette forte volatilité dans l'air réduit sensiblement les risques d'accumulation, et donc de détonation du gaz. C'est un facteur déterminant pour la sécurité.

La recherche de substituts aux énergies fossiles et les besoins en stockage sur les réseaux électriques vont permettre à la filière « hydrogène-énergie » de se développer et d'atteindre une maturité industrielle dans les prochaines années. Il est encore difficile de se prononcer sur l'horizon de temps (5 ans, 10 ans, 20 ans...), mais il est certain que cette solution répond aux enjeux et est un candidat sérieux parmi les technologies de stockage d'énergie. ■

# La transition énergétique

Les changements techniques qui se dessinent



ARTICLE ORIGINAL

L'article suivant a été publié le 1<sup>er</sup> décembre 2020 sur IMTech, le blog de l'actualité scientifique et technologique de l'IMT ([www.imtech.wp.imt.fr](http://www.imtech.wp.imt.fr)).

Nous reproduisons ci-dessous cet article, avec l'aimable autorisation de Benjamin Vignard, Responsable du pôle Information et communication scientifiques.

## Hydrogène décarboné : comment passer du gris au green ?

Le déploiement industriel de la production d'hydrogène n'a de sens que si celui-ci n'émet que peu ou pas de dioxyde de carbone. Les chercheurs des écoles de l'IMT travaillent notamment sur différentes alternatives à l'utilisation des énergies fossiles, comme l'électrolyse et la photocatalyse de l'eau, la pyrolyse du méthane par plasma ou encore la pyrolyse et gazéification de biomasse.

**P**roduire une tonne d'hydrogène aujourd'hui, c'est émettre 12 tonnes de CO<sub>2</sub>. En effet, 95 % de l'hydrogène mondial sont produits à partir de ressources fossiles. On parle d'hydrogène gris. Une situation incompatible avec le déploiement à long terme de la filière hydrogène. D'autant que, même si le CO<sub>2</sub> émis par les procédés actuels peut être capté en milieu contrôlé, les ressources fossiles ne pourront de toute façon pas répondre aux ambitions gouvernementales sur cette énergie. Développer d'autres modes de production « d'hydrogène décarboné » est donc essentiel. Dans le cadre du réseau Carnot H<sub>2</sub>Mines, les chercheurs des différentes écoles de l'IMT travaillent sur des procédés qui pourraient faire tourner au vert la palette de couleurs de l'hydrogène actuel.

### Du bleu pour se mettre au vert

En ligne de mire du plan gouvernemental français publié en septembre dernier : l'électrolyse de l'eau. Elle consiste à séparer une molécule d'H<sub>2</sub>O en hydrogène et en oxygène grâce à un apport d'électricité. Une solution décarbonée, à condition que l'électricité provienne d'une source renouvelable. Mais pourquoi transformer une énergie déjà propre en gaz ?

” L'hydrogène permet le stockage d'importantes quantités d'énergie sur le long terme, ce que ne permettent pas de faire les batteries à grande échelle pour alimenter tout un réseau, explique Christian BEAUGER, chercheur en sciences des matériaux à Mines ParisTech. Le gaz répond donc en partie à la problématique d'intermittence des énergies renouvelables.

Dans ce cadre, les chercheurs veulent améliorer la performance des électrolyseurs afin de les rendre plus compétitifs sur le marché. À savoir : trouver le meilleur équilibre possible entre rendements, durée de vie et coûts réduits. Les électrolyseurs, sont constitués de plusieurs cellules électrochimiques contenant deux électrodes et un électrolyte, comme dans le cas de piles à combustible. Il en existe trois grandes familles : les alcalins dont l'électrolyte est liquide, les technologies à membrane polymère (PEM) et les systèmes à haute température à base d'oxyde solide céramique (SOC). Chacune présentant des problématiques qui lui sont propres.

À Mines ParisTech, l'équipe de Christian Beauger cherche à augmenter la durée de vie des électrolyseurs PEM en se concentrant sur les matériaux utilisés au niveau de l'anode.

” Nous développons de nouveaux supports de catalyseurs sous forme d'aérogels d'oxydes métalliques qui doivent être

conducteurs électroniques et capables de résister à la corrosion en milieu humide, à une température de 80°C et soumis à des potentiels souvent supérieurs à 2 volts,

rapporte le chercheur. Une autre problématique de taille touche également les matériaux : le coût d'un électrolyseur. En effet, le catalyseur présent sur les électrodes des PEM est l'oxyde d'iridium. Un composé trop cher pour favoriser le déploiement massif de futurs électrolyseurs à forte puissance. C'est pourquoi les chercheurs travaillent sur des catalyseurs à base de nanoparticules d'oxyde d'iridium. Ils réduisent ainsi la quantité de matière et donc le coût potentiel du système.

### Lumière sur la photocatalyse

À l'échelle du laboratoire, une alternative utilisant l'énergie solaire pour casser les molécules d'eau en hydrogène et oxygène est également envisagée. C'est la photocatalyse. Les semi-conducteurs utilisés peuvent être immergés dans de l'eau sous forme de poudre. Sous l'effet des rayons solaires, les paires électrons-trous créées fournissent l'énergie nécessaire à la dissociation des molécules d'eau. Mais attention : les niveaux d'énergie

de ces porteurs de charge doivent être très précisément contrôlés pour être utiles.

» **Nous formons des défauts au sein des matériaux qui viennent introduire des niveaux d'énergie dont la position doit être compatible avec l'énergie nécessaire au procédé,** explique Christian BEAUGER. Un travail d'ultra-précision délicat à réaliser, et qui conditionne l'efficacité de la photocatalyse. La route est encore longue pour les photocatalyseurs dont le rendement dépasse difficilement 1 % pour les plus stables. Mais il ne faut pas enterrer ce mode de production d'hydrogène trop vite, car il est moins cher et plus facile à mettre en place qu'un système combinant une source d'énergie renouvelable et un électrolyseur.

## De l'hydrogène turquoise par pyrolyse du méthane

À Mines ParisTech, l'équipe de Laurent Fulcheri, spécialiste des procédés plasma, travaille sur la production d'hydrogène non plus à partir de l'eau, mais à partir de la pyrolyse du méthane. Une technique encore peu connue en France, bien que largement explorée par nos voisins allemands, russes.

» **Ce procédé nécessite de l'électricité comme pour l'électrolyse de l'eau, mais son principal intérêt est qu'il en nécessite environ sept fois moins que celle-ci. Il permet donc de produire plus d'hydrogène à partir de la même quantité d'électricité,** révèle le chercheur.

En pratique, les chercheurs craquent des molécules de méthane, formule :  $\text{CH}_4$  à haute température.

» **Pour cela, nous utilisons un gaz à l'état plasma pour fournir de l'énergie thermique au système. C'est la seule alternative pour apporter de l'énergie à une température supérieure à 1 500°C sans émission de  $\text{CO}_2$  et à une échelle industrielle** précise Laurent FULCHERI. La réaction génère ainsi deux produits valorisables : l'hydrogène (25 % en masse) et le noir de carbone solide (75 % en masse). Ce

dernier, à ne pas confondre avec le  $\text{CO}_2$ , est notamment utilisé dans la gomme des pneus, les piles, les batteries, des câbles ou encore des pigments. Le carbone est ainsi stocké dans les matériaux et peut théoriquement être recyclé à l'infini.

» **La production d'une tonne de noirs de carbone par cette méthode permet d'éviter l'émission de 3 tonnes de  $\text{CO}_2$  comparé aux méthodes actuelles,** ajoute le chercheur.

Ce procédé a déjà fait ses preuves de l'autre côté de l'Atlantique. Depuis 2012, les chercheurs de Mines ParisTech collaborent avec la start-up américaine Monolith Materials qui a développé une technologie directement inspirée de leurs travaux. Sa localisation dans le Nebraska n'est pas anodine, car elle lui apporte un accès direct à l'énergie éolienne au cœur de la « corn belt », espace agricole majeur des États-Unis. L'hydrogène produit est ainsi transformé en ammoniac pour fertiliser les exploitations de maïs environnantes.

Si la machine tourne, le travail de l'équipe de Laurent Fulcheri, acteur majeur de la R&D de la start-up, est pourtant loin d'être fini.

» **La production d'hydrogène est la tâche la plus simple, car les procédés de purification du gaz sont assez matures. Par contre, le noir de carbone produit peut avoir des valeurs sur le marché drastiquement différentes selon sa nano-structure. L'objectif est donc désormais d'optimiser notre procédé afin de pouvoir générer toutes les qualités de noirs de carbone qui répondent à la demande des industries consommatrices,** présente le chercheur. En effet, l'avenir de cette technologie repose dans les capacités de valorisation des deux coproduits sur le court terme.

## Transformation de la biomasse : une alternative locale

Du côté d'IMT Mines Albi, l'équipe de Javier Escudero travaille sur des procédés thermo-chimiques de transformation de la biomasse par pyrolyse et gazéification. Des déchets organiques sont chauffés

à des températures élevées dans un réacteur et convertis en petites molécules de gaz de synthèse. L'hydrogène, le monoxyde de carbone, le méthane et le  $\text{CO}_2$  ainsi produits sont captés pour ensuite être recombinés ou séparés. Par exemple, le  $\text{CO}_2$  et l'hydrogène peuvent servir à la formation de méthane de synthèse utilisable dans les réseaux de gaz naturel.

Toutefois, un verrou scientifique doit encore être levé :

» **le gaz de synthèse produit est toujours accompagné de molécules inorganiques et de grandes molécules organiques appelées goudrons. Bien que leur concentration soit faible, elle impose tout de même une étape d'épuration supplémentaire du gaz,** explique Javier ESCUDERO. En résulte une augmentation des coûts de traitement qui rend l'implémentation de cette solution plus difficile à petite échelle. Le chercheur travaille donc sur plusieurs solutions. Par exemple, l'exploration de différents matériaux catalyseurs qui permettraient d'accélérer certaines réactions de séparation des molécules des déchets, tout en éliminant les goudrons.

Cette approche pourrait être envisagée comme une forme de valorisation énergétique locale des déchets. En effet, ces technologies permettraient un maillage du territoire à petite et moyenne échelle avec des tailles de réacteurs adaptées à celles des centres de collecte de déchets verts, de résidus agricoles non valorisés, etc. Mais ceci tient également à un besoin de clarification des réglementations encadrant ce type d'installations.

» **Pour le moment, la loi n'est pas claire sur les contraintes environnementales imposées à de telles structures, ce qui ralentit leur développement et rebute certains industriels à vraiment investir dans cette méthode,** précise le chercheur.

Les solutions ne manquent pas pour la production d'hydrogène décarboné. Néanmoins, la réalité économique veut que pour être réellement compétitifs, ces procédés devront produire un hydrogène moins cher que celui issu des énergies fossiles. ■

Par Anaïs CULOT

# La transition énergétique

Les changements techniques qui se dessinent

## La production photovoltaïque

On a tous un(e) ami(e) qui nous a déjà dit : « Je ne trouve plus de sens dans mon travail, j'ai envie de quitter mon emploi et de partir m'installer dans une petite maison en Ardèche pour faire des yaourts à base de lait de chèvre que j'élèverai. » Pourquoi ? Il ou elle n'est plus en phase avec les valeurs que lui propose son mode de vie actuel. Cette personne a besoin de passer d'un mode de vie à un autre, en effectuant une transition.

Voilà ce que représente la transition énergétique à mon sens, un besoin de changement pour réussir à aligner notre mode de vie avec le modèle énergétique permettant la préservation des ressources pour les générations futures. Elle englobe bien plus que le débat sur le développement des énergies renouvelables et l'atteinte des objectifs de la PPE<sup>1</sup>. La transition énergétique c'est l'ensemble des transformations de notre système de production, distribution et consommation d'énergie actuels dans le but de réduire leur impact environnemental.

L'objectif n°7 des Nations Unies pour le développement durable est « Garantir l'accès de tous à des services énergétiques, fiables, durables et modernes, à un coût abordable ».

Mais alors où en sommes-nous en France ? En 2019, la France produisait 537,7 TWh avec 21,5 %<sup>2</sup> de sa production qui était issue des énergies renouvelables : éoliennes, photovoltaïques, hydrauliques et bioénergies. La hausse de production liée à l'énergie éolienne et solaire était notable avec respectivement 21,2 % et 7,8 %<sup>3</sup> en plus par rapport à l'année 2018. 7,9 % de notre production d'énergie dépendait encore des énergies thermiques (gaz, fuel, charbon) et le reste était produit par nos centrales nucléaires. Le solde français en matière d'import/export d'énergie est positif. Si les chiffres sont en progression sur les dernières années, avec notamment une variation de +17,3 % pour l'énergie éolienne de 2019 à 2020, la France n'a pas encore atteint ses objectifs.

Revenons un peu en arrière pour mieux comprendre, tout démarre en 1997, alors que je n'ai qu'un an, le protocole de Kyoto est signé et fixe pour la première fois des

**PARCOURS**



**Léa PASSARD**  
IMT Mines Albi, promo 2019  
Elle est cheffe de projets solaires chez BayWa r.e. France.

objectifs contraignants de réduction des gaz à effet de serre. La même année, la Commission Européenne définit un plan d'action avec comme objectif pour 2010 un doublement de la part des énergies renouvelables dans la consommation d'énergie de l'Union Européenne passant de 6 à 12 %. En 2001 arrivent les premiers tarifs de rachat de l'électricité et au même moment, la Commission de Régulation de l'Énergie (CRE) est créée, permettant d'amplifier le développement des énergies renouvelables. En 2004, c'est la fin du monopole énergétique national et l'ouverture des marchés de l'électricité. Les entreprises et collectivités peuvent choisir leur fournisseur d'électricité. Les premiers contrats d'électricités vertes arrivent. Deux en plus tard, en 2006, le tarif de rachat de l'énergie photovoltaïque est réévalué passant de 0,15€/kWh à 0,30€/

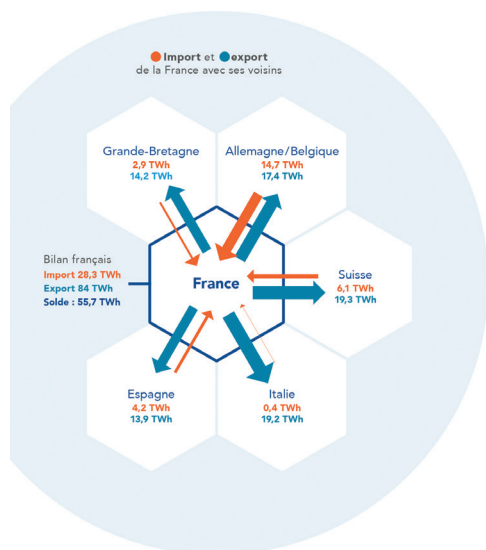
kWh. En 2007 et 2009, les lois Grenelle I et II, ainsi que les lois de finances tendent à encourager le développement des filières renouvelables françaises.

Quand soudain en 2010, c'est la désillusion pour la filière photovoltaïque, la révision des tarifs a engendré un trop grand nombre de projets. Financièrement, la subvention du tarif n'est plus viable et techniquement le réseau ne peut absorber l'ensemble de la capacité à raccorder. L'État suspend les tarifs de rachat et limite le développement des installations en 2011 avec une limite de 500MW/an.

Si les innovations technologiques et la diminution des prix des panneaux ont permis de remettre sur les rails la filière photovoltaïque, il n'en reste pas moins qu'elle fait face à de nouveaux enjeux notamment la raréfaction de surfaces foncières propices. Il faut alors se réinventer en allant valoriser de nouvelles zones dégradées laissées pour l'instant sur la touche et développer de nouvelles technologies en synergie avec l'usage actuel des terrains. Nous nous sommes heurtés à ce défi. En ce moment, les premiers modules photovoltaïques sont installés sur l'eau via un système de flotteurs et les petits arbres fruitiers sont protégés par des couverts d'un nouveau genre : des panneaux photovoltaïques bi-verres.<sup>4</sup>

Tandis que le foncier dégradé devient le graal pour les développeurs ; l'État le valorise via une catégorie à part entière

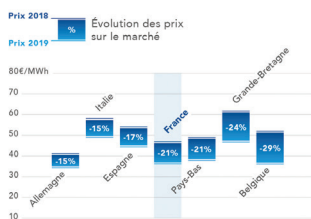
1. PPE : Programmation Pluriannuelle de l'Énergie.  
2. Source RTE  
3. Source RTE  
4. Panneaux dont la phase arrière, normalement en polymère est faite en verre trempé comme la face avant.



## PRIX ET ÉCHANGES

### Le solde France des échanges reste largement exportateur

Le solde des échanges s'établit à 55,7 TWh en 2019, en légère baisse par rapport à l'an dernier. Le solde des échanges est directement lié aux écarts de prix déterminés tous les jours entre la France et ses voisins.



Les prix sont en baisse dans toute l'Europe en 2019. En France, le prix s'établit à 39,45 €/MWh en moyenne sur l'année contre 50,2 €/MWh en 2018. Ceci s'explique notamment par une baisse des prix des combustibles (gaz et charbon) et par des températures assez douces en hiver. Le prix français reste un des plus bas d'Europe, ce qui explique la bonne tenue des exports.

aux appels d'offre de la CRE. Les bassins industriels, sites de carrières post exploitations, barrages et réservoirs d'eau voient petit à petit leur surface se parer de panneaux photovoltaïques.

Dans nos champs, de nouvelles technologies émergent désireuses de servir l'agriculture tout en produisant dans un second temps de l'énergie verte : c'est l'agrivoltaïsme. Les panneaux répondent alors à un besoin de réponses aux aléas météorologiques induit par le changement climatique : sécheresse, épisode de grêle. Les cultures bénéficient de protections. Les phénomènes d'évapotranspiration sont réduits. Le système devient résilient et pérenne économiquement pour les agriculteurs.

Mais les avancées technologiques et la R&D ne suffisent pas. Le moratoire<sup>5</sup> de 2010 pour le photovoltaïque est la preuve que comme l'ensemble des sujets environnementaux ; la transition énergétique est transversale. Les directives politiques sont essentielles pour endencher un changement rapide. Cependant, elle nécessite une viabilité économique et sociale pour pouvoir se concrétiser sans accroche.

Nous sommes en retard. La filière pâtit de nombreux préjugés et de mésinformations. L'acceptabilité locale des projets est plus que primordiale. Le développement des énergies renouvelables ne se fera pas sans pédagogie. Pourtant, le sujet n'est encore que peu traité dans les classes primaires où le programme aborde étroitement

la présence de différents types de production d'énergies renouvelables et non renouvelables. Cette carence d'information est renforcée par une couverture médiatique maladroite, diffusant des informations souvent incomplètes et sur un ton parfois alarmiste.

Comment réussir à désamorcer les attitudes antagonistes telles que « les éoliennes, c'est bien mais pas sur ma commune ? ». Comment créer des projets coercitifs ? Selon un sondage de l'Ademe réalisé en 2020, 45 % des Français uniquement accepteraient « qu'un parc de 5 à 10 éoliennes soit installé à moins d'un kilomètre de chez eux ».

Comme le disait Charles F. KETTERING

» Le monde déteste le changement, c'est pourtant la seule chose qui lui a permis de progresser

Le changement est nécessaire. S'il est réfléchi, il n'est pas négatif et nous fait avancer dans la bonne direction. On peut alors se demander quelle est la bonne direction ?

Pourquoi est-il intéressant de valoriser et d'encourager le développement des filières renouvelables ? Le développement des énergies renouvelables va nous permettre dans un premier temps de ne plus avoir recours aux énergies thermiques et ainsi de diminuer les émissions de CO<sub>2</sub> liée à la production d'électricité.

La production, le transport et le démantèlement des technologies renouvelables persistent comme sujet sensible dans les discussions. Il est indéniable que toute production engendre un impact. L'utilisation des ressources, l'énergie pour la production, le transport engendrent des émissions de CO<sub>2</sub> ; cependant le bilan se régule durant les phases d'exploitation d'un parc photovoltaïque. Avec un taux de valorisation de plus de 95 % des panneaux photovoltaïques, la fin de vie des parcs photovoltaïques vient confirmer l'intérêt du développement des infrastructures. En 2018, la première usine de recyclage des panneaux français a d'ailleurs été inaugurée à Rousset, Bouche-du-Rhône (13).

Dans un second temps, le développement des énergies renouvelables sur le territoire engendre un aménagement, une décentralisation des infrastructures et une répartition sur l'ensemble des territoires d'emplois non délocalisables. Les projets viennent redynamiser des territoires qui parfois ne possèdent pas d'attractivités économiques notables. Si l'on nous reproche de dénaturer le paysage par l'installation de « géants de fers bruyants », on ne nous reproche pas l'impact économique du projet sur le territoire.

L'argent, est-ce donc cela qui régit notre transition énergétique ? En partie, mais le plus grand facteur, c'est nous. Nous sommes l'interrupteur : nos actions, nos choix et nos certitudes permettent ou empêchent le développement de projets EnR. Nous devons également, en tant qu'acteur de la filière, nous remettre en cause, continuer de nous challenger et innover pour imaginer et construire des projets pérennes et pertinents pour nos territoires.

» Change will not come if we wait for some other person or some other time. We are the ones we've been waiting for. We are the change that we seek

Barack OBAMA

Alors éteignons nos téléviseurs, diminuons notre consommation et changeons nos contrats d'électricité pour une offre verte parce que nous sommes la transition énergétique. ■

<sup>5</sup> Suspension des actions en justice, des obligations de paiement.

# La transition énergétique

Les changements techniques qui se dessinent

## Interview

**Victorien DELANGUE**  
IMT Mines Albi, 2019

**Sales Manager**  
chez ELUM ENERGY

### 1/ Quelques mots pour te présenter ?

**Victorien DELANGUE :** Victorien Delangue, Promo IFIE 2019, premier batch de l'option Energie et transition numérique (ETN : Ce parcours vise à former des ingénieurs aptes à accompagner la transition numérique au sein du secteur de l'énergie. En lien avec la digitalisation et l'évolution du secteur de l'énergie, il prépare les élèves-ingénieurs à concevoir, optimiser et exploiter des systèmes propres et intelligents de production, transformation ou distribution d'énergies multi-sources, incluant les solutions numériques d'aide à la décision). Après mon stage de fin d'étude à Singapour j'ai accepté de lancer l'activité en Afrique du Sud d'une entreprise de l'Energie française (Elum Energy), ça fait maintenant plus d'un an et demi que je vis en Afrique du Sud.

### 2/ De la France à l'Afrique du Sud en passant par Singapour, tu as été très mobile et tu as dû être confronté à des visions de la Transition différentes. Quelle est ta vision personnelle de la Transition Énergétique ?

**Victorien DELANGUE :** C'est exact, être mobile est une prise de risque et il peut être frustrant de ne pas s'arrêter et construire sur le long terme mais c'est aussi quelque chose qui apporte énormément personnellement et professionnellement. Très concrètement j'ai pu voir les différences d'approches en ce qui concerne la transition écologique et énergétique. D'abord en étudiant en Norvège où la population est très proche de la nature et où l'approche durable est présente depuis longtemps et que la population embrasse dans tous les secteurs. À Singapour, l'approche est très technologique et les startups qui veulent



être actrices de la transition foisonnent, les opportunités sont grandes et l'Asie du Sud Est est un marché en pleine explosion. En Afrique, le renouvelable peut jouer un rôle déterminant et a un potentiel extraordinaire pour ne pas reproduire les erreurs de développement environnementalement inconscient des pays du « Nord » économique mais où les défis financiers et politiques sont importants.

### 3/ Pourquoi le solaire est une solution ?

**Victorien DELANGUE :** Le solaire est une solution dans les pays où la production en électricité est en majorité carbonée et/ou quand la production centralisée d'un pays ne suffit pas à électrifier tout le pays. C'est aussi une solution pour réduire l'empreinte carbone pour des bâtiments/entreprises dans des pays où le réseau est peu stable et où un générateur au fuel doit généralement prendre le relais lorsque le réseau tombe, l'intégration du solaire permet de réduire la consommation de fuel dans ce cas. C'est aussi une solution désormais viable économiquement car les prix du kWh solaire ont chuté ces dernières années et son utilisation est maintenant plus que compétitive face aux énergies fossiles.

### 4/ Quels sont les leviers les plus contraignants au développement du solaire ?

**Victorien DELANGUE :** Bien évidemment son caractère intermittent, la production telle qu'elle n'est pas pilotable. Le couplage avec d'autres sources de production et bien sûr le développement des solutions de stockage (batteries essentiellement) est une réponse à l'intermittence mais les coûts des solutions de stockage, bien que décroissant, sont toujours élevés. Des évolutions techniques de ce côté et une chute des prix permettrait au solaire de passer un cap en devenant une solution pilotable et actionnable.

### 5/ Aujourd'hui, quel est ton objectif professionnel ?

**Victorien DELANGUE :** Mon objectif est de monter en compétence sur les enjeux de la transition numérique et d'accumuler de l'expérience terrain qui est indispensable pour mener des projets à bien. Apprendre de nouvelles manières de travailler et être confronté à des problèmes non centrés sur l'Europe ou l'Occident me permettent aussi d'agrandir mon champ des possibles et d'avoir une vue neuve sur certains enjeux globaux car la transition se joue partout. ■

# L'efficacité énergétique des composants systèmes et procédés au service de la transition énergétique

## PARCOURS



**Daniel BOUGEARD**

Professeur à IMT Lille-Douai, adjoint au Directeur du CERI Énergie Environnement Chargé de la recherche.

L'équipe Efficacité Énergétique des Composants Systèmes et Procédés (ECSP) du CERI Énergie Environnement de l'IMT Lille Douai développe une recherche profondément ancrée dans les problématiques actuelles de transition énergétique et de développement durable. Nos recherches visent à accroître la compréhension fine des mécanismes et phénomènes physiques de transfert à différentes échelles, afin d'améliorer les connaissances fondamentales et, in fine, envisager des avancées technologiques et des innovations pour accroître l'efficacité énergétique des composants systèmes et procédés (voir Figures). Identifier, comprendre, intensifier (gagner en compacité et augmenter

les performances), optimiser sont les mots d'ordre de notre équipe. Nous nous appuyons sur des compétences variées en mécanique des fluides, thermique et génie des procédés permettant de traiter des problèmes et des applications diverses : stockage thermique pour le bâtiment et l'industrie, optimisation d'échangeurs /réacteurs, gestion thermique des batteries pour véhicules électriques et hybrides, intensification des procédés et bioprocédés, méthanisation, refroidissement de composants électroniques et de data center... Afin de mener nos recherches à bien, nous développons des méthodes et installations expérimentales dans un laboratoire de 2000 m<sup>2</sup>, et utilisons des instruments scientifiques de pointe dédiés à la caractérisation des écoulements fluides (LDA, PIV, SPIV, S- $\mu$ PIV) et des transferts thermiques (caméras IR, LIF) ainsi que des outils et moyens de simulation numériques avancés (Fig. 1). Notre recherche est avant tout applicative, avec de nombreux contrats de recherche partenariale réalisés aux côtés d'acteurs de l'industrie des secteurs automobile, agroalimentaire, aéronautique, fabrication de composants et équipements thermiques pour la production d'énergie, le génie chimique, le chauffage et la climatisation de bâtiments, l'industrie pharmaceutique. Une de nos missions les plus importantes est en effet d'accompagner le monde industriel dans la transition énergétique et l'industrie 4.0. Notre recherche est structurée en deux axes : « Milieux Fluidiques et Composants » (MFC) et « Milieux Multi-Physique et Systèmes » (MPS).

L'efficacité des systèmes et procédés énergétiques est directement liée aux performances de composants

particuliers dans lesquels s'effectuent des échanges d'énergie, de matières, d'espèces impliquant des fluides à la rhéologie complexe ou des suspensions. L'amélioration des performances dans ces composants thermofluidiques ou échangeurs/réacteur, par des méthodes passives et actives (voir Fig. 1 & 2), en interaction avec le comportement rhéologique de fluides innovants plus ou moins complexes (boues de station d'épuration, suspension, nanofluides, etc.) est au cœur de nos recherches (Fig. 3). Les objectifs scientifiques de l'axe MFC sont de déterminer quelles stratégies d'intensification mettre en œuvre en fonction de la physique des phénomènes de transfert et des propriétés rhéologiques des fluides.

Améliorer les composants et systèmes énergétiques ne se résume pas à traiter des problèmes de mécanique des fluides ou de thermique purs. Plusieurs phénomènes multiphysiques entrent souvent en jeu comme les changements d'état liquide/vapeur ou liquide/solide, réactions exothermiques ou endothermiques, transport de particules et déposition, qui accentuent la complexité des systèmes énergétiques, leur comportement et leur dynamique. L'axe MPS a donc pour objectif de mieux comprendre ces phénomènes pour améliorer l'efficacité énergétique du procédé. Cet axe s'intéresse également à modéliser à l'échelle du système énergétique les différentes interactions entre les composants. Les applications de l'axe sont nombreuses : stockage thermique latent ou sensible (Fig. 4), purification du biogaz (Fig. 5), récupération de chaleur fatale, milieux poreux, modélisation de la qualité de l'air intérieur. ■



# La transition énergétique

Les changements techniques qui se dessinent



## PARCOURS



**Amir BAHRANI**

Enseignant-chercheur à IMT Lille-Douai, animateur Axe Milieux Fluidiques et Composants.

## PARCOURS



**Rémi GAUTIER**

Enseignant-chercheur à IMT Lille-Douai, animateur Axe Milieux Multi-Physique et Systèmes.

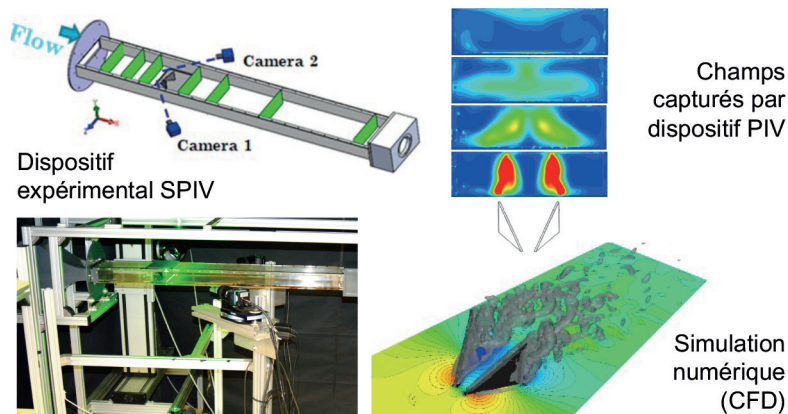


Figure 1

Les équipementiers automobiles souhaitent développer des échangeurs de chaleur (ex: radiateurs) toujours plus efficaces et légers. Dans ce contexte, on cherche ici à intensifier les transferts de chaleur par une technique passive appelée « générateur de tourbillons ». Pour mieux comprendre les phénomènes induits, l'équipe s'appuie sur une double compétence expérimentale et numérique avec l'utilisation d'un système stéréo-PIV (Particle Image Velocimetry: ensemble caméras ultra-rapides et nappes laser) et de simulation numérique CFD (Computational Fluid Dynamic) haute fidélité de la turbulence. Ces travaux sont menés en collaboration avec de grands équipementiers du secteur automobile mais aussi aéronautique.

Figure 2

Intensification des phénomènes de transfert par déformation des parois d'une géométrie annulaire pour une application dans un Capteur Solaire (CS) et un Echangeur-réacteur Chimique Continu (ECC). Le caractère chaotique de l'écoulement, et donc les propriétés de mélange et de transfert thermique, est qualifié à l'aide de sections de Poincaré : la distribution homogène de particules observée à la sortie du dispositif, alors que celles-ci ont été injectées en un unique point à l'entrée, montre ici une excellente efficacité des macro-déformations pariétales apportées aux surfaces d'échange. Cela offre des perspectives intéressantes au niveau des 2 applications visées (CS et ECC).  
(Thèse de doctorat de Ferial Yahiat financée par la région Hauts de France en collaboration avec le département Smart Systems & Energy de JUNIA)

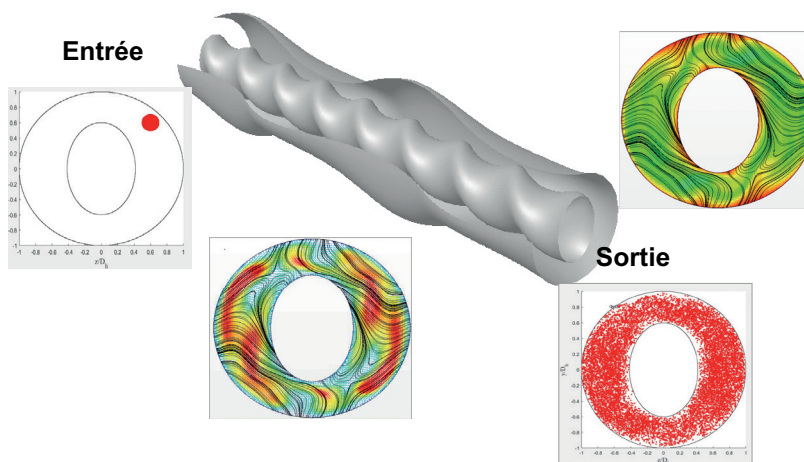
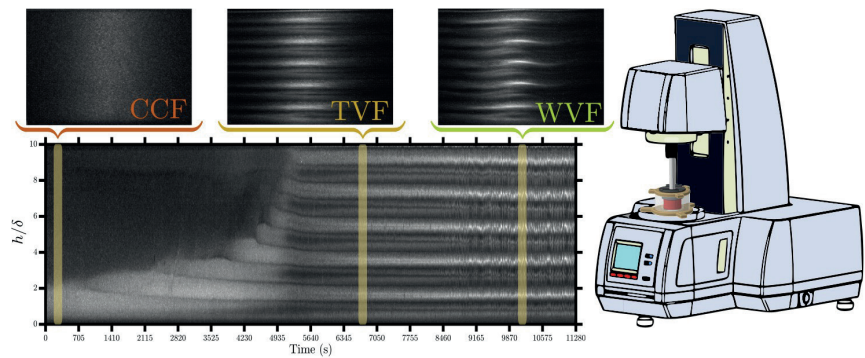




Figure 3

La miniaturisation des composants et procédés est une tendance forte de la troisième révolution industrielle. Ceci passe entre autres par la maîtrise de la dynamique des fluides en écoulement dans les composants, notamment à faible nombre de Reynolds (débit de fluide). Les mécanismes des phénomènes de transfert thermique pour des fluides complexes dans de telles géométries sont une préoccupation industrielle majeure notamment dans le cas de refroidissement de systèmes. Dans ce contexte le choix du fluide s'effectue en fonction de différents critères : réduction globale des coûts, amélioration du transfert de chaleur (capacité de refroidissement liquide), réduction de la puissance de pompage, respect de la santé humaine et de son environnement, etc.

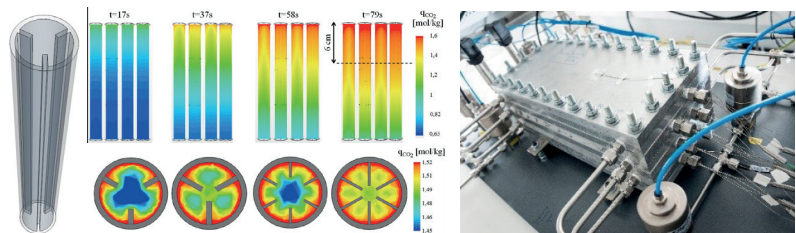


Dans un échangeur/réacteur la déstabilisation d'un écoulement, en lien avec les propriétés rhéologiques du fluide, entraîne une intensification de transfert. Ce travail s'intéresse aux instabilités hydrodynamiques d'une suspension complexe dans un écoulement de Taylor-Couette favorisant les régimes d'écoulement secondaire et instationnaire (e.g. TVF, WVF). Le diagramme spatiotemporel, présenté dans la figure, identifie les paramètres et le scénario de la transition vers ces régimes. L'optimisation de ces phénomènes, en lien avec les propriétés thermo-rhéologiques de la suspension, peut permettre l'amélioration du refroidissement de composants électroniques dans une géométrie confinée et de data center, et donc la diminution de leur consommation énergétique.

(Thèse de doctorat de Masoud Moazzen financée par la région Hauts de France en collaboration avec laboratoire de l'EMN de l'université de Lille)

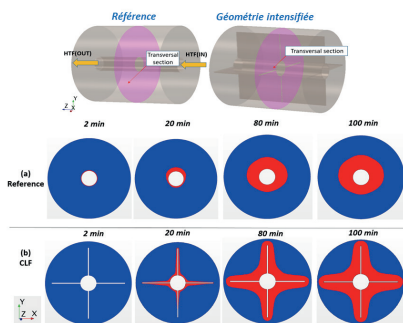
Figure 4

Le stockage et l'utilisation efficace de l'énergie thermique dans un contexte de changement climatique et d'épuisement des sources énergétiques fossiles est d'une importance capitale dans l'industrie (bâtiment, agro-industrie, solaire thermique / thermodynamique, etc.). Ce stockage peut se faire sous forme sensible (SHS) ou latente (LHS). Le stockage sous forme latente est 5 à 14 fois supérieure au stockage sous forme sensible du fait de l'exploitation du phénomène de fusion-solidification des Matériaux à Changement de Phase (MCP). Toutefois, la plupart des MCP utilisés pour le stockage thermique présente une conductivité thermique faible, ce qui ralentit les cinétiques de charge-décharge dans les unités de stockage. Ce travail s'intéresse à l'accroissement des cinétiques de fusion-solidification d'un MCP dans une unité de stockage de type tube-calandre horizontale en utilisant différentes géométries d'extension de surface (ailettes) autour du tube. Cette étude, effectuée dans le cadre de la thèse de doctorat de Mohamed-Amine Dekhil, cofinancée par les fonds FEDER-ESF Nord-Pas-de-Calais 2014-2020 et une entreprise du secteur de l'agro-industrie montre que l'emploi d'ailettes géométriquement optimisées permet d'accroître la cinétique de fusion-solidification du MCP de près de 50 % par rapport à un tube nu.



Le stockage sous forme latente est 5 à 14 fois supérieure au stockage sous forme sensible du fait de l'exploitation du phénomène de fusion-solidification des Matériaux à Changement de Phase (MCP). Toutefois, la plupart des MCP utilisés pour le stockage thermique présente une conductivité thermique faible, ce qui ralentit les cinétiques de charge-décharge dans les unités de stockage. Ce travail s'intéresse à l'accroissement des cinétiques de fusion-solidification d'un MCP dans une unité de stockage de type tube-calandre horizontale en utilisant différentes géométries d'extension de surface (ailettes) autour du tube. Cette étude, effectuée dans le cadre de la thèse de doctorat de Mohamed-Amine Dekhil, cofinancée par les fonds FEDER-ESF Nord-Pas-de-Calais 2014-2020 et une entreprise du secteur de l'agro-industrie montre que l'emploi d'ailettes géométriquement optimisées permet d'accroître la cinétique de fusion-solidification du MCP de près de 50 % par rapport à un tube nu.

Figure 5



Le biogaz issu de méthanisation a besoin d'être purifié si l'on souhaite l'injecter dans le réseau de gaz. Les systèmes de purification restent très énergivores, leurs performances doivent être accrues. On cherche ici à concevoir de nouveaux systèmes de séparation de CO<sub>2</sub> par adsorption innovants, le CO<sub>2</sub> étant la principale impureté dans le biogaz. Nous arrivons à démontrer à l'aide de simulations numériques avancées (photo du haut) qu'une gestion adaptée des transferts de chaleur à l'intérieur des adsorbants augmente significativement la productivité de biométhane (jusqu'à 70 % de plus) par rapport à des approches conventionnelles. Ce travail est le fruit d'une collaboration avec IMT Atlantique qui développe des bancs expérimentaux (photos du bas) et plus récemment avec l'Université Technologique de Compiègne.

# La transition énergétique

Formez des ingénieurs engagés

## Le projet « ClimatSup INSA »

### The Shift Project

*The Shift Project* est un think tank qui œuvre en faveur d'une économie libérée de la contrainte carbone. Association loi 1901 reconnue d'intérêt général et guidée par l'exigence de la rigueur scientifique, sa mission est d'éclairer et d'influencer le débat sur la transition énergétique en Europe.

Il a été fondé en 2010 par Jean-Marc Jancovici (cofondateur du cabinet d'études Carbone 4) et est soutenu en 2017 et 2018 par plusieurs grandes entreprises et organisations françaises et européennes (Spie, EDF, SNCF, Saint-Gobain, Vicat, Vinci Autoroutes, Bouygues, Rockwool, Enedis,

Thalys, Caisse des Dépôts, AFD, Sodexo, Kingspan, Ademe, Afep, Keolis, ASFA) qui veulent faire de la transition énergétique leur priorité stratégique.

Depuis sa création, The Shift Project a initié une vingtaine de projets d'étude, participé à l'émergence de deux manifestations internationales (Business and Climate Summit, World Efficiency), et organisé une cinquantaine de colloques, forums, ateliers et conférences. Il a pu influencer significativement plusieurs décisions politiques importantes pour la transition énergétique, en France et au sein de l'Union européenne, en matière de prix du carbone par exemple.

La démarche du Shift Project est marquée par un prisme d'analyse particulier, fondé sur la conviction que les enjeux climat-énergie conditionneront l'avenir de l'humanité, et qu'il est nécessaire d'intégrer cette dimension le plus rapidement possible à notre modèle de société, afin de pouvoir préparer l'économie de demain.

Cependant, ceux-ci demeurent peu formés à ces enjeux. Le Groupe INSA, le plus grand ensemble de formation d'ingénieurs en France a souhaité s'associer au *Shift Project* pour initier un vaste chantier d'intégration des problématiques climat-énergie sur l'ensemble de ses parcours de formation, et montrer ainsi par l'exemple le nécessaire effort à accomplir par l'enseignement supérieur.

Débuté en septembre 2020, le projet a présenté son rapport intermédiaire en février, disponible pour tous : <https://theshiftproject.org/article/rapport-intermediaire-former-ingenieur-du-xxie-siecle/>. **L'article présenté en est un extrait débattant du rôle de l'ingénieur du XXI<sup>ème</sup> siècle vis-à-vis de l'entreprise, de la technique et de la société.**

### PARCOURS



**Damien AMICHAUD**  
IMT Lille Douai, promo 2004

Il est également titulaire d'un Master en Éthique, Écologie et Développement Durable à la Faculté de Philosophie de l'Université Lyon III, promo 2020.

Il est chef de projet chez *The Shift Project* et pilote le projet « ClimatSup INSA » visant à intégrer les enjeux socio-écologiques de manière cohérente dans les formations de l'ingénieur des écoles du Groupe INSA.

### Présentation du projet « ClimatSup INSA »

Mener la transition vers une économie et une société décarbonée, sobre et résiliente implique de mobiliser tous les secteurs de la société. Tous les étudiants doivent être formés aux enjeux énergie-climat, bien que de manière différenciée, dans toutes les disciplines. Quant à l'ingénieur du XXI<sup>ème</sup> siècle, il est la cheville ouvrière de la transition écologique et énergétique. Il ou elle, décideur ou technicien, doit intégrer dans ses analyses et décisions la rareté des ressources disponibles, notamment énergétiques, l'effondrement de la biodiversité, les changements climatiques à l'œuvre, et autres enjeux physiques, ainsi que les conséquences sociétales de ces bouleversements.

### L'ingénieur face à l'entreprise, la technique et la société

Initier un chantier de transformation de la formation des ingénieurs nécessite de commencer par se demander de **quels ingénieurs voulons-nous ? Quelle place et quel rôle peuvent-ils ou doivent-ils avoir dans la société ?** Ces questions ne sont pas nouvelles mais n'ont pas encore eu l'écho qu'elles méritent. Ainsi, depuis quelques dizaines d'années, le comité « Former l'Ingénieur Citoyen » de l'association Ingénieur Sans Frontières, réfléchit à ces questions, propose des réponses et invite à en débattre, notamment via son manifeste<sup>1</sup>. Aujourd'hui, les ingénieurs bénéficient d'une situation particulière en France car ils cumulent – la plupart du temps – le titre d'ingénieur et le statut de cadre. L'approche empruntée par Ingénieur

1. « Manifeste pour une formation citoyenne des ingénieurs.e.s », Ingénieurs sans frontières. Disponible en ligne (consulté le 21/01/2021) polymère est faite en verre trempé comme la face avant.

Sans Frontières et désormais *The Shift Project* (qui lui emboîte le pas) est une invitation à redéfinir collectivement le rôle de l'ingénieur. D'une part, c'est envisager l'ingénieur comme interface entre science et société plutôt que comme figure d'autorité. Il est parfois vu comme figure d'autorité scientifique, ce qu'il ne peut pas être étant donné qu'il applique certains résultats de recherches scientifiques ou les précède en expérimentant. Il est aussi amené, lorsqu'il est employé dans une entreprise, à y exercer des fonctions de cadre et donc, à détenir l'autorité hiérarchique sur des projets techniques. Il lui est cependant difficile d'intégrer sérieusement les enjeux socio-écologiques dans les critères de décision de l'entreprise tant cela implique une remise en cause de son modèle d'affaire ; ces enjeux étant pour l'instant peu compatibles avec la logique de marché et les statuts juridiques de l'entreprise. D'autre part, c'est envisager l'ingénieur comme moteur et charnière des principes démocratiques, en particulier concernant les questions relevant des choix techniques. Prendre du recul quant à cette double identité du titre et du statut, ainsi que par rapport au cadre professionnel dans lequel il exerce, est nécessaire afin d'aborder les problématiques socio-écologiques. Cette prise de recul peut être amorcée dès la formation *via* un enseignement en éthique destiné aux ingénieurs, afin qu'ils développent des compétences en éthique de l'ingénierie – à ne pas confondre avec la déontologie. La définition que donne de la philosophe Cécile Renouard de l'éthique nous semble tout à fait pertinente : « Je définis l'éthique comme la recherche déterminée, personnelle et collective, de la vie bonne, aujourd'hui et demain, dans des institutions justes, au service du lien social et écologique »<sup>1</sup>.

*The Shift Project* considère que le rôle de l'enseignement supérieur – et *a fortiori* celui des formations d'ingénieur est double. Il est de donner les moyens aux élèves ingénieurs de contribuer à la construction d'une société pleinement consciente des enjeux socio-écologiques. Dans sa vie professionnelle d'une part, avec son rôle d'ingénieur, et dans sa vie personnelle d'autre part, avec son rôle de citoyen. L'ingénieur prêt à affronter les enjeux socio-écologiques doit être capable de se positionner sur des questions de société.

## Les techniques sont politiques !

Au cœur des formations et des métiers de l'ingénieur, ce qui est communément appelé « La Technique » – au singulier et avec un

grand « T » –, véhicule souvent l'idée fautive selon laquelle la technique n'est qu'un outil au service d'une fin bien établie. En d'autres mots, elle serait neutre et seule l'utilisation qui en est faite relèverait d'une dimension politique. Cette vision relève d'une croyance technoscientifique, très bien définie dans le Manuel de la Grande Transition : « Le terme technoscience pose autant de questions qu'il n'y répond tant il véhicule de présupposés. Il est fondé sur l'hypothèse fautive que les développements technologiques sont toujours issus des résultats de la recherche scientifique alors que l'histoire des sciences est peuplée de contre-exemples. Le concept se développe principalement à la fin des années 1970 où il caractérise le sentiment général de dépassement des scientifiques devant la façon dont leurs recherches sont appliquées dans l'industrie dans des directions qu'ils n'ont pas du tout anticipées, voire qu'ils désapprouvent. La dimension éthique du mot est donc centrale car elle laisse penser que les humains seraient littéralement dépassés par le progrès technique. Il en résulterait une pensée surdéterminée par la présence des objets techniques, qui conduirait à ce qu'il est convenu d'appeler le "désenchantement de la nature". Ce point de vue est contesté au profit d'un "désenchantement de la nature" associé à la sacralisation de la technologie. »<sup>2</sup>. D'Ivan ILLICH à Jacques ELLUL en passant par Langdon Winner, beaucoup d'auteurs ont montré que « la technique n'est pas neutre », qu'elle pouvait même avoir une valeur intrinsèquement politique. **Ce positionnement en faveur d'une prise de conscience de la dimension politique des techniques par l'ingénieur est au cœur des présents travaux.** D'une part, parce que cette prise de conscience est une condition nécessaire à la mise en œuvre de solutions pertinentes face à la crise socio-écologique. D'autre part, parce qu'elle est indispensable à l'ingénieur, situé entre technique et société. Revenons un instant sur les arguments et sur les observations nous ayant conduit à valoriser cette dimension politique.

Il y a notamment l'idée que le progrès technique rendrait les individus plus libres. Pourtant, **l'observation du comportement des individus révèle que celui-ci est non pas libéré par la technique mais plutôt orienté par elle.** Jacques Ellul illustre bien ce phénomène en prenant l'exemple des trois millions de Parisiens qui, dans les années 70 décidaient tous au même moment – prétendument librement et indépendamment – de prendre leur automobile pour se diriger vers la Méditerranée. Alors que l'automobile est censée donner accès à un degré de liberté plus élevé, elle oriente le comportement des individus qui en possèdent une<sup>3</sup>. Il y a

## PARCOURS



### Anne-Laure TOURNIER

Étudiante en projet de fin d'études à Grenoble INP – Ense3

Elle est chargée de projet pour « ClimatSup INSA ».

également l'idée selon laquelle c'est l'usage des techniques qui relève d'une dimension politique et non la technique elle-même. Cet argument est réfuté par Langdon Winner qui utilise l'exemple des ponts de Moses, des boulevards Haussmanniens ou encore, des esplanades construites sur les campus universitaires américains, pour montrer que « ce qui importe ce n'est pas la technologie elle-même mais le système social ou économique qui la contient ». **En utilisant un instrument technique, l'ingénieur doit tenir compte des conditions sociotechniques de son développement, de sa mise en œuvre, de son utilisation ainsi que de ses conséquences**<sup>4</sup>. Enfin, comme le souligne Jacques Testart dans un article du Monde Diplomatique, la croyance la plus partagée dans nos sociétés occidentales est une sorte de « foi » inconditionnelle dans la science et dans le progrès technologique ; et le débat public sur les orientations de la recherche s'en trouve affecté. La recherche est de fait de moins en moins orientée

1. Fanny Verrax, Laure Flandrin, « *Quelle éthique pour l'ingénieur ?* », Editions Charles Léopold Mayer, 2019. Voir aussi, Christelle DIDIER, « *Éthique de l'ingénierie - Un champ émergent pour le développement professionnel* », Techniques de l'ingénieur, 2015, pp. 2-5 et 17-19 ; notamment les pages indiquées sur les notions et les définitions des concepts souvent flous d'« éthique », de « morale » ou de « déontologie » et la réflexion autour d'une « éthique de l'ingénierie ».
2. Collectif FORTES, « Manuel de la Grande Transition », Les liens qui libèrent, 2020
3. Entretien avec Jacques Ellul, « *L'illusion de notre liberté* ». Extrait disponible en rediffusion (consulté le 21/01/2021)
4. Langdon Winner, "Do Artifacts Have Politics ?", *Daedalus*, vol. 109, no. 1, 1980, pp. 121-136. (consulté le 21/01/2021)

# La transition énergétique

Formez des ingénieurs engagés



vers des problématiques importantes pour l'humanité, plutôt que vers des intérêts privés ou par le hasard et l'opportunisme provoqués par les découvertes. « Selon le credo de la science officielle, qu'on peut qualifier de magique voire de mystique, tout sera expliqué tôt ou tard, et cette explication couvrira la réalité entière, les zones d'ombre et les contradictions étant toutes surmontables (...). La technoscience est un détournement majeur du savoir »<sup>6</sup>.

Or, toute technique est le produit d'une société, de sa culture et de ses croyances à un moment précis de l'histoire (de l'invention de la machine à vapeur au mobilier urbain « anti-sdf » des grandes villes en passant par la matérialisation de l'objectif de limiter les rassemblements sur les campus des universités américaines ou sur les boulevards Haussmanniens)<sup>7</sup>.

Deux points de vigilances sont à considérer lorsqu'on aborde le sujet des sciences et techniques. D'abord, il faut bien opérer une distinction entre science et technique. Bien que proches, la première a pour objectif d'augmenter le stock des connaissances vérifiées (la physique nucléaire, la chimie...), alors que la seconde a pour but de répondre à une finalité (produire de l'énergie, un moyen de déplacement...). Cette distinction étant faite, il ne s'agit pas de prôner un relativisme scientifique radical qui voudrait que « tous les énoncés se valent », ce qui reviendrait à accorder autant de crédit aux lobbyistes - qui affirment que le tabac ne provoque pas de cancer ou que les activités humaines ne sont pas responsables du changement climatique - qu'aux scientifiques des organismes de santé ou du GIEC. Cela aurait pour effet d'entretenir des controverses en propageant le doute afin de servir des intérêts privés ou politiques<sup>8</sup>. Il s'agit surtout de considérer les techniques que l'ingénieur crée, développe et manipule dans leur dimension sociale et politique. Car ces techniques sont issues d'un contexte sociotechnique qu'elles influencent à leur tour, notamment via des conséquences

(usages, controverses, etc.) qui n'étaient pas anticipées.

## Dans l'entreprise, l'ingénieur sous tension

La structure dans laquelle l'ingénieur exerce (entreprise, institution, association, etc.) le contraint. Que ce soit par la nature de cette structure ou par l'objectif qu'elle poursuit, l'ingénieur doit respecter un ensemble de lois et de règles. La logique de marché à laquelle est soumise l'entreprise l'oblige à réduire constamment ses coûts afin de rester compétitive et d'alimenter des actionnaires toujours plus exigeants pour les plus grandes d'entre elles, de pouvoir payer ses employés et finalement de survivre pour les plus petites d'entre elles. L'action de l'ingénieur s'inscrit donc dans ce cadre et dans la dimension collective de l'entreprise. Il est donc limité par ce cadre, mais peut tout de même agir en faveur de l'intégration

## PARCOURS



**Sam ALLIER**  
IMT Alès, promo 2020

Il est également étudiant en Master Histoire des sciences, des techniques et des savoirs à l'EHESS et chargé de projet pour « ClimatSup INSA ».

6. Jacques Testart, « Une foi aveugle dans le progrès scientifique », *Le Monde Diplomatique*, décembre 2005
7. Roger Lesgards, « L'empire des techniques », *Le Monde Diplomatique*, novembre 1995
8. Naomi Oreskes et Erik M. Conway, « *Les Marchands de Doute* », 2012, Le Pommier (traduction de Jacques Treiner)

de plus d'enjeux socio-écologiques, par son positionnement hiérarchique et son autorité technique. Il ne peut également agir seul et doit s'inscrire dans le collectif constitué par le personnel de l'entreprise dont sa hiérarchie, et de ses partenaires extérieurs. Les limitations qu'il rencontre peuvent se confronter à ses valeurs, à son envie d'agir et ainsi induire une dissonance cognitive.

Le contexte écologique et social alarmant et la pression grandissante des politiques et de la société civile pour des industries responsables déjà mentionnés plus haut dans ce rapport ont pour conséquence que certaines entreprises commencent à amorcer des changements. Néanmoins, elles se trouvent elles aussi prises dans un dilemme non résolu, dans une tension entre une obligation d'augmentation du capital et une prise en compte sérieuse des enjeux socio-écologiques. Les entreprises cherchant à s'engager dans une transition sont souvent démunies quant à la manière de conduire celle-ci, et ont des difficultés à trouver les compétences pour les accompagner.

Les formations doivent donc elles aussi intégrer ces dimensions dans l'équation : connaissance de l'entreprise, de son cadre d'action et des possibilités de l'étendre, l'ingénieur comme membre d'un collectif, tension entre la volonté d'action d'un ingénieur responsable et le contexte dans lequel il exerce.

## Introduire de la démocratie dans la technique

Depuis l'époque moderne (XV<sup>e</sup> siècle) qui marque, d'une part l'émergence de la science moderne et d'autre part, celle des régimes démocratiques, Dominique Pestre observe que c'est une tension qui lie science et démocratie. En d'autres termes, **le lien entre science et société est fragile car il persiste une tension entre profanes et experts**, entre le système hiérarchique, celui de l'autorité de la science et de ce qu'elle produit ; et le système démocratique, celui de la légitimité<sup>9</sup>. Certains auteurs vont même jusqu'à évoquer l'aspect anti-démocratique de certaines technologies en ce que les citoyens ne sont pas à même de les comprendre<sup>10</sup>. L'ingénieur, étant donné sa position d'« expert technique »

et son rôle très concret de transformation de l'environnement (urbain, technologique, naturel, etc.), a une place toute particulière comme médiateur de ce conflit. En effet, comme évoqué précédemment, une société juste ne pourrait être bâtie uniquement par les experts. Pour ce faire, l'ingénieur pourrait alors utiliser les outils de participation citoyenne (débat public, co-production des savoirs, médiation scientifique, etc.) et l'étude des controverses passées et actuelles<sup>11</sup>.

**Il est possible de décider collectivement quelles technologies déployer et dans quelles directions il est souhaitable d'en chercher de nouvelles<sup>12</sup>.**

**L'ingénieur doit être capable de comprendre les controverses sociotechniques et d'orienter sa réflexion et son action.** Il ne s'agit pas de comprendre les controverses internes aux champs scientifiques (controverse entre Bohr et Einstein par exemple), mais surtout de bien comprendre les controverses qui concernent l'ensemble de la société (sur le nucléaire, les OGM, etc.). En effet rapidement, dans ce second cas, la controverse porte tout autant sur les enjeux scientifiques que sur les enjeux sociaux. Pour traiter de ces controverses sociotechniques, l'ingénieur doit posséder les outils lui permettant d'en faire une analyse juste ou, *a minima*, de pouvoir identifier les ressources (experts, documents, références, etc.) vers lesquelles il peut se tourner.

## Manier l'interdisciplinarité, une compétence indispensable

L'esquisse faite de l'ingénieur, de son rôle et de sa position dans la société, ainsi que la complexité croissante des systèmes techniques nécessitent qu'il puisse adopter une approche interdisciplinaire. Certaines écoles d'ingénieur comme ISIS Castres (école spécialisée dans le domaine de l'informatique et de la santé) forment des ingénieurs compétents dans des domaines très spécifiques comme celui de la « e-santé ».

Ce domaine peut sembler éloigné de ceux dans lesquels exercent les ingénieurs aujourd'hui et, *a fortiori*, des domaines

## PARCOURS



**Clémence VORREUX**  
Sciences Po Strasbourg, promo 2020

Elle est coordinatrice enseignement supérieur au *Shift Project*.

dans lesquels il semble pertinent d'intégrer les enjeux socio-écologiques (génie civil, environnement, informatique, etc.). Or, bien au contraire, il doit prendre en compte les liens entre les « innovations numériques » et le climat ou l'accès à la santé par exemple.

Contrairement au secteur de la santé, l'exemple du numérique touche toutes les écoles car il concerne directement tous les ingénieurs. Ces derniers sont plongés dans une situation inconfortable car ils doivent répondre à deux injonctions contradictoires. D'une part, ils doivent « faire de l'innovation numérique » ou, à défaut, intégrer le numérique partout où il est possible de le faire. Or, les études montrent que cela entraînera une hausse des émissions de gaz à effet de serre (voir le rapport Lean ICT : « Pour une sobriété numérique » de *The Shift Project*). D'autre part, ils doivent respecter les contraintes socio-écologiques pour affronter les enjeux. Former à l'interdisciplinarité permettra à l'ingénieur de répondre de manière pertinente à ce genre de situations qui risquent de se multiplier. ■

9. Dominique Pestre, « Des sciences, des techniques et de l'ordre démocratique et participatif », *Participations*, 2011/1 N°1, p. 210-238

10. Philippe Godard, « La technologie est une politique », *Sciences Critiques*, 2017.

11. Pestre, *Ibid.*

12. « Manifeste pour une formation citoyenne des ingénieur.e.s », Ingénieurs sans frontières. Disponible en ligne (consulté le 21/01/2021)

# La transition énergétique

Formez des ingénieurs engagés

## L'IMT revisite le rôle de l'ingénieur dans la transition écologique : ZOOM sur une feuille de route ambitieuse !

**« Ensemble pour imaginer et construire un avenir durable, et former ses acteurs »**

Telle est la raison d'être de l'Institut Mines-Télécom (IMT) qui caractérise depuis le début de l'année ce qui rassemble les établissements de l'IMT et la direction commune.

Face aux enjeux environnementaux majeurs et aux bouleversements des équilibres du monde, dans un contexte de révolution numérique qui impacte tous les paradigmes, l'Institut Mines-Télécom affirme aujourd'hui que la technologie, le numérique, l'ingénierie et le management peuvent être des leviers puissants s'ils sont utilisés en toute conscience de leurs conséquences : l'institut a son rôle à jouer dans cette transformation planétaire.

### De Gustave Eiffel à Jean-Marc Jancovici

Dézoomons sur ce métier historique de l'ingénieur qui a traversé les âges. Héritier d'une longue tradition française de plus de 200 ans, l'ingénieur est aujourd'hui confronté à de fortes mutations écologiques, économiques et sociétales qui résultent d'une part de l'accélération du progrès technologique et d'autre part de la 2<sup>ème</sup> phase de la globalisation.

Revenons tout d'abord à l'ingénieur du XIX<sup>e</sup> siècle : il est alors le fer de lance de la Révolution Industrielle. Gustave Eiffel en est un symbole, il a été l'homme de l'industrie,

### PARCOURS



**Anne MONNIER**  
IMT Mines Albi, promo 2009

Elle est chargée de mission transition écologique à l'IMT.

le « grand planificateur ». Il réalise en 1889 son œuvre la plus spectaculaire pour la première Exposition Universelle, l'évènement symbolique de la première globalisation. Gustave Eiffel a su se faire entrepreneur et s'entourer de brillants talents complémentaires des siens ; il a su prendre des risques et réaliser très vite ses ouvrages, bien plus vite que les standards de l'époque.

Un siècle plus tard, dans les années 1990, la tertiarisation, puis la financiarisation du monde ont mis l'ingénieur « business man » au centre du jeu, misant sur la révolution numérique et financière qui a opéré sur le siècle dernier. Steve Jobs, bien qu'il ne soit pas directement ingénieur, incarne ce virage, car il a su mettre le talent de milliers d'ingénieurs, non pas au service de l'industrie et des organisations, mais au service du consommateur et de l'individu. Il a su se faire créateur et visionnaire pour contribuer à ce changement de paradigme, qui a eu comme conséquence la croissance exponentielle de l'utilisation des ressources planétaires limitées.

Aujourd'hui, suite à la création des Objectifs de Développement Durable (ODD) de l'Unesco et des objectifs climat adoptés à la COP 21 (2015), à l'heure où le conseil européen s'est engagé pour la neutralité carbone en 2050 avec le Green Deal (2018), et où la France déploie une stratégie bas carbone et son agenda 2030, des ingénieurs profondément scientifiques et engagés proposent un projet de société viable et désirable. Deux figures emblématiques qui prennent le micro pour inspirer la nouvelle génération dans les grandes écoles du supérieur sont actuellement Aurélien Barrau et Jean-Marc Jancovici: le premier est ingénieur astrophysicien, il inspire à la réflexion et pousse nos étudiants dans leurs retranchements pour tâcher de donner du sens à nos actions et notre existence. Le deuxième est polytechnicien et créateur du cabinet de conseil Carbone4 et d'un Think Tank, Le Shift Project dont l'association de bénévoles « Les shifters » regroupent actuellement plus de 4 000 ingénieurs. Il orchestre ces forces vives pour produire des propositions viables, réalistes et très concrètes pour transformer nos pratiques et notre société, instance par instance.

Ces deux ingénieurs défendent aujourd'hui l'ère de la connaissance, de la fonctionnalité et de l'innovation frugale. Oui, les ingénieurs qui portent notre époque sont ceux qui, au-delà de résoudre la problématique complexe et systémique qu'est la transition écologique, sauront également lui donner du sens et prendre la parole publiquement. Dans le passé, l'ingénieur était formé pour optimiser les systèmes de production, aujourd'hui, son rôle est également de les questionner.

Demain, on attendra de lui qu'il propose de faire autre chose, autrement, comme par exemple réduire les besoins de transports plutôt que de proposer des transports plus rapides, proposer des solutions low tech plutôt que de poursuivre la course à la technologie, être sensible au vivant et replacer la nature plutôt que l'industrie au cœur de notre société. Bref, il sera capable

de questionner les systèmes de valeurs de la société actuelle et dans lesquels il a grandi ; capable ensuite de rassembler, d'organiser le changement, de prendre le problème de manière responsable, systémique, et prospectif en anticipant au mieux les risques et les incertitudes des crises à venir.

## L'IMT se transforme sur 5 axes pour relever le grand défi de la transition écologique

La transition opère déjà dans les écoles qui ont développé pour certaines depuis une dizaine d'années déjà des plans d'actions variés sur ces enjeux. Plusieurs écoles de l'IMT ont obtenu le Label DDRS ou sont classées au Times Higher Education Impact, un classement qui permet de mettre en valeur les actions de recherche et de formation en lien avec les ODD.

Depuis 2 ans, ces initiatives se sont démultipliées sur les campus et sont orchestrées par des réseaux de référents qui œuvrent à cette transformation tous les jours. Alors, depuis 2020, l'IMT accélère et met en perspective l'ensemble de cette dynamique en plaçant la transition écologique au cœur de son prochain plan stratégique.



Grâce à une feuille de route adoptée au collège des directeurs et au conseil d'administration de l'institut, des objectifs concrets ont été définis pour une accélération de l'action, donnant ainsi aux acteurs de la transition écologique, énergétique et sociale de nos écoles les moyens d'agir et de piloter cette transition par des actions claires et des indicateurs. L'IMT fédère une stratégie ambitieuse pour les 5 prochaines années, et assure le passage d'une raison d'être à une raison d'agir en rassemblant ses forces de frappe. Cette feuille de route est déclinée en 5 objectifs :

**1. S'engager à tous les niveaux d'organisation**, grâce à un grand plan de formation des agents leur permettant d'intégrer la transition écologique dans leur domaine d'expertise. Il sera déployé à partir de 2022.

**2. Former des ingénieurs et des managers conscients et outillés**, en s'appuyant sur un référentiel commun de compétences de l'ingénieur citoyen et des nouvelles méthodes pédagogiques déjà à l'œuvre.

**3. Fédérer la recherche inter-écoles dédiée aux enjeux de la transition**, en co-construisant avec les parties prenantes de l'IMT un plan d'articulation des forces de recherche pour déployer économie circulaire et écologie industrielle à toutes les étapes de l'industrie.

**4. Développer des écosystèmes de la transition dans nos territoires**, en accompagnant nos partenaires industriels grâce au lien fort avec l'ensemble des projets étudiants et des incubateurs.

**5. Viser des éco-campus dans toutes les écoles**, en suivant des objectifs chiffrés comme la réduction d'émission de gaz à effet de serre par des outils tels que le bilan carbone du groupe qui vient d'être consolidé cette année.

## Zoom sur la transformation des cursus de formation

Au niveau des formations, la démarche de l'IMT vise à refondre les syllabus et les enseignements autour de l'intégration profonde des enjeux des différentes

transitions afin de viser une soutenabilité forte.

**Une transition énergétique**, car les ingénieurs ne peuvent pas faire l'impasse de connaître et de considérer les limites planétaires, de prendre en compte les conséquences des systèmes énergétiques à l'œuvre et de leurs décisions et actions sur le climat et la biodiversité.

**Une transition sociale**, car nous interrogeons les modèles sociaux et la posture de l'ingénieur dans la société, également sa responsabilité sociétale.

**Une transition numérique**, car nous avons la volonté que tous nos ingénieurs soient à l'aise avec l'outil numérique (données de masse, intelligence artificielle, etc.) et plus seulement les ingénieurs en informatique, mais tout en considérant les pratiques du numérique responsable et durable.

**Une transition industrielle**, car les écoles de l'IMT ont un mandat spécial sous la tutelle du ministère de l'économie, des finances et de la relance : celui d'être acteurs d'une l'économie prospère de nos territoires. L'IMT souhaite développer cette économie de manière résiliente et régénérative, en appliquant dans toutes ses actions entreprises, depuis ses fablabs jusqu'aux incubateurs et aux partenaires industriels, l'écologie industrielle et les analyses d'impacts par des indicateurs clés de la performance écologique.

**Une transition éducative**, car de nouvelles méthodes pédagogiques permettent de donner la capacité de comprendre rapidement les enjeux planétaires, de discerner le jeu des médias et des réseaux sociaux, d'avoir la capacité de développer son esprit critique mais aussi avoir la capacité d'apprendre toute sa vie et de transmettre son savoir à la société.

**Pour ce faire, les écoles adoptent actuellement une approche par compétences, pour acquérir sur le terrain un « savoir-agir complexe ».**

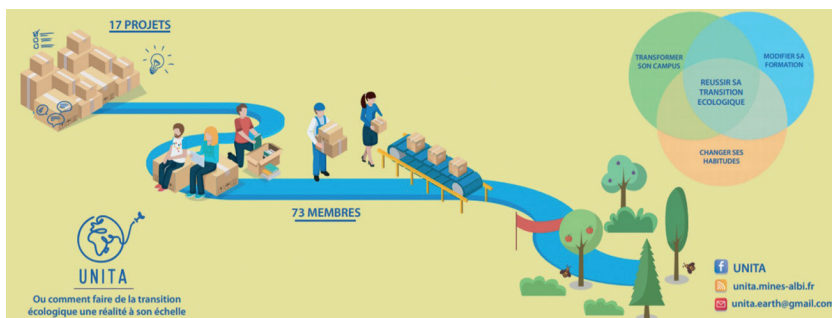
Mais l'étudiant doit aussi réaliser un effort de prise de recul sur son rôle et l'époque qu'il vit, en intégrant la dimension sociale de ses choix d'ingénieur. Pour cela, un nouveau tronc commun aborde les enjeux épistémologiques de la science, les méthodes de débats et de controverses sur des questions socialement vives (par exemple la 5G cette année), les questionnements du système de valeurs individuel et collectif.

L'objectif est que ces tronc communs touchent 100 % des étudiants, mais aussi que l'ensemble des enseignements soient re-contextualisés à la lumière de la transition écologique avec des ouvertures

← Source : Institut Mines Télécom

# La transition énergétique

Formez des ingénieurs engagés



Source : IMT Mines Albi

sur de nouvelles pistes à explorer. Sur le terrain, les méthodes pédagogiques évoluent vers des ateliers participatifs et en immersion sur le terrain.

Comme le décrit bien Odile GAUTHIER, la directrice générale de l'IMT

**» L'Institut Mines-Télécom a historiquement formé des ingénieurs mondialement reconnus pour répondre aux transformations énergétique et numérique de la société. Aujourd'hui, nous sommes prêts à relever le défi de l'urgence climatique, écologique et sociétale grâce à un engagement collectif en constante augmentation. Faire de nos étudiants des ingénieurs et managers éco-citoyens est entré dans l'ADN de l'institut.**

Il faut dire que Odile Gauthier a fait une longue carrière au Ministère de la Transition écologique et solidaire ainsi qu'au Conservatoire du Littoral. Précisons également que Frédérique Vincent, la directrice de l'enseignement de l'IMT est présidente de l'Université Virtuelle

Environnement et Développement durable et a fondé l'Institut Supérieur d'Ingénierie et de Gestion de l'Environnement de Mines ParisTech. Ces deux femmes au parcours probant ont les épaules pour mener l'Institut Mines-Télécom vers une trajectoire exemplaire et nécessaire pour la transition écologique.

Plus concrètement, depuis 2019, des dizaines d'enseignants chercheurs travaillent de concert avec les étudiants du Mouvement de l'IMT (un mouvement qui regroupe les étudiants engagés des 8 associations de développement durable des écoles de l'IMT) et s'appuie sur plusieurs référentiels nationaux des Grandes Écoles pour placer la transition écologique au cœur de tous ses enseignements dès la rentrée 2021. En plus d'accompagner les enseignants chercheurs dans leurs pratiques pédagogiques grâce à l'Académie des transformations éducatives, l'IMT crée à partir de 2022 une école d'été dédiée à l'inclusion de la transition écologique et au changement de posture dans tous les enseignements pour accélérer cette transformation. Un référentiel de compétences de l'ingénieur citoyen et du manager responsable ont vu le jour en ce premier semestre 2021, avec des tronc communs de 50h en moyenne dans chaque école pour aborder ces enjeux explicitement dès la première année mais totalisant

parfois plus de 200h de parcours en tronc commun et jusqu'à 800h avec les cours optionnels. Cette année déjà, tous les nouveaux arrivants, soit **2700 étudiants, ont été formés à la Fresque du climat**, un atelier ludique et impactant sur les rouages du réchauffement climatique. Ce sont également **600 personnes qui ont participé au Forum IMT de la sobriété numérique** en janvier 2021, et enfin plus de 60 enseignants-chercheurs et personnels de direction ont été formés à l'animation de la Fresque du numérique, l'IMT se plaçant ainsi comme le premier établissement supérieur à déployer cet atelier à grande échelle en juin 2021 avec plus de 500 étudiants visés. ■



Source : Institut Mines Télécom



# Former les élèves-ingénieurs de l'IMT aux enjeux climat-énergie : L'exemple du Mooc "Transitions énergétiques ; les fondamentaux"

## Transition énergétique et crise climatique

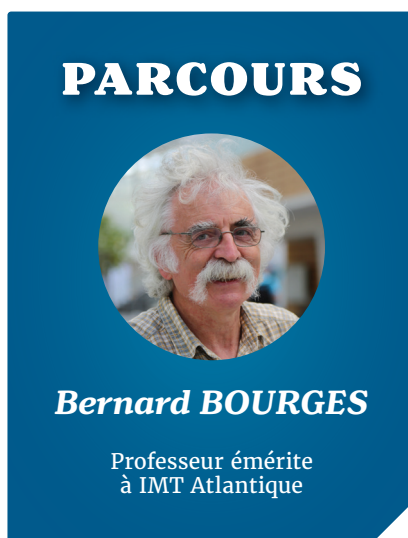
Face à la question climatique, "l'affaire du siècle", la transition énergétique est un élément de réponse majeur. Elle répond à la nécessité de cesser les émissions de gaz à effet de serre d'origine fossile dans un délai de 30 ans ! Cela va naturellement bouleverser nos modes de production de l'énergie.

Mais, cette énorme ambition de la neutralité carbone nous oblige à transformer profondément notre manière de consommer l'énergie. Et donc nos manières de produire et consommer biens et services. C'est un changement encore plus radical.

## Un défi de formation pour l'enseignement supérieur

Décarboner l'économie va induire des changements économiques et sociaux profonds et des mutations de tous les métiers. C'est un très fort enjeu de formation pour l'enseignement supérieur, notamment les écoles d'ingénieurs. Mais la prise de conscience institutionnelle a été assez lente.

Deux évènements récents sont venus secouer le cocotier. En 2019, le *think tank* "The Shift Project" dans son rapport "Mobiliser l'enseignement supérieur pour le climat" faisait le constat accablant que "seulement 11 % des formations [...] abordent actuellement les enjeux climat-énergie de manière obligatoire". En 2020, ce sont les étudiants eux-mêmes



qui se sont mobilisés pour réclamer une formation sérieuse à ce défi climatique qui sera au centre de leur vie professionnelle et citoyenne future.

## La Transition Énergétique, un sujet majeur pour les écoles de l'IMT

Les écoles de l'IMT n'ont pas attendu pour se préoccuper de cette question. D'abord l'énergie et l'environnement font partie depuis longtemps de leurs thématiques phares, en recherche comme en formation, notamment dans les écoles des Mines. On peut y ajouter aussi la place prise au fil des années par le Développement Durable et la RSE dans le management des écoles de l'IMT.

En 2014, le collège des directeurs des écoles Mines-Télécom, en décidant de lancer un programme de MOOC

communs, inscrivait d'emblée la transition énergétique comme un des sujets prioritaires.

## Le MOOC IMT "Transitions énergétiques"

Le MOOC "Transitions énergétiques : Mécanismes et Leviers", issu de cette initiative commune des écoles IMT, voit le jour au printemps 2017. La première session réunit 3500 apprenants sur la plate-forme Fun-Mooc, la seconde 5000 l'année suivante. Ce format sera ensuite exploité chaque année dans une version académique pour les étudiants de différents cursus IMT sur la plate-forme Fun-Campus.

La conception de ce MOOC a rassemblé 8 écoles de l'IMT ou écoles associées. Plus d'une vingtaine d'enseignants chercheurs et d'experts extérieurs y ont contribué. IMT Lille Douai a été, dès le début, un des partenaires clés, notamment avec le professeur Jean-Luc HARIION, responsable de la 4<sup>ème</sup> semaine "Transitions énergétiques : Pourquoi ? Comment ?"

Début 2021, une nouvelle version, mise à jour et raccourcie en 5 semaines de "Fondamentaux", est rendue disponible sur la Pédagothèque Numérique de l'IMT. Et c'est un groupe d'élèves-ingénieurs d'IMT Lille Douai qui l'inaugure.

## Le parti-pris pédagogique du MOOC

Autour du thème Climat-énergie, on peut rassembler une multitude de contenus

# La transition énergétique

Formez des ingénieurs engagés

de toutes disciplines. Dans le MOOC, le choix a été fait de présenter quelques éléments fondamentaux pour bien saisir les enjeux, les mécanismes qui nous y poussent, les leviers d'actions et les obstacles. Pour comprendre et agir à grande échelle bien sûr, mais aussi à petite échelle, au sein d'une entreprise ou d'un territoire. Pour cela il faut dissiper plusieurs illusions, héritées des années d'abondance énergétique, mais aussi, et c'est plus surprenant, des illusions opposées apparues dès les années 2000, prémises de cette transition.

## La transition énergétique : quels enjeux ?

La première illusion concerne le fait générateur de la Transition Énergétique. Le changement climatique a mis 30 ans pour apparaître clairement comme cette causalité prioritaire. Longtemps, la vision a été brouillée, par le traumatisme des crises pétrolières et l'angoisse de la fin du pétrole. Il y a encore 10 ans, on pensait que l'imminence du pic pétrolier allait faciliter la transition énergétique pour se passer des énergies fossiles et donc réduire nos émissions de CO<sub>2</sub>. Il n'en est rien : nous disposons d'un stock de carbone dans le sous-sol (pétrole, gaz naturel ou charbon) au moins 5 fois supérieur à ce que l'atmosphère peut absorber. Pic des énergies fossiles et effet de serre anthropique ne vont pas au même rythme : le temps de l'action contre le réchauffement (30 ans) est bien plus court que celui de l'épuisement des ressources. D'où l'énorme difficulté de converger dans les négociations internationales, surtout quand on connaît les rentes colossales associées aux énergies fossiles (et pas seulement pour les pays producteurs !).

La contre-illusion serait de croire que la lutte contre le changement climatique est désormais l'unique boussole. D'autres défis sont à relever conjointement, en

particulier sur le plan environnemental. La transition énergétique s'inscrit dans une transition écologique plus large, mais il ne faut pas oublier les défis économiques, sociaux, géopolitiques, sous peine d'échec.

## La transition énergétique : quels leviers ?

Les leviers de la transition sont l'objet d'autres illusions, elles aussi souvent liées aux deux siècles d'abondance énergétique fossile. Je n'en évoquerai ici qu'une seule : l'idée, bien ancrée, que la transition énergétique consiste uniquement à développer de nouvelles sources d'énergie décarbonées pour remplacer les énergies fossiles. Même si l'efficacité énergétique et, plus récemment la sobriété, font leur chemin dans les esprits, elles peinent à se traduire en actes. L'émergence rapide des énergies éoliennes et solaires au niveau mondial permet de le comprendre. Elle est le résultat du couplage entre les mécanismes habituels de marché (et les innovations qu'ils permettent) et des instruments de politique publique simples, peu coûteux pour les Etats et très efficaces (les tarifs d'achat d'électricité ENR). Pas d'équivalent pour l'efficacité énergétique, où des politiques publiques plus complexes sont à imaginer dans la durée. Pour éviter le fameux effet rebond, elles doivent être accompagnées par des actions de maîtrise des usages et des comportements.

## Le besoin d'une analyse systémique

Ces illusions sont en général associées à un périmètre d'analyse inadapté, souvent trop focalisé, omettant des éléments ou mécanismes essentiels. En fait, la transition énergétique nous invite à penser dans leur ensemble nos

systèmes énergétiques, depuis les usages jusqu'aux sources d'énergie, depuis les technologies jusqu'aux acteurs multiples qui les exploitent ou les pilotent. En intégrant toutes les échelles spatiales et temporelles.

C'est donc une analyse de cette complexité des systèmes énergétiques au sein de nos sociétés que notre MOOC ambitionne d'introduire. Cela s'adresse à tous les publics, au-delà des spécialistes de l'énergie et de l'environnement. Je ne citerai qu'un exemple, celui des futurs experts du numérique : le numérique est un levier indéniable pour la transition énergétique, mais il est aussi porteur d'une dérive potentielle des consommations énergétiques.

## Conclusion

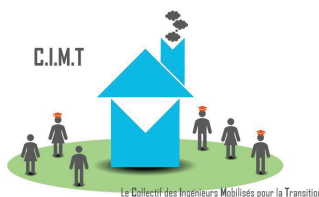
Les MOOC ne sont certes pas la panacée. Dans l'offre de formation à la Transition Énergétique, que mettent en place actuellement les écoles IMT pour tous leurs étudiants, les formats pédagogiques sont d'ailleurs divers. Mais la Pédagothèque Numérique IMT offre aux enseignants un moyen unique de partager et capitaliser des ressources pédagogiques sur un sujet interdisciplinaire difficile, et d'initier une dynamique d'échange. Elle est aussi un moyen pour les étudiants d'approfondir volontairement et individuellement leurs compétences sur un thème qui en passionne beaucoup.

Je terminerai avec une dernière remarque. La transition énergétique va exiger coopération et intelligence collective. Le partage des expériences sera au cœur du processus. L'éducation tout au long de la vie, cette idée ancienne (à ne pas confondre avec la formation continue), est une piste à creuser, tout particulièrement pour les associations d'anciens élèves, riches des parcours multiples de leurs membres. Les outils numériques de formation, dont les MOOC, peuvent y contribuer. ■

# Un nouveau groupe professionnel, le CIMT



Le Collectif d'Ingénieurs Mobilisés pour la Transition.  
À l'initiative de Anissa LKHAMRICHI (2018), Robin AMAZ (2020)  
et Harald LHOMME (2018).



## C'est quoi le CIMT ?

Le CIMT, c'est le Collectif d'Ingénieurs Mobilisés pour la Transition. Ce collectif est avant tout un espace de partage. Nous voulons que chaque alumni des Mines d'Albi, d'Alès et de Douai ait la possibilité d'échanger avec les mineurs sur les enjeux environnementaux actuels et à venir.

Nous voyons cependant plus loin et avons des projets en attente, en plus de ceux qu'imaginent les membres du CIMT à force de discuter. Nous avons par exemple déjà mandaté des élèves de l'école en Master 1 afin qu'ils imaginent des synergies positives sur les enjeux environnementaux entre l'école, les élèves et les alumni.

## Pourquoi avoir créé le CIMT ?

Parce qu'il n'existait pas encore [rires] !

En réalité, nous avons imaginé ce collectif pendant la période Covid19 qui a rendu nos rencontres difficiles. Nous avons fait la parallèle avec le processus de prise de conscience écologique, qui se fait souvent individuellement. Le CIMT se veut, lui, collectif !

Ensuite, nous nous sommes rappelés les moments à l'école. Ces moments de convivialité et de partage. Nous avons voulu créer une plateforme qui transcende les promotions et rassemble ceux qui s'intéressent aux enjeux environnementaux.

## Vous avez lancé le CIMT depuis 100 jours, quel est votre bilan de début de mandat ?

[rires] C'est d'actualité, en effet !

Alors, on n'a pas tous les chiffres sous la main mais on va donner des ordres de grandeur pour que nos amis ingénieurs visualisent mieux.

Depuis le 2 décembre 2020, une quarantaine de personnes se sont inscrites sur le groupe professionnel et le même nombre nous ont rejoint sur le serveur Discord. [Ndlr : il faut mettre à jour son adresse mail de redirection sur le site Mines+ pour recevoir le lien du serveur]

On a tenu 7 permanences avec environ une dizaine de personnes connectées pour discuter de sujets variés. [Ndlr : permanences, 1 samedi sur 2 à partir de 17h].

Un de nos membres a aussi organisé un atelier de compréhension des enjeux climatiques pour 6 de nos membres. La Fresque du Climat, si vous connaissez.

D'autres membres ont également organisé quelques débats thématiques sur des sujets comme l'intensité carbone de notre épargne, la Convention Citoyenne pour le Climat et pleins d'autres. Cinq d'entre

nous se sont lancés dans un MOOC sur la Transition Intérieure pour réussir à mieux accueillir nos émotions. On espère ainsi se mettre plus facilement en action (Le mot émotion vient du latin motio = mouvement).

Autant dire que le démarrage est exceptionnel, on ne s'attendait pas à autant [...] mais on va continuer sur cette lancée !

## Le CIMT, c'est pour qui ?

C'est assez simple ! C'est pour toute personne qui étudie ou a étudié à IMT Mines Albi, IMT Mines Alès ou IMT Lille Douai. Le CIMT est un groupe professionnel de Mines+, il est donc ouvert à tous ses membres.

Pour le rejoindre, rendez-vous sur le site [www.mines-plus.org](http://www.mines-plus.org) (ou celui de votre association), dans le section "Réseaux" puis "Groupes professionnels".

## Le CIMT en une phrase ?

On va plus vite à agir seul mais ensemble, on va plus loin. En plus, c'est plus facile d'être plusieurs pour rigoler. Et c'est bien ce qui est nécessaire quand on sait que le changement climatique est un processus d'une inertie de l'ordre de la vingtaine d'années qui n'a rien de drôle. ■

## Le retour d'Olivia, IFIE 2017

Cela fait 3 ans que j'ai commencé à m'intéresser au sujet de l'écologie et de la transition. Cependant, c'était une démarche personnelle et j'en parlais peu autour de moi, si bien que j'avais le sentiment d'être isolée dans mes convictions.

Le CIMT m'a permis de me rendre compte que nous étions nombreux à avoir entamé ces réflexions sur l'urgence d'agir, et que je n'étais pas un cas isolé. Ce collectif nous permet de partager plein de ressources, d'apprendre, mais également de faire part de ses réflexions, dialoguer, pour avancer plus vite, et pourquoi pas passer à l'action à son tour.

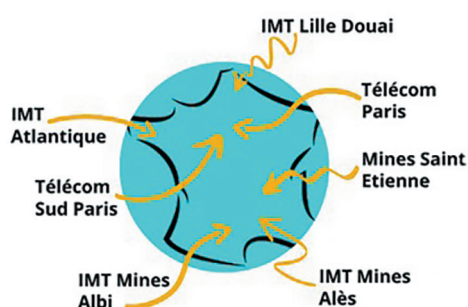
# La transition énergétique

Formez des ingénieurs engagés

## Le Mouvement étudiant TForC



Ils sont de 8 écoles différentes et font vivre un Mouvement étudiant de l'IMT : ce sont les membres du TForC : "Mouvement pour les Transitions et Formations Citoyennes".



### Être moteur des transitions écologiques et sociales

Le TForC est une force parmi d'autres, les lignes commencent à bouger ! Des heures et de nouveaux modules s'immiscent dans les formations, l'année 2020 a démarré avec une Fresque du Climat dans quasiment toutes les écoles, des groupes de travail sont mis en place dans les écoles et à l'échelle de l'Institut, ...

Le TForC participe à ces réflexions, il porte la voix des élèves au sein des différents groupes. Il constitue surtout un réseau d'étudiants engagés à travers l'Institut. Et puis outre ce travail de l'ombre, le Mouvement a lancé un nouveau projet !

Cette année et pour la première fois, les écoles de l'IMT se sont (presque) toutes rassemblées pour organiser un parcours d'événements : l'IMTForGood. Ce printemps, nous avons abordé différentes thématiques

dans le but de créer des déclis au service de la transition environnementale et sociétale, auprès d'un public le plus large possible.

Le nom IMTForGood traduit l'objet de l'initiative :

- IMT : pour des événements qui rassemblent les écoles de l'IMT
- ForGood : pour mettre en avant certaines valeurs peu traitées dans nos écoles, autour de l'éthique et l'épanouissement, en lien avec les transitions écologiques et sociales.

Il a donc été mis en place des fresques du numérique, des conférences, des débats, des « jeux sérieux », ...

D'ailleurs, à Lille Douai, l'événement, labellisé SEDD<sup>1</sup>, a même gagné le prix ODD 4<sup>2</sup> : Éducation de qualité !! ■

1. SEDD = la "Semaine européenne du développement durable". A cette occasion, de nombreuses initiatives pour promouvoir le développement durable sont, chaque année, organisées dans toute l'Europe.
2. ODD = "Objectifs de développement durable". Cet acronyme désigne les dix-sept objectifs établis par les États membres de l'ONU (Nations Unies), ce sont les cibles à atteindre dans différents domaines, à tous les niveaux, par tous les acteurs de la société et à l'horizon 2030.

### Histoire d'un Mouvement à l'IMT

Il faut remonter à la COP1 étudiante, en 2019, où des élèves d'IMT Mines Alès et d'IMT Mines Albi se rencontrent et restent en contact. Une succession d'événements et de conversations ont révélé les synergies qui existaient entre les associations de différentes écoles. Forts d'un objectif commun, ces étudiants se structurent et rédigent un premier manifeste à l'attention des directeurs des écoles de l'IMT, pour les inciter à adapter les cursus, en y intégrant les enjeux environnementaux et sociétaux.

Les échanges ont perduré et se sont inscrits à une plus grande échelle : chaque école de l'IMT est à présent représentée (IMT Atlantique, IMT-BS, IMT Lille Douai, IMT Mines Albi, IMT Mines Alès, Mines Saint-Etienne, Télécom Paris, Télécom SudParis).

L'initiative a trouvé un écho à la Direction Générale de l'IMT qui invite le Mouvement naissant à exposer ses travaux lors d'un séminaire en ligne le 4 juin 2020.

Ce mouvement initialement informel, devenu le TForC, s'est structuré et pérennisé, les revendications se sont transformées en collaboration avec l'IMT, notamment par l'intermédiaire de la chargée mission Transition Écologique de l'IMT : Anne MONNIER (lire par ailleurs).



#TForC IMT  
**Mouvement pour les Transitions  
& Formations Citoyennes**

Article rédigé par  
**Arthur DOCQUOIS,**  
étudiant en 1<sup>ère</sup> année à l'IMT Atlantique  
& **Coline MICHAUD,**  
étudiante en 2<sup>ème</sup> année à l'IMT Mines Alès

# Interview

**J**e m'appelle Coline MICHAUD, je suis en fin de deuxième année à IMT Mines Alès, en filière énergie environnement et risques.



En parallèle des études je suis coordinatrice du Mouvement Ingénieurs Citoyens à Alès et coordinatrice du TforC au niveau de tout l'IMT. Et voilà.

## **Ingénieurs Citoyens, qu'est-ce que vous y faites ?**

C'est un collectif fondé il y a deux ans et qui aujourd'hui regroupe des élèves qui ont envie de s'impliquer dans la transformation de leur formation et qui travaillent avec notre administration pour faire évoluer les formations pour qu'elles soient un minimum à la hauteur des enjeux environnementaux et sociétaux. Donc concrètement on fait partie de groupes de travail avec eux, on sert de relais quand il faut partager des sondages ou autres, quand il y a besoin d'animer une fresque à la rentrée c'est aussi le Mouvement Ingénieurs Citoyens qui est sollicité, ce genre de choses.

## **Qu'est ce qui t'as poussé, te motive à t'engager ?**

Lorsque j'étais étudiante en première année, le collectif avait organisé des ateliers autour du pétrole, la mafia du sable, la démocratie... pleins d'ateliers comme ça, pendant deux journées entières on a eu une conférence, des débats on a appris beaucoup de choses et ça a été un peu l'occasion de se poser les questions qu'on n'aborde pas toujours et qui pourtant touchent profondément à ce pour quoi on est en école. Ça a été un peu la première pierre. J'ai ensuite été tirée au sort pour être représentante des élèves au comité d'enseignement de mon école et j'ai pu commencer à discuter avec des gens qui s'étaient engagés par ce biais-là dans leurs formations. Je me suis rendu compte que même si les élèves râlaient souvent, il y avait très peu d'engagement politique, même si c'est un bien grand

mot, c'est de ça dont il s'agit. Et puis ce comité d'enseignement a un peu nourri ma réflexion quant au contenu des formations, et mon engagement petit à petit a pris la forme d'un engagement auprès du collectif Mouvement Ingénieur Citoyen pour essayer d'être un peu constructive dans tout ça et d'aller là où il y a des leviers d'actions.

## **Donc c'est ton arrivée en école qui a été le déclic pour t'engager ?**

Pour m'engager associativement comme ça oui. Je n'avais pas d'engagements formels. J'ai toujours été sensible, il y a des choses qui m'ont toujours choquées et avec lesquelles j'étais en désaccord dans notre société, mais ça ne s'était pas concrétisé plus que ça dans mes activités.

## **Quand on voit ce que tu fais avec le Mouvement Ingénieurs Citoyens, ton engagement est dans la continuité de ça.**

Oui totalement, quand le coordinateur du TForC m'a appelée en septembre, parce que celui qui représentait Alès est parti en stage de fin d'études, je venais de m'engager à continuer à faire vivre le Mouvement au niveau d'Alès du coup je lui ai dit que je voulais bien garder un petit pied dans la porte et regarder de loin pour ne pas perdre le fil. Mais en fait c'est là qu'il y a des vrais leviers d'action et c'est là qu'il y a des choses incroyables qui peuvent se faire petit à petit. Et c'est important de garder des discussions à l'échelle de l'IMT même s'il y a plus d'inertie, que c'est plus compliqué, que ça demande plus d'énergie. C'est un peu un travail de l'ombre mais je trouve ça super intéressant, donc oui c'est totalement dans la continuité même si ça ne faisait pas partie du plan de départ.

## **Cet engagement, comptes-tu le continuer dans ta carrière professionnelle ou associative ?**

Oui clairement, professionnellement parlant c'est un sujet qui continue à m'animer. C'est clair que mon métier sera sûrement façonné par tout cela. Après associativement je ne sais pas encore, je

pense que cela dépendra de mon métier et du domaine. Mais à une autre échelle, cet engagement a nourri ma vision de la société et l'engagement que j'avais envie d'avoir en tant que citoyenne. Au niveau de l'engagement politique, ça a nourri pas mal de choses. Je ne sais pas exactement quelle forme cela prendra.

## **Considères-tu que cet engagement t'as changé toi, changé ta façon dont tu discutes avec les gens, ton entourage ?**

Il a peut-être changé la manière dont j'aborde certains sujets. Parce que cela a été l'occasion de discuter avec pleins de gens, d'être à la recherche de contenus et j'ai accumulé pas mal de connaissances. Donc oui cela a changé mon regard sur le monde mais c'est parce que j'en ai appris plus. Est-ce-que cela m'a changé personnellement... je ne sais pas, il faudrait demander ça à mon entourage !

## **On a bien vu que ton engagement voulait faire bouger les formations mais toi qu'est-ce que tu attends de ta formation ?**

J'attends qu'on ose trouver des mots qui sont encore tabous pour notre société, que le corps des ingénieurs soit avant-gardiste parce que les ingénieurs sont présents à toutes les échelles de notre société par le biais des entreprises mais pas que. C'est un vrai vecteur de changement, et aussi parce qu'ils ont une part de responsabilité particulière vis-à-vis des technologies qu'ils mettent en place et des responsabilités qu'ils ont dans les entreprises. J'attends des écoles qu'elles aient beaucoup plus d'ambition que l'état actuel de la société et des législations qui sont en place. J'en attends qu'elles nous forment d'une part sur les aspects environnementaux mais aussi sur les aspects sociaux-économiques et qu'on ose aborder ces sujets dans des formations scientifiques. Qu'on ose aborder des controverses techniques et sortir du paradigme habituel, j'ai encore un peu du mal à voir à quel point il va falloir prendre en compte le besoin des entreprises et le besoin qu'on voit pour la société. J'attends qu'elles osent aller à contre-courant et puis quoi d'autre... ? C'est déjà pas mal !

## **Un mot de la fin ?**

Parfois c'est un peu déprimant mais on espère que ça va changer et plus vite qu'au rythme des administrations. ■

# La transition énergétique

Forme des ingénieurs engagés

## Interview

**J**e m'appelle Hortense RONZANI, je viens de Belfort dans l'Est de la France, je suis en première année sur le campus de Brest d'IMT Atlantique.

### Quel est ton engagement à l'IMT ?

Dans l'IMT je suis présidente du Bureau du développement durable qui est l'association écologiste du campus.

### Qu'est ce qui te motive à t'engager ?

On a à peu près grandi avec l'idée que c'était à notre génération de faire quelque chose, que c'était à peu près la dernière période sur laquelle on aurait une chance d'éviter les plus gros désastres du point de vue climatique donc forcément ça fait réagir.

### Qu'est ce qui a été le déclic pour que tu t'engages ?

Je ne sais pas s'il y a eu un déclic ou alors il y en a eu plein. Le premier ça devait être en primaire et qu'un conférencier est venu nous parler du cycle de l'eau et comment les activités humaines perturbaient le cycle de l'eau, nous parler de la biodiversité, de la chaîne alimentaire, les extinctions en cascade qui se passaient si on supprimait un des maillons de la chaîne alimentaire. Je pense qu'il y a des déclics aussi à chaque fois que l'on se renseigne sur n'importe quel sujet en lien avec les enjeux climatiques.

### Ton arrivée en école a-t-elle changé quelque chose sur ton engagement ?

Alors avant j'étais en prépa. L'engagement n'était pas particulièrement visible parce que je n'avais pas de temps à accorder à ça, donc

oui ça a changé beaucoup de choses parce que j'ai pu décider ce que je faisais de mon temps libre. Et aussi en école d'ingénieur j'ai trouvé pas mal de gens qui pensaient la même chose donc il y a forcément de l'émulation, le cadre de l'école est plutôt propice à cela.

### Est-ce que tu as envie de continuer cet engagement dans ta vie professionnelle ou associative ?

Oui totalement, si possible les deux, même. D'ailleurs c'est pour ça que je fais des études scientifiques et des études d'ingénierie. C'est pour développer des technologies qui pourraient nous aider à faire quelque chose pour le changement climatique. Associativement je ne sais pas encore trop ce que je ferai mais maintenant que je suis dedans ça va à peu près de soi.

### Est-ce que cet engagement t'a changé ?

Oui pas mal, y'a pas mal de périodes difficiles où tu réalises « hey les choses ne vont pas, il faut qu'on fasse quelque chose là » et que tu te rends compte que techniquement ce serait possible « hop là on y met tous du nôtre et on prend un grand virage » mais les autres n'ont pas le même état de sensibilité que toi donc des fois on se sent juste vraiment seul et que le monde continue de tourner comme si de rien n'était. C'est un peu être schizophrène, d'un côté on travaille régulièrement contre quelque chose qui est très grave et de l'autre on continue de mener une vie normale, parler de tout et de rien et juste oublier ça. Mais ça va, à force, j'ai pris l'habitude.

### Est-ce que tu as des attentes particulières de ta formation ?

Si les ingénieurs ne sont pas formés aux enjeux climatiques et aux technologies qui pourraient ou ne doivent plus être utilisées, je ne vois pas qui pourrait l'être dans notre société. On a le bagage technique pour comprendre la majorité des mécanismes qu'il y a derrière et aussi la responsabilité de faire des choix technologiques qui améliorent les choses ou au moins ne les empirent pas. Enfin cela dit, ce n'est pas tout à fait le cas, on pourrait dire que les entreprises et pouvoirs publics commandent et puis les ingénieurs ne font qu'exécuter les commandes ... mais dans la mesure où les ingénieurs ont les bases scientifiques, les formations scientifiques, ils ont la possibilité d'être plus informés sur ces enjeux là que d'autres corps de la société. Par exemple les pouvoirs politiques, la formation sur les enjeux climatiques est assez lamentable. Ça leur donne donc une responsabilité supplémentaire. Du coup la formation doit sensibiliser à tous ces enjeux selon moi. ■

# Intelligence industrielle.

Fineza s'engage auprès de ses clients, comme partenaire de valeur, par un conseil et une expertise ancrés dans une expérience solide.

Nous mobilisons une équipe issue de l'entreprise et du conseil, alliance robuste qui sécurise la croissance, le développement, et la performance des projets auxquels nous contribuons.



**Transformation  
managériale**



**Excellence  
opérationnelle**



**Advanced  
digital analytics**

Fineza Consulting - 94 RUE LEGENDRE 75017 PARIS  
mohamed.feguir@fineza.fr

**Pour voir l'avenir, pas besoin d'une boule  
de cristal, un casque suffira.**



Chez EDF, il y a plus de 230 métiers d'énergéticiens qui changent tout, chaque jour. Parmi eux, les ingénieurs en R&D qui inventent les nouveaux usages de l'énergie, les moyens de production du futur et de nouvelles solutions de stockage.\* Si vous aussi vous avez déjà un pied dans le futur, rejoignez-les sur [edf.fr/edf-recrute](https://edf.fr/edf-recrute).

Devenons l'énergie qui change tout.



RCP/ARS 2020 01177

L'énergie est notre avenir, économisons-la !  
\*En savoir plus sur [edf.fr/energie-verte](https://edf.fr/energie-verte)



**EUROVIA BOURGOGNE FRANCHE COMTE**

**Agence d'Auxerre**

64 rue Guynemer  
89000 AUXERRE

 03.86.94.26.80

 [auxerre@eurovia.com](mailto:auxerre@eurovia.com)

# La transition énergétique

Formez des ingénieurs engagés

## L'IMT présent sur TOUS les continents : des étudiants en Antarctique

AMAZING Antarctique c'est l'histoire de la première expédition scientifique étudiante en Antarctique. Quatre étudiants d'IMT Mines Albi ont monté ce projet, y sont allés à bord d'un voilier en Février 2019 et en reviennent chargés de belles histoires et d'une volonté de les partager. Voici l'aventure de Aurélie SCHWARTZ, Floriane EONNET, Clément TISSOT et Robin AMAZ (tous issus de la promotion 2020) en quelques points !

### Pourquoi partir ?

Jeunes, volontaires et désireux de rendre le monde meilleur, nous voulons apporter notre pierre, même petite, à l'édifice. Nous avons créé ce projet afin de mieux comprendre l'impact de l'Homme sur notre planète et de notre planète sur l'Homme. Le réchauffement climatique, la diminution de la biodiversité ainsi que la pollution des eaux sont des réalités que nous souhaitons mettre en avant. Notre campagne de sensibilisation nous a permis de vulgariser ces sujets complexes pour les rendre accessibles à tous. Au-delà de l'action scientifique, une partie de notre génération est marquée par l'éco-anxiété, c'est-à-dire par une profonde crainte des problèmes écologiques voire même un découragement face à l'ampleur des choses à changer. L'objectif est d'apporter de l'espoir en montrant qu'il est possible d'agir à notre échelle et qu'il ne faut pas avoir peur de se lancer.

Nous souhaitons montrer que l'impossible peut devenir réalité et ainsi motiver d'autres personnes, quel que soit leur âge, à croire en leurs rêves. Si 4 étudiants de moins de 22 ans, ont réussi à monter une expédition scientifique en Antarctique en ne partant de rien, alors tout est possible.



### Pourquoi l'Antarctique ?

L'Antarctique est une terre dédiée à la science et à la paix. C'est la seule terre où il y a une interdiction totale de réaliser des activités commerciales liées aux ressources minérales alors que son sol en regorge. C'est la pureté, la difficulté d'accès de ce désert de glace et l'inconnu qui l'entoure qui lui confèrent un caractère mystique dans l'imaginaire collectif. Et c'est cet inconnu, cette puissance naturelle que nous souhaitons mettre en avant à travers notre expédition en Péninsule Antarctique (la partie au Sud de l'Argentine).

Par ailleurs, l'Antarctique est également l'une des zones qui est la moins bien connue de notre planète. Pourtant, elle joue et jouera un rôle crucial dans l'évolution du climat à l'échelle mondiale. Il est donc important de l'étudier afin de comprendre et d'anticiper les modifications climatiques à venir. Les études que nous y avons menées s'inscrivent dans ce cadre. Nous avons réalisé des prélèvements pour des instituts scientifiques (IFREMER, Plankton Planet et Greenpeace) afin d'étudier certaines données cruciales pour une meilleure connaissance de la zone. Ainsi, nos échantillons sur les communautés planctoniques et nos relevés sur les courants océaniques ont permis d'alimenter des bases de données pour mieux connaître les espèces présentes dans la zone et pour améliorer les modèles de prévision climatiques.

D'un côté, le plancton végétal est le premier absorbeur de CO<sub>2</sub> et émetteur d'O<sub>2</sub> (avant les forêts !). Avec le changement climatique, les variations de la taille et de l'épaisseur de la banquise influencent sur la quantité de soleil qui entre dans l'eau ce qui impacte l'évolution des communautés planctoniques de la zone. Il est important de suivre cette évolution afin d'anticiper comment

le plancton réagira aux modifications climatiques et quels impacts cela pourrait avoir sur l'évolution du climat à l'échelle mondiale et sur la biodiversité locale (le plancton étant la base de la chaîne alimentaire).

D'un autre côté, les courants océaniques sont les premiers régulateurs climatiques à l'échelle mondiale : ils absorbent de la chaleur au niveau de l'équateur et la réémettent au niveau des pôles. La zone que nous avons traversée sépare trois océans (Océan Pacifique, Atlantique et Antarctique). Par conséquent le suivi de ses caractéristiques est crucial !

Enfin, les derniers prélèvements que nous y avons menés portent sur les microplastiques. Cette pollution invisible que l'on retrouve désormais partout sous nos latitudes (miel, eau, bière, air,...) a été étudiée en 2018 dans la région par Greenpeace : 7 de leurs 8 échantillons en contenaient. Nos prélèvements se doivent de confirmer ou non ces premiers résultats inquiétants. Malheureusement, l'étude a pris du retard pour cause de Covid... Affaire à suivre !

### Le retour à la vie française

Passer le Cap Horn puis être sur un voilier pendant un mois, sachant qu'une partie de l'équipe n'avait jamais mis les pieds sur un voilier, puis repasser le Cap Horn : en voilà un beau défi humain ! Et le retour à la vie continentale fut tout aussi challengeant. A peine deux semaines après notre retour nous avons nos premières conférences qu'il a fallu préparer, tout en rattrapant un mois et demi de cours et de partiels. En parallèle, nous avons trois semaines pour trouver un stage et une succession d'interventions en universités, lycées, collèges et écoles primaires. Mais quel bonheur d'avoir réussi à sensibiliser plus d'un millier de personnes sur ce continent isolé de tout ! Nous avons reçu de multiples retours très positifs qui nous ont confortés sur le fait que notre message a bien été reçu : plusieurs nous ont écrit pour nous dire que cela les avait motivés à agir à leur échelle pour être acteur des changements qu'ils souhaitent voir dans le monde. ■

PS : Il y a encore une semaine un de nos membres donnait une conférence dans une école d'ingénieurs de Clermont-Ferrand ! Nous continuerons à en donner dans l'année et si cela peut vous intéresser, nous sommes prêts à en organiser de nouvelles à votre demande ;-)

Notre contact : [amazing.antarctique@gmail.com](mailto:amazing.antarctique@gmail.com)



# Des initiatives pour penser la transition écologique ensemble

## Climathon

**D**ans un monde où la transition écologique devient une priorité, chacun veut faire sa part, mais il est parfois difficile de trouver comment. Nous sommes tous concernés de près ou de loin, et nous avons tous des idées pour améliorer les choses, qu'elles soient basées sur une expertise scientifique liée à l'environnement ou bien des idées un peu farfelues qui germent dans notre esprit. Tout cela est bien beau, mais comment les réunir ? C'est le défi lancé par Climate-KIC, centre de recherche et d'innovation européen qui œuvre pour la transition écologique. Son idée ? Réunir toutes les personnes qui le souhaitent le temps d'un weekend pour réfléchir ensemble à des façons d'accélérer la transition de leur ville autour de thématiques, cette année le Système agro-alimentaire et la crise climatique, Modes de vie durables, l'Empreinte carbone des supply chain et Urbanisation & Développement.

Le weekend du 13 au 15 novembre 2020, ce sont plus de 4500 participants qui se sont lancés en équipe dans la course aux idées, répartis dans 100 villes dans 60 pays. Actuellement en second diplôme à l'Imperial College, à Londres, j'ai participé à l'édition londonienne 2020, organisée par des élèves de l'école en partenariat avec le Terra Institute et l'Impact Hub de King's Cross. Démarré le vendredi dans la soirée, l'objectif était simple : 48h pour réfléchir à une idée de start-up répondant aux exigences de l'un des quatre thèmes, et un pitch vidéo de 5 minutes à transmettre le dimanche soir.

Choisie lors de rencontres virtuelles pendant la cérémonie d'ouverture du dimanche soir, mon équipe se composait de Mia, étudiante en ingénierie chimique à l'Imperial College, Adam, fondateur de la start-up de services pour l'environnement CarbonDrop, Laura, consultante en développement d'entreprises chez R3, et Joshua, étudiant en sciences de l'environnement à l'université de Leeds.

### PARCOURS



**Manon WASYLEC**  
IMT Lille Douai, promo 2021

Elle effectue actuellement un Master of Science (Management) à l'Imperial College en second diplôme.

Nous avons choisi le thème « l'empreinte carbone des supply chain ». Dans ce genre d'exercice où chacun arrive des idées plein la tête, le plus dur est de trouver celle qui se démarque par son caractère réalisable et l'amplitude de l'impact qu'elle aura. Nous étions un certain nombre d'étudiants dans l'équipe, et nous avions un peu peur de ne pas suffisamment connaître la réalité des chaînes logistiques d'une grande entreprise. À force de brainstormings, nous avons fini par identifier quelques idées qui sortaient du lot le vendredi soir. La nuit portant conseil, nous nous sommes retrouvés le samedi matin avec une nouvelle perspective quant à ces réflexions, et avons élu notre projet : une initiative de système de notation des restaurants londoniens au regard de leurs actions écologiques mais aussi de leur choix de fournisseurs et de produits d'un point de vue environnemental.

Le but de ce système serait de créer un cercle vertueux dans lequel les consommateurs, qui ont de plus en

plus de préoccupations écologiques, sélectionneraient en partie les restaurants pour leur statut écologique, ce qui pousserait ces restaurants à se tourner vers des acteurs plus responsables. Quelques initiatives du genre existaient déjà à Londres, mais principalement de l'ordre de blogs ou de « tops » des restaurants responsables. Notre idée était celle d'un organisme qui regrouperait deux pôles : actions d'audit pour décerner la note et actions de conseil pour aider ces restaurants à s'améliorer. Afin d'établir la viabilité de l'initiative, il nous a fallu cartographier les acteurs locaux avec lesquels nous pourrions établir des partenariats, ainsi qu'analyser notre offre au regard de celle de potentiels concurrents. L'organisation nous a permis d'avoir des séances de réflexion avec des mentors experts en la matière afin d'appuyer nos découvertes.

Si faire naître une idée d'entreprise en une journée est assez complexe, 24 heures pour trouver le moyen de la vendre en 5 minutes relève du véritable défi, surtout sans jamais rencontrer nos interlocuteurs. Une journée de stress, discussions et présentation Powerpoint nous a permis de nous organiser. La semaine suivante, c'est fatigué mais heureux d'avoir mis notre cerveau au service de la transition écologique que nous avons accueilli notre deuxième place au classement londonien.

Ce weekend riche en émotions a été l'occasion de confronter ma façon de travailler et mes opinions à des personnes aux profils et à l'expertise variés, ce qui a été particulièrement enrichissant. Nous avons malheureusement jugé qu'il serait préférable de ne pas lancer une telle initiative en pleine crise sanitaire, celle-ci impactant fortement les restaurants, même si nous retenons beaucoup de positif de cette expérience. La prochaine étape : renouveler l'expérience en 2022 ! ■

**C**e magazine Minerai a été lancé avec la volonté de regrouper par thématique les contributions des diplômés de nos écoles,

en faisant participer les élèves et les partenaires (école, start-ups, ...) pour présenter un document riche en témoignages sur un sujet touchant à la vie professionnelle des ingénieurs. La démarche va donc de pair avec le développement des groupes professionnels de l'association, encouragée depuis quelques années pour développer le réseau professionnel des ingénieurs membres de **Mines+**, et faire rayonner la formation de qualité proposée par nos écoles.

La réalisation du numéro que vous tenez entre les mains ou lisez sur un écran est le fruit d'un travail passionnant, intellectuellement enrichissant, qui est actuellement supporté par une toute petite équipe.

Nous sommes donc à la recherche de personnes disposant d'un peu de temps (1h par mois est déjà suffisant), et de beaucoup de bonne volonté !

Les diplômés, élèves, enseignants-chercheurs, personnel de l'École, souhaitant contribuer sont donc les bienvenus pour collecter les informations sur un sujet d'ingénierie, et identifier des contributeurs parmi nos réseaux. Nous vous garantissons un accueil sympathique et enthousiaste dans cette aventure !

Pour tout renseignement (non engageant), nous vous invitons à prendre contact avec notre secrétariat :  
**minerai@mines-plus.org**

## >> Développer le réseau

Adhérer à l'association !

## >> Pourquoi adhérer ?

Nous essayons de fournir un maximum de services aux Diplômés et aux Élèves. Toutefois, afin d'y parvenir, nous avons besoin de ton soutien financier.

## >> Cotiser en ligne

[www.imt-lille-douai.org](http://www.imt-lille-douai.org)  
[www.mines-albi.org](http://www.mines-albi.org)  
[www.mines-ales.org](http://www.mines-ales.org)

## >> Prochain numéro

Mobilité internationale

Pour continuer de recevoir ton magazine, vérifie que les coordonnées et ta cotisation sont à jour sur le site.

## >> Participer

Rédaction d'articles, idées à développer, relectures, avis et observations...

N'hésitez pas à nous contacter :  
**minerai@mines-plus.org**



IMT Lille Douai  
Alumni



IMT Mines Alès  
Alumni



IMT Mines Albi-Carmaux  
Alumni



# La Sécurisation de votre Transformation Numérique



## Gestion des Identités Numériques

Référentiels d'identités  
Gestion du cycle de vie des utilisateurs  
Identitovigilance

## Gestion des Habilitations

Modèle de droits  
Certification des comptes  
Synchronisation inter-référentiels

## Sécurisation et Contrôle des Accès

MFA E-SSO Web SSO  
Fédération d'identité  
Self Service



Conseil, Audit & Expertise




Intégration & Déploiement



Conception & Ingénierie



Opérations & Services managés



**Rejoignez-nous,  
et ensemble  
inventons un avenir  
à taille humaine**

**#HumanPerspective**