



IESF

SOCIÉTÉ DES INGÉNIEURS ET
SCIENTIFIQUES DE FRANCE

**LES
CAHIERS**

Avril 2024



DEVELOPPEMENT DURABLE ET REINDUSTRIALISATION DE LA FRANCE

www.iesf.fr



Ce cahier a été rédigé par Bruno Wiltz, président du comité Environnement, avec l'aide de Claude Arnaud, Jacques Bongrand, Gérard Houguères, Henri Prévot, Jean-François Saint-Marcoux.

INGENIEURS ET SCIENTIFIQUES DE FRANCE (IESF)

La France compte aujourd'hui plus d'un million d'ingénieurs et de deux cent mille chercheurs en sciences. Par les associations d'ingénieurs et de diplômés scientifiques qu'il fédère, IESF est l'organe représentatif, reconnu d'utilité publique depuis 1860, de ce corps professionnel qui constitue 4% de la population active de notre pays.

Parmi les missions d'Ingénieurs et Scientifiques de France figurent notamment la promotion d'études scientifiques et techniques, le souci de leur qualité et de leur adéquation au marché de l'emploi ainsi que la valorisation des métiers et des activités qui en sont issues.

A travers ses comités sectoriels, IESF s'attache ainsi à défendre le progrès, à mettre en relief l'innovation et à proposer des solutions pour l'industrie et pour l'entreprise. Notre profession s'inscrit pleinement dans le paysage économique et prend toute sa part dans le redressement national.



Sommaire

Synthèse et conclusion

Introduction

I- Chimie, recyclage et économie circulaire

I-1- Matériaux et procédés

I-2- Réalisations et leurs avenir

II- L'énergie au cœur de la réindustrialisation des territoires

II-1- Débat d'ensemble

II-2- La réindustrialisation de la France : quels acteurs, quels facteurs ?

II-3- Les solutions « énergie » recherchées par les industriels

III- Jeunes entreprises industrielles : l'industrie du futur

III-1- Matériaux

III-2- Énergie

III-3- Technologies propres

III-4- Agriculture

III-5- Alimentation



Synthèse et conclusion

Partant d'une publication qui souligne le besoin de compétences en matière de sciences et technologies pour réindustrialiser la France, le présent document rassemble un certain nombre d'analyses et d'exemples de réalisations tirés de deux récents colloques et de communications largement accessibles.

Ces réflexions et ces actions combinent à de multiples reprises des préoccupations de développement durable et de réindustrialisation. Les domaines de la chimie et du recyclage sont d'abord examinés, en citant quelques acteurs industriels majeurs. Vingt-cinq jeunes entreprises prometteuses sont ensuite passées en revue.

En conclusion, la réindustrialisation de la France est bien en route et ne s'arrêtera pas ; mais il faut du temps pour passer de la recherche à la production. Tout naturellement, il faut pouvoir desserrer les freins que sont la temporalité administrative-en cours-, les ressources économiques, les besoins d'ingénieurs et de techniciens, la protection écologique et l'acceptabilité, la souveraineté européenne.

Ce « cahier » montre que la base de la réindustrialisation, la technologie, est devenue créative, comme l'illustrent la chimie et l'énergie prises en exemple, comme d'autres. L'État a bien répondu à la demande d'une augmentation sévère du nombre de formations d'ingénieurs, de 10.000/an d'ici 2030 pour atteindre un total de 50.000/an. Toutefois le nombre n'est pas suffisant, si ces formations n'attirent pas davantage vers le concret que vers l'abstrait, comme le conseil ou l'économie ; l'intelligence artificielle étant cependant essentielle.

Mais quand on voit que la France est devenue le premier pays par le nombre de « startups » industrielles en Europe, devant l'Angleterre et l'Allemagne, venant de loin, que la France reste toujours le pays le plus attirant pour les investissements étrangers, en nombre aussi et même s'ils le sont moins en investissements, un peu d'optimisme fait du bien, d'autant plus que la relocalisation ralentie en 2023 pour des raisons économiques, est loin d'être finie. La loi Pacte de 2019, destinée à favoriser le développement des entreprises françaises et réétudiée à la suite de la consultation publique menée fin 2023, devrait être encourageante, en particulier pour les jeunes et futurs ingénieurs.



Introduction

Réindustrialisation : technologie et ingénieurs de l'industrie.

« Pénuries des compétences et réindustrialisation : un étonnant paradoxe » : pourquoi ce titre ? C'est une publication de la Fabrique de l'Industrie en juillet 2023. Pourquoi la Fabrique de l'Industrie ? : Son but est la réindustrialisation de la France.

Sans tout reprendre de la Fabrique de l'Industrie mais en s'en inspirant fortement, ce cahier s'intéresse à la recherche et au développement des technologies, à l'aide d'exemples, dévoilés dans des colloques, des vidéos ou toute autre communication, vulgarisés et accessibles à tous.

Pourquoi cet aspect « réduit » ? : parce que c'est le premier départ pour un ingénieur ; un stage ne suffit pas. Commençons par le commencement : la vraie naissance de la réindustrialisation est donc celle lancée par la Fabrique de l'Industrie en octobre 2011, après 3 années de réflexions sous l'impulsion de Louis Gallois, « père » de la politique de l'offre, et soutenue par l'UIMM- Union des Industries et des Métiers de la Métallurgie. Elle a été suivie par la création de la BPI (Banque Publique d'Investissement) à partir de plusieurs regroupements initiés depuis longtemps, avec la Caisse des dépôts et des entreprises privées avec délégation de service publique pour le financement des PME, dont Oséo (Organisme Suisse d'entraide ouvrière). Nous sommes au 31 décembre 2012. Elle poursuit son développement normalement avec l'aide du PIA. Le PIA (Programme d'Investissements d'Avenir) créé en 2008 a été doté d'un fonds de départ de 20 milliards d'euros, pour lutter contre la crise économique de 2008, relancé ensuite tous les cinq ans.

La réindustrialisation commence à créer des emplois à partir de 2017. Mais elle est retardée par la crise du COVID 2019, l'Etat crée alors France Relance à l'été 2020, comprenant une baisse de 10 milliards d'euros des impôts de production et un accompagnement du PIA.

300 usines ont été créées entre 2017 et 2022- contre 600 destructions entre 2008 et 2016, conséquences de la crise économique-

En 2022, création de « France 2030 », pour un montant de 34 milliards sur 5 ans, dont 50% pour les technologies d'avenir, dont les start-up, 50% pour la décarbonation, auxquels s'ajoutent 20 milliards du PIA, d'où un total de 54 milliards entre 2022 et 2030.

Fin 2023, 64 usines ont été créées, dont la « gigafactory » d'ACC dédiée à la production de batteries (Saft et Stellantis), et l'investissement massif de Norvo Nordisk pour la santé française ; 42 autres ont fait des extensions, selon « Pole Implantation Entreprises ».

L'« Usine Nouvelle » annonce 64 nouvelles usines productives, mais 42 arrêtées ou menacées. Le cabinet Trendéo calcule que les pertes d'emplois diminuent moins qu'en 2022, malgré un bilan moins satisfaisant sur l'écart entre les créations et les fermetures d'usines. Certains se plaignent de la lenteur, souvent à cause de différents liés à l'environnement, éliminant ainsi des entreprises étrangères plus pressées. Mais Louis Gallois reste optimiste : « quand je me déplace dans le pays, je vois un peu partout des bourgeons prometteurs ».

« Pénuries des compétences et réindustrialisation, un étonnant paradoxe ».

Revenons au thème de la publication de la Fabrique de l'industrie : Le secteur industriel a connu une hausse de ses effectifs salariés depuis 2018 mais les recrutements ne suivent pas, alors que le chômage, qui avait diminué, est remonté légèrement en fin d'année 2023. Pôle emploi prévoyait 3 millions d'emplois disponibles, dont 72% durables... !

NB : Une explication avancée est que les revenus du travail ne sont pas assez attractifs économiquement par rapport à ceux des chômeurs, qui sont par ailleurs à former.



Pour répondre à cette préoccupation, il faut adapter les offres de formation aux besoins des entreprises à moyen et long terme. Parmi les solutions retenues, le gouvernement compte créer 100 écoles de production d'ici 2027, et renforcer les filières de production des lycées professionnels. Selon Pole Implantation Entreprises, les secteurs de l'industrie les plus dynamiques sont l'industrie automobile, le domaine de l'énergie, et l'agroalimentaire. L'automatisation et la robotisation sont majeures pour la productivité, la qualité des produits et surtout les coûts de production, pour la compétitivité.

Quant aux ingénieurs, il en manque encore beaucoup. Selon les sources d'IESF, on en forme 40.000 par an, il en faudrait 20.000 de plus. Dans le cadre du projet de loi « industrie verte », le gouvernement se fixe comme objectif 10.000 de plus dès la fin du quinquennat, ce qui sera déjà difficile ; la féminisation pourrait faire partie des solutions ; le décrochage des élèves pour les mathématiques se réalise dès le primaire. Mais le problème n'est pas uniquement le nombre : selon l'observatoire paritaire des métiers du numérique et de l'ingénierie, « une grande partie des étudiants formés en école d'ingénieurs n'ont pas d'appétence pour travailler dans l'industrie » ; ils sont plus attirés par les « soft skills », que les « hard skills » : le sociétal, le conseil, la communication, la capacité de manager, etc.

NB : on ne peut être compétent dans ces domaines qu'après avoir connu l'industrie : recherche, développement, construction, production, etc. ; sans doute ces étudiants ont-ils été excessivement attirés par la finance ?

C'est pourquoi seulement 30% des ingénieurs diplômés sont dans l'industrie alors que la technique en a bien besoin. Il faut donc intéresser les futurs ingénieurs en écoles à la science et aux technologies en commençant par des vulgarisations et des analogies, pour les rendre accessibles, curieux d'aller plus loin, stimulés. Mais ces sciences et ces technologies sont insuffisamment développées, y compris chez les ingénieurs, parfois excessivement spécialisés : l'auteur du présent document a été frappé de lire que certains pensent que les réacteurs nucléaires renvoient du CO₂ dans les nuages. C'est pourquoi, il est nécessaire que les acteurs des sciences et de l'industrie fassent preuve de beaucoup de pédagogie, comme les colloques de la Maison de la Chimie, Evolen pendant ses deux jours annuels, ou bien d'autres : mais leurs interventions restent limitées à leur auditoire, même si le numérique permet de mieux diffuser d'où ce petit document destiné à en faire profiter tous les lecteurs des publications d'IESF.

Ce cahier commence par une synthèse du colloque tenu à la Maison de la chimie le 9 novembre 2023, axé sur les technologies et le recyclage, source importante de la réindustrialisation. Il continue par une synthèse de la plénière des journées annuelles d'Evolen, les 18 et 19 octobre 2023 : « L'Énergie au cœur de la réindustrialisation des territoires », notamment l'atelier N°4 : « la réindustrialisation de la France, quels acteurs, quels facteurs », et l'atelier N°6 : « Réindustrialiser la France : « les solutions « énergie » recherchées par les industriels ». Il se termine par la présentation d'un ensemble de jeunes entreprises d'avenir choisies dans le « Club Tech Factory », qui réunit 80 « startups » récentes sur les 1300 consacrées à l'industrie, selon BPI France ; 5 filières sont représentées : les matériaux, l'énergie, les technologies propres, l'agriculture, l'alimentation ; ce sont les plus « hard skills », et s'opposant aux « soft skills », comme l'intelligence artificielle ou le numérique, toutes aussi importantes. Le nucléaire n'est traité que par un petit réacteur modulaire (« SMR »), il mériterait tout un ouvrage à lui tout seul.



I-Chimie, recyclage et économie circulaire

Le recyclage est un des piliers de la réindustrialisation.

Définition de l'industrie en France : ensemble des activités économiques qui produisent des biens matériels par la transformation et la mise en œuvre des matières premières- Larousse. 1.225 000 ingénieurs dont 980.000 de moins de 65 ans ; 354.000 dans l'industrie à laquelle il faut ajouter l'agriculture, 21.500, l'eau, 22.500, le gaz et l'électricité, 32.500, la construction et le BTP, 65.000, et les télécommunications, 31.000, ce qui porte les ingénieurs dans le concret à 527.000, soit 54% en activité professionnelle ; restent 46% pour les sociétés de service, 99.250, l'ingénierie conseil, 79.000, le conseil stratégie, 51.000 et le tertiaire, 177.000, soit donc 46% dans l'abstrait, tout aussi utile. Source IESF, enquête annuelle 2023.

Pourquoi ces chiffres : c'est que la grande majorité des colloques, réunions, médias publics, sont dans cet abstrait, comprenant le sociétal, nécessaire, mais pas assez dans le concret, le réel, comment ça marche.

La réindustrialisation de la France ne peut se faire sans le concret, et sans une attirance plus forte égale à l'abstrait, plus accessible, mieux rémunéré, plus sociétale. La Maison de la chimie l'a compris, **son président Philippe Goebel et ses organisateurs Danièle Olivier et Jean-Claude Bernier**, ayant réservé 9 interventions d'industriels axées sur les technologies, lors de son colloque exceptionnel du 9 novembre sur le recyclage et l'économie circulaire. Cette économie circulaire est un atout majeur de la réindustrialisation, nécessaire pour retrouver un peu plus de souveraineté. Si la France avait pris un retard dans ce domaine, elle revient en force par la science, depuis plusieurs années, et désormais par ses applications concrètes. Cette revue du colloque avec quelques ajouts, synthétisée et vulgarisée, le confirme. Autres sources : les polymères : le recyclage des matériaux plastiques, SCF 2021, -Société Chimique de France-, les médias et le WEB et quelques interventions personnelles, dont l'explication de mots scientifiques.

Ce rapport passera d'abord par la science rapidement, deux plénières, sur les « matériaux » et les polymères, puis sur les procédés chimiques et les bioprocédés. On continuera sur les réalisations et leur avenir.

Et **Mme Constance Maréchal-Dereu, chef de Service de l'industrie, direction générale des entreprises**, ingénieur X, montrera l'intérêt de l'Etat sur le recyclage circulaire.

I-1-Matériaux et procédés

M. Jean-François Gérard, directeur adjoint scientifique CNRS, en charge du programme recyclage, en particulier des polymères, distingue 5 domaines de matériaux : 1) les métaux stratégiques et les terres rares, allant des plus importants aux plus petits appelés terres rares, faiblement recyclés pour ces dernières ; 2) : les composites réunissant physiquement ou chimiquement plusieurs matériaux comme pour les pâles éoliennes, difficiles à recycler ; 3) : les textiles, très abondants, mais « catastrophiques » pour le recyclage, challenge pour la chimie, purification, décoration ; 4) : papier- carton, très recyclé, mais souvent conduisant à un produit de moindre qualité, le « downcycling » comme le papier toilette ; 5) : les plastiques, dont les polymères.

NB : on aurait pu y ajouter tous les matériaux de la construction et des travaux publics, plus lointains de la chimie, et les déchets de la biomasse.



Polymères : « Ce sont près de 391MT produits dans le monde, 57 en Europe, appliqués à l'emballage-44%, la construction, -18%, l'automobile, -8%... ; les plus importants sont les polyoléfines : les polyéthylènes PED et PEDH, (C₂H₄)_n, le polypropylène PP, (C₃H₆), 53% ; le polystyrène PS, (C₈H₈)_n, 5,3% ; le polyuréthane PUR, plus compliqué, 5,5% ; le polyéthylène téré- phtalate, PET, 6,2% ». Le Plan France 2030 plan d'investissement de 54 milliards d'Euros, comprend la recherche attachée à la Stratégie d'accélération « Recyclage, Recyclabilité, Réutilisation des matières », ce qui montre que le recyclage n'est pas le seul moyen. L'adaptation est nécessaire aux grandes variations imposées par les objectifs liés au climat donc aux nouvelles énergies, aux nouveaux procédés, impactant la conception des matériaux. Le recyclage n'est pas le seul acteur de la recherche scientifique, il doit être holistique, comprenant la recherche appliquée, et tous les éléments impactés, comme le tri, le numérique, la toxicologie, le cycle de vie, l'économie, la robotique.

En 2021, le recyclage des polymères dans le monde était de 8,3%, aidé par 1,5% issus de source bio, soit 90,2% restant ; 19% des déchets sont incinérés, 50% vont en décharge, 22% brûlés à ciel ouvert. Le grand polymère PVC peut accéder au recyclage physique par broyage, les autres le sont par recyclage chimique, solvolysé, thermolysé, enzymolysé : les PET et les PP sont très difficiles à traiter et doivent passer par la thermolyse qui ne conduisent aux molécules nécessaires pour revenir au départ que très partiellement.

Les autres conduisant à des molécules pétrolières, dont celles nécessaires à la chaleur et le reste pouvant être valorisé comme combustible ou autre.

La solvolysé est une technique qui consiste à dépolymériser un polymère ou un composite par un solvant réactif, par exemple le méthanol utilisé notamment pour les huiles végétales ; elle est utilisée essentiellement pour les composites, les polymères thermoplastiques et les polyesters, ces derniers étant utilisés majoritairement pour les textiles.

La thermolyse est une dégradation chimique des molécules initiales, variable selon la température et la catalyse ; pour les polyoléfines, PET ou PPE, elle conduit à un mélange de gaz, de naphta, des hydrocarbures réutilisables, plus la production de la chaleur nécessaire et du charbon, le Char ; le naphta est alors traité dans un « steamcracking » conduisant à la production d'éthylène et de propylène.

L'enzymolysé : les enzymes sont des protéines qui catalysent de nombreuses réactions biologiques, mais une enzyme donnée ne peut catalyser qu'une réaction chimique ; l'avantage, c'est une opération plus douce et donc une préservation des molécules. L'enzyme adaptée au PET avait été trouvée à Osaka en 2012, mais a été améliorée par l'INSA de Toulouse et l'entreprise Carbios, en 2019, permettant une plus grande efficacité -97%-, notamment grâce à une plus haute température facilitant la séparation des molécules. Cette méthode pourrait être appliquée à beaucoup plus de polymères, dont les PET et PP, mais encore faut-il trouver les enzymes adaptées ?

Procédés chimiques et bioprocédés

M. Jacques Amouroux, professeur émérite Sorbonne, présente le cas des matériaux récents et l'emploi en fort développement de la biologie pour le recyclage des terres rares. Le recyclage est nécessaire, mais a des inconvénients, dont le « talon d'Achille, l'eau... » ; toutes les opérations de recyclage en ont besoin.

Matériaux : nous avons besoin des grands matériaux, le fer, l'aluminium, le manganèse, le cuivre...etc., et des métaux « techniques », cobalt, platine, lithium...etc. L'extraction minière a besoin de 6% de l'énergie mondiale. Le fer est de loin le plus important : en 2017, la consommation était 1. 690.millions de tonnes, dont 36% recyclé, jugé loin du compte. NB : Selon la source « Croissance soutenable », étude de F. Gross, une statistique plus récente serait différente : pour 100 tonnes consommées, 40 vont aux déchets et 29 sont recyclés ; ce qui montre que le recyclage augmente moins vite que la demande.



Recyclage des batteries électriques : ces batteries sont un assemblage de petites piles, par exemple 7000 dans une batterie Tesla. Le procédé de recyclage commence par un broyage, créant le « black mass », qu'on dissout par des méthodes d'hydrométallurgie ; le black mass est dissous dans un liquide acide, créant une précipitation ; l'électrolyse suit et conduit à la reproduction des métaux ; il y en a 8 : par ordre de quantité, le graphite, l'acier, le manganèse, le cuivre, l'aluminium, le cobalt, le nickel, le lithium. NB : les électrolytes pourraient aussi être recyclées et standardisées. En 2028, il y aura 28 millions de voitures électriques, mais seulement 250.000 tonnes de batteries à recycler, alors que les besoins en métaux explosent, et qu'elles auront émis 82 millions de tonnes de CO₂. Le cas du lithium : pour en produire une tonne, il faut 250 tonnes de minerai, ou 750 tonnes de saumure naturelle, et 1900 d'eau et 42 Kg de CO₂ ; produit en grande partie en Australie et au Chili, le raffinage se fait en majorité en Chine, d'où une stratégie menaçante pour le monde et l'Europe ; la consommation en 2030 augmentera de 400% entre 2012 et 2030, et le prix de 5000 \$/t à 50.000\$/t. La situation des autres métaux a beaucoup de ressemblance.

Pour finir sur les batteries, le stockage de l'électricité : BASF a construit un ensemble de batteries NA-S de 5,8 MWh avec un volume de 125 M³. 125 M³ de fuel contient une puissance de 1375 MWh, soit 240 fois plus ; le stockage de l'électricité intermittente par batterie sera très gourmand de place et d'investissement. L'Europe a engagé la bataille du recyclage des batteries lithium-ion avec un objectif de production de lithium de 350.000T/an en 2030 ; des projets sont en cours en Allemagne, en France et en Norvège.

Recyclage du Photovoltaïque : le silicium très pur transforme l'énergie photonique en électron avec un rendement de 95%, mais il faut beaucoup d'énergie pour le produire. Un panneau de 300Wc pèse 20Kg, à un facteur de charge de 15% et une production annuelle entre 270 et 420 KWh ; il faudrait en avoir 20 pour alimenter une voiture électrique. On estime qu'il y a dans le monde 60 millions de panneaux installés pour atteindre 500 millions en 2050 ; il faudra les recycler. Le coût du silicium d'extrême pureté est de l'ordre de 30\$/kg, venant du silicium métallurgique de pureté 99% de coût de 4\$/kg ; la Chine se charge de cet ultra raffinage et de la fabrication des panneaux : mise en lingot, sciage pour produire les « wafers », -plaque très fine de l'ordre d'un dixième de millimètre-, fabriquer les cellules et les assembler ; la grande majorité des panneaux dans le monde vient de la Chine.

Pour recycler ces panneaux, il faut les démonter, et pour retrouver le silicium, il faut agir sur le wafer ; ce peut-être par de la solvolysé, difficile, ou par le procédé du CEA, le CO₂ supercritique ; c'est la difficulté essentielle. Le coût global du recyclage est estimé entre 15 et 45\$ par panneau ; la part du silicium dans le coût total est de 11%, alors que sa masse est de 3% ; au contraire le verre compte pour 75% de masse et 8% de recyclage. Il en est de même pour tous les autres éléments. En 2050, il faudra recycler 80 millions de tonnes de panneaux, -Nb : de l'ordre de 4 milliards de panneaux-, on en est encore très loin.

NB : « la start-up française ROSI-Return Of Silicium-SOLAR a développé avec le CNRS un procédé unique au monde pour valoriser les matières difficilement récupérables des panneaux solaires, l'argent, le cuivre et le silicium, 20% de la matière, 80% de sa valeur. Elle aura traité 150.000 panneaux, 3000 tonnes cette année ; deux projets sont en gestation en Espagne et en Allemagne pour 2025. Le marché de ce recyclage est de 170 millions de dollars en 2023, et pourrait atteindre 2,7 milliards en 2030. La société Soren, à Loubès près de Bordeaux, a construit une usine prototype, en marche depuis plus 6 mois, « unique au monde » et conçu au Japon, pour découper les panneaux usagers : ce délamineur sépare le cadre aluminium, la plaque de verre, puis la couche très fine photovoltaïque ; toutes ces matériaux dont les rouleaux des cellules photovoltaïques rejoignent St Honoré près de La Mure, récupérant tous les métaux propres à leurs usages.

Innovations et « bioengineering » : « l'eau et le carbone sont les deux molécules clefs qui donnent la vie ». Les bioprocédés activés par les bactéries ont de grands avantages : basse température, peu de réactivité toxique, emplois de n'importe quelles eaux ; mais c'est la bactérie qui est l'essentiel. On sait les modifier par les organismes de modifications génétiques ; « le bio-engineering est le futur de nos sociétés industrielles » : un exemple naturel le montre : le Titanic, échoué par 3500 mètres, est attaqué par des bactéries Holomas Titanicaé, perd 500t/an, et aura disparu en 2100.



Le charbon est lui-même attaqué par les bactéries et produisent du méthane, ou des hydrates de méthane, représentant 50 milliards de tonnes en réserve ; il y a, par exemple, des « lacs de méthane » qui se forment sur le lac de Barents ou de Baïkal avec des explosions régulières ; d'où pourquoi ne pas exploiter ces gisements qui émettent des quantités importantes, très dangereuses pour le climat, au lieu d'aller le chercher où il n'y a pas d'émissions, ce qui se fait à Béthune dans les houillères du Nord depuis 2021. De plus, un couplage de 5 molécules d'eau et d'une de méthane généré par des bactéries conduisent à un solide, il suffit de les exploiter, ce sont les hydrates de méthane ; de plus il existe des hydrates de méthane CO₂-CH₄, de plus grande stabilité, exploitables comme des minerais

Les cyanobactéries-, organismes microscopiques-, présentes dans les eaux de surface- produisent des chaînes linéaires d'hydrocarbures ; c'est un moteur dans le cycle du carbone ; 800.000 tonnes d'hydrocarbures sont produites annuellement par cette technologie ; des études sont en cours pour trouver des bactéries pour produire du méthane à partir d'un mélange CO₂-H₂O par électrolyse.

Une voie pour les « biofuels » et les alcools : des microorganismes génétiquement modifiés peuvent y conduire ; ils agissent par photosynthèse dans des microréacteurs en milieu aqueux avec apport de nutriments et de CO₂. Un programme SOLAR espère produire 15.000 gallons de diesel et 25000 d'alcool par an, pour un coût de 20\$ le baril. NB : le gallon se traduit en 4,5 litres, soit environ 60 tonnes de diesel. L'industrialisation est proche pour d'autres programmes ; métabolyse du glycérol pour produire du diesel, et un autre pour produire de butanédiol.

Les microalgues peuvent être aussi produites par des photoréacteurs, à partir de protéines et de CO₂ à recycler ; elles sont les deux tiers de la nourriture des poissons ; le projet Vasco2 valide la culture de microalgues à partir des fumées de la pétrochimie de Fos sur Mer.

NB : Total Energies et ses compagnes viennent de tester du SAF- carburant aérien durable-, à partir du méthanol ; ce méthanol peut venir d'une réaction chimique : hydrogène et CO₂ : $3H_2 + CO_2 = CH_3OH + H_2O$. A suivre avec attention.

Tout ceci montre qu'il ne faut pas considérer le CO₂ comme un déchet, mais comme un acteur de la vie. « L'avenir de notre société est dans les mains de ceux qui acceptent les défis ».

I-2- Réalisations et leurs avenir

La première partie se termine par le recyclage du CO₂, et il faut le considérer comme un acteur important, vecteur positif du changement climatique, grâce à la chimie. Cette deuxième partie est consacrée à l'industrialisation du recyclage chimique en cours.

Solvay terres rares

Mme Lama Lini, directrice « business manager » : Solvay a lancé en 2022 un projet visant à purifier les terres rares nécessaires aux aimants permanents, employés notamment par les moteurs électriques et bien d'autres. Au préalable, il faut assurer un approvisionnement durable en développant hors Chine des partenariats avec des producteurs, et des consommateurs d'aimants en fin de vie.

Les terres rares sont nombreuses, employées dans beaucoup d'applications, dont les aimants permanents, dont les moteurs électriques ; en 2018-NB, c'est un peu vieux-, les aimants, le polissage et la catalyse consommaient 60% des terres rares. Il y a dans les aimants plusieurs technologies, celles n'utilisant pas de terres rares, et celles qui les utilisent : les aimants permanents à base de terres rares ont une densité énergétique jusqu'à 10 fois plus que les autres, d'où leur intérêt, en particulier pour les éoliennes, la mobilité et donc le climat. Les besoins multipliés par quatre d'ici 2030, soit une augmentation de 14,5% /an.



Solvay est l'une des deux sociétés d'Europe ayant les équipements et le savoir-faire pour séparer et purifier les terres rares, d'origine Rhône Poulenc. NB : *source médias*. « Le site de la Rochelle dispose de la plus grosse unité de séparation et de purification au monde, derrière la Chine. L'objectif est de passer de 4000 tonnes/an de terres rares à 8500 tonnes /an en 2030. Elle a lancé son projet en 2022 et déjà signé un accord avec Cyclic Materials, Ontario, pour mettre en place une production, puis une fourniture d'oxydes de terres rares à l'usine de la Rochelle. Elle veut augmenter ses capacités de formulation de terres rares en ciblant les aimants permanents pour les moteurs électriques. De plus la Rochelle a construit une unité pilote, pour produire des matériaux dédiés aux électrolytes des futures des batteries solides pour l'automobile ». Les technologies sont semblables à celles écrites dans la première partie. La souveraineté, l'impact environnemental, la préservation des ressources naturelles doivent supporter les technologies et de démantèlement coûteux, l'expérience du pilote pour aboutir à l'échelle industrielle, la diversité des déchets. L'objectif est le développement d'une chaîne d'approvisionnement à l'échelle de l'Europe, avec l'aide d'automatisation et d'innovations pour être compétitif.

Constellium recyclage de l'aluminium

Mme Fanny Mas, ingénieur RetD Senior : Constellium est un leader mondial de la fabrication de produits en aluminium ; l'aérospatiale, l'automobile et l'emballage, surtout les canettes, sont ses principaux clients. NB : *source Wikipédia*. « Très peu connue, elle est le résultat de plusieurs OPA-Offre Publique d'Acquisition- des pionniers de l'aluminium Alcan, USA, et AluSuisse- sur Pechiney ; elle est redevenue Française grâce au Fonds Stratégique d'Investissement, devenu BPI en 2012, devenant le premier actionnaire avec 12,5%. Les usines de Pechiney sont vendues et celle de Lannemezan arrêtée ».

NB : « l'aluminium est de très loin le plus grand émetteur de CO2 par tonne, devant le ciment et le fer, mais 4 fois moins que le ciment compte tenu de sa quantité, 1 milliard de tonnes/an, soit un peu moins de 2% des émissions mondiales ». La cause est la production minière de la bauxite, mais surtout l'électricité nécessaire par l'électrolyse de l'oxyde d'aluminium, représentant 80% ; l'électricité verte divise par deux ces émissions. Mais l'aluminium est très recyclable à presque 100% ; ce recyclage alimente déjà 40% de la demande, avec un objectif de 50% en 2030.

Constellium ne produit pas d'aluminium naturel, mais fait du recyclage ; elle a l'objectif d'augmenter sa consommation d'aluminium recyclé à 50% en 2030 et de diminuer de 31% ses émissions propres de CO2. Le recyclage ne nécessite que 5% de l'énergie primaire. C'est pourquoi un projet d'augmentation de recyclage en France à Neuf-Brisach de 75%, soit 130.000t/an en 2022, destiné aux produits automobiles et d'emballages est en route ; la canette est un bon exemple, durée de vie très courte de l'ordre de deux mois, taux européen de 80%, mais 60% pour la France, recyclage facile. Les besoins de qualité sont différents selon les usages, et les risques présents, dont la présence de fer, la température de fusion de l'ordre de 600 à 700°C étant trop basse pour le fer ; il y a donc 4 types d'alliages : moulés, secondaires, haute pureté, corroyés-présence voulue d'autres métaux comme le manganèse-. Le recyclage consiste à séparer les métaux des déchets par des aimants, puis à broyer l'aluminium avant de passer dans une fonderie pour l'affinage. Le presque 100% vient de ce que le recyclage n'altère pas l'atome. Des progrès sont encore à faire : taux de collecte, tri, recherche d'alliages capables d'absorber des déchets.

Michelin : Economie circulaire du pneu

M. Jean-Michel Douarre, responsable du programme de recherche sur les matériaux des pneus. NB ; source Selectra : « En Europe les pneus de voiture ne peuvent pas être mis en décharge. Les pneus en fin de vie doivent rejoindre les fournisseurs et doivent être recyclés après le tri : 93,5% sont collectés et 55% sont recyclés, une bonne partie étant exportée. Il y a deux catégories : les pneus usagés réutilisables, pouvant être rechapés pour 16%, les non utilisables devant être recyclés, pour une valorisation énergétique comme le ciment pour 41%, et comme matière sous forme de granulation pour différents usages pour 21% : gazon synthétique, revêtement routier, remblais, combustible, etc... ; chiffres 2020 ». Mais les pneus actuels contiennent environ 30 % des matériaux issus des fossiles, qui doivent être éliminés en 2030 et pour 40% en 2050 ; ces matériaux sont nombreux à côté du caoutchouc, comme des élastomères, des métaux, du textile et



ces recyclages ne sont pas circulaires. D'où la création d'un programme de recherche des matériaux de remplacement non issus des fossiles, et circulaire, mais gardant tous les caractères de résilience, et aussi la suppression de l'exportation.

Le projet européen BlackCycle, coordonné par Michelin, leader mondial, financé par l'UE, créé en mai 2020 réunit 5 pays, maximum accepté par l'UE : France, Espagne, Allemagne, Grèce, Suisse et des organismes de recherche comme Aliapur, Axelera, Ineris pour la France. IL vise à créer, mettre au point et optimiser une filière complète jusqu'aux matières premières secondaires, les MPS, qui serviront à développer de nouvelles gammes de pneus : 10 innovations ont déjà été trouvées le long de cette chaîne de valeur.

Le projet Whitecycle a été créé en juillet 2022, financé par 16 organisations participantes, a organisé son premier « workshop » fin novembre 2023 à Clermont-Ferrand ; il rassemble 9 participants de la France, 3 de l'Allemagne, 2 de la Norvège et 1 de l'Espagne, du Portugal et de l'Italie. Les plastiques complexes à base de textile sont très difficiles à recycler. On peut arriver à la circularité en utilisant des technologies de tri très innovantes et par le procédé de recyclage enzymatique très performant de la française Carbios, permettant à revenir à la circularité.

Saint-Gobain Glass, recyclage des verres plats

Jean-Christophe Arnal, directeur de l'usine d'ANICHE. *Source supplémentaire, Saint-Gobain Glass Recycling WEB* : Saint-Gobain a depuis longtemps l'expérience du recyclage ; selon lui, le recyclage des bouteilles serait de 93,5% de collecte, 55% de recyclage ; la collecte de la totalité des emballages verre serait de 70%, avec un objectif de 100% en 2030. Il y a de nombreuses variantes de verre, dont les verres plats, « soudocalciques », la soude diminuant la température de fusion, de l'ordre de 1500°C ; ces verres plats sont essentiellement ceux des fenêtres. Pour réussir ce recyclage, il faut que ces vitrages soient totalement intacts et débarrassés de ce qui les soutiens, bois, plastique, métaux, ou de toute autre objet ou couverture, et sans fracture, pour faciliter le triage, d'où un transport adapté. Un tri doit aussi intervenir après l'arrivée, pour sélectionner les vitres de verre à l'identique. La « Responsabilité Élargie du Producteur », la REP 2020, impose aux responsables des chantiers de bâtiments, la collecte et le traitement des déchets au plus tard de janvier 2023. C'est ce qui a permis de démarrer fortement le recyclage du verre plat. « Saint-Gobain est le premier au monde à se lancer dans la production bas carbone de verre plat. Son défi : son industrialisation » ; il a mis au point un « produit révolutionnaire », baptisé ORAE, permettant une réduction d'environ 40% de CO₂, première sur le marché de la construction ; ce verre contient comme matière première 70% de calcin, issu de verre recyclé, contre 38% en moyenne dans les produits verriers ; un essai à 100% de calcin et avec de l'énergie verte, pendant une semaine, a été expérimentée avec succès, montrant la faisabilité technique de production de verre plat « zéro carbone », conforme aux exigences de qualité ; ajoutons une sobriété de matières premières. Les grands constructeurs sont intéressés et montent leurs réseaux de recyclages des déchets de chantiers, mais pas encore les menuiseries.

Le verre est recyclable à 100% ; comme l'aluminium, il est amorphe. Il se compose de sable, la silice, oxyde du silicium, de soude et de calcaire, auxquels on peut ajouter d'autres éléments en quantité très faibles, par exemple des métaux pour la couleur, le fer, vert, bleu ou jaune, le cobalt bleu, le sélénium rouge. Le calcin est le résultat du broyage, obtenu après le tri et la purification.

TotalEnergies : Recyclages de plastiques...vers une économie circulaire

Mme Estelle Chéret et Mme Katell Le Lannic : RetD Process and Polymer, recyclage chimique. Deux méthodes : le recyclage mécanique et le recyclage chimique. Dans les deux cas, les progrès sont de leur trouver un usage responsable, une durée de vie plus grande, une réutilisation possible.

Le recyclage mécanique est mature, peut s'améliorer, et s'adresse à des polymères homogènes. Ils sont broyés, puis lavés, retriés, extrudés, et enfin transformés en granulés pour être réutiliser en récupération et comme besoins énergétiques. Pour le moment, il est beaucoup plus utilisé que le recyclage chimique. Mais il a aussi des limites, voire des frontières : infrastructures de collecte et de tri à développer, complexité de la



contamination de plastiques en surface et en profondeur, usages limités pour le médical, les emballages d'aliments, le cosmétique, les jouets, selon la réglementation.

La voie préférée est donc le recyclage chimique, encore peu développée à l'échelle industrielle, et qui a devant elle un volume considérable de déchets à revaloriser. La pyrolyse- 400°C sans oxygène- des déchets plastiques est la plus répandue, mais est loin d'être circulaire, cassant les molécules de départ. NB : « Si elle permet de valoriser une partie de l'huile de pyrolyse, par exemple des carburants, elle ne conduit que peu à la molécule simple, comme l'éthylène ou le propylène, à polymériser pour retrouver la circularité ». Le bilan carbone est aussi affecté, par les besoins énergétiques de la pyrolyse, mais aussi par la reconstruction du polymère, ou autres étapes intermédiaires thermo-chimiques.

Total Energies veut relever ces défis en développant des solutions innovantes et en multipliant les partenariats, avec succès : en mécanique, le projet Omni va pouvoir lever l'interdiction du polypropylène recyclé pour les emballages à usages alimentaires, grâce à une décontamination par tri optique, l'IA et une démonstration à l'échelle industrielle. NB : « le partenariat groupe Omni : start-up francilienne, ayant déjà un prix au concours Lépine sur un autre sujet, ValorPlast, Recycleye, et TotalEnergies. » Un projet d'études pour l'amélioration du recyclage chimique, appelé Plastique a été lancé en 2022 avec l'aide de Polyméris, NB : « pôle français de compétitivité des caoutchoucs, plastiques, composites ; c'est un projet européen avec 27 intervenants ; 3 voies différentes de valorisation sont examinées : pyrolyse assistée par micro-ondes, suivie par une liquéfaction hydrothermique ; gazéification puis conversion des gaz de synthèse ; hydrolyse enzymatique et fermentation. Objectif 2026. »

Total Energies transforme déjà ses raffineries en bioraffineries ; la plus transformée est le complexe de Grandpuits : 285.000 tonnes de biocarburants pour l'aviation, venues de graisses animales, huiles de cuisson, végétaux, démarrage 2024 ; recyclage chimique de plastiques : 15.000 tonnes de déchets, 10500 tonnes de Tacoil, produit utilisé dans la fabrication de polymères de haute qualité, en joint-venture avec Plastic Energy ; recyclage mécanique pour 30.000 tonnes de compound venant de Patrec ; 80 GWh/an venus de résidus organiques locaux ; ferme solaire PV, 46.000 panneaux pour une puissance de 31GWh. Total Energies a bien d'autres projets, notamment avec Plastic Energy, en Espagne et au Texas.

Veolia : Hydrométallurgie au service des batteries des véhicules électriques

M. Pascal Muller, directeur Hauts de France Sarpi-Veolia. Veolia explore depuis 10 ans pour aboutir à un premier concept pilote confirmant la pertinence de la technologie étudiée : elle commence par une protection contre les décharges électriques ou électroliquides, dangereuses ; s'ensuit le démantèlement des câbles, le « casing », le système de refroidissement, les isolants ; tout ceci représente 30% du poids ; arrivent les « modules » ; NB : « une batterie, c'est un rassemblement de « cellules » ; ces cellules sont des piles cylindriques, plus ou moins grandes, par exemple, 6 cm de haut, 2 cm de diamètre, mais on peut faire plus : les cellules « prismatiques », peu utilisées mais en croissance, sont beaucoup plus grandes, entre 10 et 100 fois, donc plus économes de matériaux, plus de puissance ». Ces cellules sont rassemblées dans les « modules » qui sont à leur tour rassemblés dans le pack, auquel vient s'ajouter le système de gestion et on arrive à la batterie ». La troisième étape est un broyage humide, permettant l'extraction de l'électrolyte par un solvant. La quatrième est une séparation mécanique par gravimétrie et aérodynamique-ventilation-, permettant de récupérer du cuivre, de l'aluminium, du fer, et de l'inox, et le « back mass », 30% de la batterie, poudre noire contenant l'emballage mais surtout les métaux rares, lithium, cobalt, nickel, manganèse et aussi le reste des métaux déjà récupéré. Les teneurs de ces métaux sont très variables selon les batteries. La cinquième étape est une opération chimique de dissolution des métaux par des acides, séparant la fraction insoluble, comme le carbone. La lixiviation clôt ces opérations par la séparation sélective des métaux, aboutissant à des hydroxydes nickel, cobalt, cuivre, et carbonate de lithium.



Tout ceci a conduit à un projet à l'échelle industrielle, mais à titre de « révision », qui sera la première usine hydrométallurgique. Ce projet, décidé en 2022, entrera en opération en 2024 ; il aura une production de 2100 t/an de nickel, 840t/an de cobalt, 2200t/an de lithium à partir de 7000 t/an de black mass, pour 20.000 tonnes de batteries ; 1,5 tonnes de CO2, par tonnes recyclées sont obtenues ; capex de 18 millions d'euros, pour un chiffre d'affaires de 20 millions. Si les résultats sont bons, il faudra passer à un niveau beaucoup plus haut : en 2025, les capacités de recyclage européennes devraient atteindre 50 000 tonnes pour 200.000 unités et 150.000 en 2030. Compte tenu des dépendances de l'Europe par rapport aux métaux rares, elle met au point des exigences de recyclage des batteries en fonction de l'évolution très rapide des batteries : 65% brut en 2025, 90% réincorporation du nickel en 2027...etc. ; efficacité du recyclage : 65% en 2025, 70% en 2030 ; réincorporation : 16% cobalt en 2031...etc. Compte tenu de tous les projets de production des batteries, de l'évolution rapide des fins de vie et des déchets de production, de la variété des batteries et des objectifs justifiés par les besoins européens trop dépendants, Véolia ne va pas s'impliquer dans la construction des batteries, mais dans leur recyclage.

Arkema : matériaux de spécialité pour une économie circulaire ; les éoliennes

M. Armand Adjani, directeur général recherche. Arkema s'intéresse à beaucoup d'activités comme la mobilité, l'énergie, les bâtiments, les sports, l'électronique, dans trois domaines : création et renforcement des matériaux, collages et assemblages, modification et protection. NB : « elle est leader dans certains matériaux au niveau mondial : le PVD Kynar, thermoplastique, polymère du fluorure de vinylidène VF2, utilisé pour l'allongement de vie des produits, a une position de leader sur le marché des batteries en Europe, en Asie et aux USA. Arkema vient de s'approprier, le 1er décembre, 56% de la société coréenne PIAM-PI Advanced Materials, leader mondial des films polyimides, pour les marchés à forte croissance, téléphonie et véhicules électriques ».

Exemple de produits de spécialités pour permettre le recyclage de polymères de grande diffusion comme les polyéthylènes et polypropylènes : adhésif Bostik pour les emballages alimentaires flexibles, adaptés aux films monomatériaux ; il représente 1% de la masse, et est recyclable simultanément aux emballages plastiques à fermeture de colle.

Exemple de matériaux avancés intrinsèquement recyclables : il s'agit d'un polyamide issu d'une huile de ricin. On fabrique une chaussure totalement recyclable exclusivement avec ce matériau biosourcé ; une fois digne de s'en défaire, elle est broyée et réutilisée pour la même utilisation. De plus, cette chaussure n'est pas vendue, mais louée, assurant une collecte cent pour cent et améliorant la fidélité.

Problème des pâles éoliennes : les pales actuelles, venant principalement de Chine sont des résines thermodurcissables imprégnées de fibres ; il n'est pas possible de séparer ces deux matériaux pour une circularité ; on peut les broyer pour les brûler ou pour les travaux publics, ce qui se fait, mais aujourd'hui c'est l'enfouissement sans broyage qui domine. Arkema a trouvé une solution : une résine liquide acrylique : monomères, polymères, amorceurs, additifs ; elle permet de faciliter l'imprégnation des fibres, la polymérisation se faisant in situ ; les propriétés mécaniques, la densité, et la durabilité sont respectées ; elle permet d'intervenir sur des problèmes de soudage, de surmoulage et de thermoformage, impossible pour le thermodurcissable ; elle permet un recyclage mécanique, et chimique après broyage ; le mécanique conduit à une nouvelle pièce sans trier les fibres ; le chimique, par thermolyse, sépare le liquide et les fibres, et le liquide retourne à la résine par distillation. Cette résine Elium est une solution unique sur le marché, après 10 ans de développement. NB : Arkema a collaboré avec succès avec le consortium Effiwind, la fabrication d'une pale éolienne de 25 m ; le consortium Zebra a construit une pale de 62 m en Espagne, avec la résine Elium ». Mais compte-tenu de la durée de vie, il n'est pas possible d'avoir une filière à l'échelle dès le début avec les seuls déchets de la production. Une réglementation devrait contraindre le niveau de circularité. NB : « Par ailleurs, cette résine permet la construction de bateaux composites, ou la fabrication de renforts composites thermoformables et des barres d'armateurs dans la construction, ou encore la fabrication de réservoirs haute pression, par exemple pour l'hydrogène ».



Rosi Solar : Industrie photovoltaïque : les enjeux de la circularité

Yohan Parsa, directeur RetD Rosi. *Ce sujet a été traité par M. Amouroux, nous nous limitons à des compléments intéressants, dont les pertes avant la production des panneaux.*

95% des panneaux marchent au silicium et il en faut 6 tonnes pour obtenir un silicium ultra pur par traitements successifs à haute température-1500°C- pour atteindre une très haute pureté ; ces opérations demandent beaucoup d'énergie et produisent des émissions de CO2 non négligeable, le silicium est alors mis en lingots, sciés ensuite en wafers, tranches très minces de silicium, devenant les cellules. Le sciage produisant les wafers très fins produit 40% de pertes du silicium et produit une pollution de surface, nécessitant un traitement oxydant. Ces pertes doivent être traitées après ces contaminations par désoxydation et retrait des métalliques par un procédé haute température-1400°C- aboutissant au silicium, mais de moindre pureté.

Structure d'un module : Un cadre aluminium avec une jointure d'étanchéité en caoutchouc ; une plaque de verre protégeant les chocs, les saletés, et les intempéries ; une couche d'encapsulant éthylène-acétate de vinyle ; une matrice cellulaire, assemblage des cellules solaires avec de l'argent comme lignes de métallisation, des diodes by-pass régulant le courant continu et la grille conductrice en cuivre ; une nouvelle couche d'encapsulant ; le back-sheet, feuille de polymère pour assurer l'étanchéité, une boîte de jonction, des câbles de sortie, des connecteurs MC4 se clipsant sur l'onduleur, changeant le courant continu en courant alternatif, complexité qui marque les difficultés du recyclage, surtout circulaire

NB : Fabricants français : Dualsun, mais seulement l'entourage, envoyé en Chine ; MKsun, grande qualité, plus efficace ; Voltecsolar, Alsace, durée de vie plus longue ; Systovi, Nantes, modules thermiques et panneaux. Et surtout Sunpower, plus aux USA qu'en France, tenu en majorité par Total Energies.

Pizzorno Environnement ; Valorisation des mâchefers

M. Hervé Antonsanti Directeur valorisation-traitement. Cette entreprise a pour objet de valoriser les ordures ménagères et les déchets ménagers. Les mâchefers sont les résidus de déchets après combustion d'incinération. Pizzorno est essentiellement présente en région Paca, une des entreprises les plus importantes dans ce domaine en France ; elle utilise des matériels permettant une sélection profonde, notamment des métaux. Trois étapes : séparation des parties non minérales non brûlés ; puis la captation de la fraction métallique par des électroaimants séparant les ferreux des non-ferreux, aluminium, zinc, cuivre, utilisant la technologie des « courants de Foucault », et un criblage de trois dimensions ; on aboutit à un matériau appelé Alter-Grave, matériau comparable aux matières premières naturelles. Le tri des imbrulés agit pour quelques %, les non ferreux entre 1 et 3%, les ferreux de 4 à 7% avec une pureté de 95%, l'Alter Grave autour de 85%. Les normes européennes et françaises permettent de classer ce matériau alternatif comme nouvelle ressource d'utilisation pour les constructions à usage routier peu rentable ; en faire des pavés ou des monoblocs en béton le fait plus. Les métaux sont vendus.

Point de vue de l'État

Mme Maréchal-Dereu : L'Etat s'appuie sur 7 piliers de l'économie circulaire. NB : « approvisionnement, écoconception, écologie industrielle et territoriale, économie de la fonctionnalité, consommation responsable, allongement de la durée d'âge, recyclage fin de de produit », et sur 3 domaines d'actions : gestion des déchets, consommation, production/offre. Deux objectifs majeurs, l'impact environnement, la souveraineté. Deux nécessités : entente amont-aval, et augmentation des volumes et de la qualité du recyclage. L'Europe impose des réglementations sur les quantités et les qualités et leur calendrier ; exemple : 15% de recyclables en 2030. La France les complète dans une vue de facilitation dont le financement, sur quatre sujets : éolien, batteries, pompes à chaleur, photovoltaïque. Ces financements sont étudiés par France Relance, plutôt sur le développement, et par France 2030 plutôt sur les solutions innovantes, respectant les limites imposées par l'Europe ; l'Ademe et les collectivités locales interviennent aussi. Exemple : soutien pour obtenir 2 millions de tonnes de plastiques en 2025 quel qu'ils soient. Hors plastiques, petit exemple surprenant : recyclage des mégots de cigarettes pour en faire des produits isolants. Hors recyclages, « si on peut extraire des matériaux en France, il faut le faire, sinon on peut le faire dans d'autres pays ».



II-2-L'énergie au cœur de la réindustrialisation des territoires

II-1- Débat d'ensemble

M. Olivier Peyret, DG France et directeur Europe de **SLB**- anciennement **Schlumberger**, a animé cette plénière d'une main de maître et, pour commencer, a pointé la liaison des trois mots clefs : énergie, réindustrialisation et territoires, définissant l'objectif de cette plénière. Il a rappelé que l'industrie ne représentait plus que de l'ordre de 12% du PIB, deux fois moins qu'il y a quarante ans. (1) . S'ajoutant à la transition climatique, les différentes crises ont montré la fragilité de la dépendance, opportunité extraordinaire pour regagner une certaine souveraineté industrielle ; le changement du logiciel énergétique donne une chance à l'outil industriel de développer de nouvelles technologies et de sa diversité. Celle-ci est illustrée par le panel exceptionnel des intervenants de cette plénière : grands groupes, start-up, personnalités, territoires. **M. Peyret**, comme première approche, demande à chacun, non seulement de se présenter, mais « pourquoi » ils sont là. La description des projets en cours suivra, puis l'attraction des entreprises, puis les freins à réduire- « où ça coince » -, et enfin les réponses aux questions de l'auditoire

Présentation des intervenants et raisons des présences

M. Yann Pitollet, pdt de Nord France Invest, agence des Hauts de France responsable de l'attraction des investissements français ou étrangers ; les Hauts de France sont une région très industrielle, avec d'importantes émissions carbonées ; d'où une bonne liaison entre réindustrialisation et décarbonation, cette dernière étant lancée depuis quelques années par le projet REV.3, troisième révolution pour la Transition énergétique.

M. Yves Chiffolleau, ingénieur français, est directeur de France et Europe du sud de DEMA Offshore, leader mondial, hors Chine, de l'éolien en mer. DEMA est un très ancien et grand groupe belge, avec une participation française, spécialisé notamment dans les infrastructures sous-marines, donc très engagé dans les projets éoliens offshore français, y compris flottants.

Mme Chantal Jouanno : « senior environmental advisor » d'Accenture, société conseil sur les transformations technologiques ; grande professionnelle de la transition énergétique et écologique, au service de l'Etat, dont ancienne présidente de la CNDP-Commission Nationale du Débat Public ; cette commission devait connaître tous les projets dépassant les 300 millions d'euros, d'où une expertise exceptionnelle pour elle. Elle estime que la « politique a plutôt bien fait son travail », mais que le passage à l'action est plus difficile et que la feuille de route est indispensable.

M. Frédéric Godemel, « executive vice-president Power Systems&Services », Schneider Electric. Depuis 15 ans, Schneider Electric s'est adaptée à l'évolution technologique de l'électricité sur trois thèmes : décentralisation, donc territoires, développement de la demande électrique, stabilité des réseaux surtout moyens et bas voltage ; la technologie se développe par itérations au rythme des innovations.

Mme Florence Lambert : Présidente de Genvia- Schlumberger, Vinci et Vicat-, ex Start-Up, avec l'objectif d'industrialisation, en cours avancé, de la technologie d'électrolyse haute température à oxyde solide, technologie imaginée et développée par Mme Lambert et son équipe du CEA-LITEN, dont elle fut directrice- 40 brevets, deuxième leader mondial de ces technologies, exemple majeur d'une réindustrialisation.

Projets en cours :

M. Yann Pitollet : Les Hauts de France sont la 2ème région en Europe la plus attractive pour des investissements internationaux. Parmi les très nombreux projets, on peut parler de la vallée de la batterie, 4 « gigafactories » et bientôt une 5ème ; mais il faut aller au-delà des projets eux-mêmes, et travailler pour créer l'ensemble de l'écosystème : fabrication des anodes et des cathodes, séparateur-*installé entre la batterie de démarrage et celles de service*- recyclage, réinjection et stade ultime les voitures, qui ont attiré ces projets. Ces Hauts de France vont créer 20.000 emplois, ce qui entraîne un développement territorial et nécessite un travail très collectif.



M. Yves Chiffolleau : exemple ; pour le projet d'éoliennes de Noirmoutier, il fallait trouver un port suffisamment grand pour accueillir notamment 80 monopieux de 70 m de long de mille tonnes chacun ; La Rochelle a remplacé St Nazaire déjà très occupé et en profite pour envisager un développement encore plus fort pour recevoir les besoins nécessaires aux autres projets, comme Oléron. 200 PME sont intégrées, et il faut en trouver encore d'autres. Cette opportunité fait aussi le bonheur des dockers, soucieux auparavant de la fragilité de leurs métiers.

Mme Florence Lambert : Si sa Start-up a gagné de l'ordre de 3 à 4 ans pour une industrialisation, c'est qu'elle s'est appuyée sur une recherche scientifique très élaborée du CEA, depuis quinze ans, sur une digitalisation 4.0, sur le partenariat de la grande société d'ingénierie de base SLB, et dans son usine Cameron de Béziers et son personnel adapté, 40 techniciens, sur la participation de l'Occitanie, sur Vinci Construction et Vicat, ce dernier intéressé par la décarbonation du CO₂ émis par la production du clinker, première étape de la fabrication du ciment ; Genvia profite des émissions de la chaleur issue de cette production pour l'utiliser pour la technologie d'électrolyse à haute température, ce qui conduit à un écosystème très efficace. La gigafactorie devrait être lancée en 2026, après les bons résultats des pilotes.

Comment ça a marché : quels ingrédients pour attirer les entreprises ?

M. Frédéric Godemel : Schneider est centré sur Grenoble et son écosystème ; le premier ingrédient est la création des compétences, donc les écoles : énergies, semi-conducteurs, *software-le numérique* ; le deuxième, c'est la recherche de proximité, pour lui, le CEA ; le troisième, les « aides », par exemple création d'un grand bâtiment, à émissions CO₂ neutre, réunissant 2000 techniciens du numérique, dont 70% travaillent pour les systèmes électriques.

Mme Chantal Jouanno : l'ingrédient général est la création d'écosystème, les « clusters » pour le gouvernement, par exemple les ports, comme Dunkerque ou le Havre ; c'est un alignement politique au sens large, territoires et entreprises qui permet les évolutions rapides et importantes de ces deux ports. Le second, c'est l'acceptabilité ; mais surtout n'appellez pas ce mot au professionnel concerné, qui craint une décision cachée, et remplacez-le par le mot « concertation » qui permet une « coconstruction ». Cette « acceptabilité » sera plus facilement acquise, si les projets sont très anticipés, en ayant eu le temps d'étudier les adaptations aux territoires visés, par exemple les besoins en eau, ou tout autre sujet technique, économique, ou sociétal.

M. Yann Pitollet : notre rôle concret est de détecter les entreprises, dont nous avons besoin, n'étant pas sur les lieux et les attirer. Pour nous, les « ingrédients » sont d'abord les besoins, dont l'énergie à prévoir, et les réseaux associés, l'eau, la production etc. ; ensuite la formation, puis le financement en Capex, lié à l'Etat, qui nous offre 1 milliard d'euros, sans quoi ces projets partiraient ailleurs, et les « formalités » : la Belgique ne donne que 4 mois pour valider l'implantation d'une entreprise, sauf de quoi le projet est accepté ; les Hauts de France ont alors créé un « contrat d'implantation » signé par le préfet, le président de région, le pdt de l'intercommunalité et l'entreprise, et une durée maximale de 8 mois, définitive ; cette initiative a eu une implication très forte dans l'administration locale, ce qui pourrait être étendu à toute la France.

M. Yves Chiffolleau : il n'y avait pas d'offshore en France, donc pas de métiers dans ce domaine, mais des talents ; il « suffisait » de les trouver un peu partout ; on y est arrivé en un an, au point que ces entreprises, désormais expertes, vendent leurs fabrications pour les besoins français, mais commencent aussi à les exporter.

Mme Florence Lambert : il se trouve que des technologies de ruptures existent dans nos laboratoires et qu'il faut les sortir pour gagner en compétitivité dans les entreprises françaises, c'est ce qui arrive pour le projet Genvia ; nous avons devant nous un marathon, celui d'une connexion permanente à l'innovation, pour avoir toujours un coup d'avance national. Le préfet de l'Hérault, la présidente de l'Occitanie, le DG de l'usine Cameron-SLB, et Mme Lambert ont lancé un Ecosystème EDEN- Ecosystème Durable et Energies Naturelles- le 30 septembre 2022, avec 5 piliers : Innovation, Infrastructures, Foncier, Compétence, Attractivité ; l'ambition est de permettre au bassin d'activité biterrois de devenir un pôle central réunissant entreprises, centres de formation, porteurs de projet, start-up, structures d'innovation laboratoires et organismes de recherche ; la création de formation pour une licence professionnelle Robotique et Intelligence Artificielle est déjà ouverte à Béziers. C'est sortir du rôle historique et ça marche.



Où ça coince ?

M. Frédéric Godemel : la vitesse de décision n'est pas encore complètement concurrentielle, c'est bien connu ; mais il insiste sur la réglementation lente en France et en Europe, sur des « prosumer » - *professionnel consumer*, qui peut produire et consommer à la fois ; il estime que tout bâtiment peut produire un minimum de 20% de ses besoins d'énergie et jusqu'à 70%. Certains pays sont très avancés.

Mme Florence Lambert : le premier point, c'est l'obligation de dévoiler le secret de fabrication, et le deuxième, c'est le risque venant des équipementiers de ne pas respecter le calendrier des fournitures. Par ailleurs, si la DGE s'est rapproché du pragmatisme, il n'en est pas de même au niveau européen.

Mme Chantal Jouanno : trois points : démarrer très vite ce marathon, pour être au premier rang et gagner des points sur la concurrence acharnée ; la politique française sur l'énergie est très centralisée, notamment sur le nucléaire et l'offshore, mais il faut développer un deuxième pilier très décentralisé ; l'indécision est la source des retards ; le « contrat d'implantation », trouvé par les Hauts de France est un modèle à suivre.

M. Yves Chifolleau : l'industrie : la technologie évolue très vite, les éoliennes offshore de St Nazaire ont une puissance de 6 MW, mais elle pourrait être de 24 MW en 2030, impossible à faire par les moyens actuels, chaînes à revoir complètement ; continuité dans les décisions, qui ne l'ont pas été pour les off-shore ; l'instabilité des coûts est une gêne très forte, il faut chercher à stabiliser la demande.

Questions

Les matières premières sont un élément essentiel pour l'industrie, sujet non traité ? Il l'est dans l'atelier 4. L'accélération importante de l'offshore dans le monde fait que le problème n'est pas seulement la dépendance aux métaux rares, mais aussi des grands métaux comme l'acier. La course au gigantisme demande du temps. Le monde dépendra encore longtemps de la Chine.

Yves Chifolleau. N'allons-nous pas trop vite ? Ne soyons pas trop optimistes ? Tout d'abord, la consultation publique ne peut pas attendre, elle est une obligation légale et déterminante ; de plus elle se fait désormais sur des plans ; par exemple sur l'off-shore, l'analyse des installations des champs d'éoliennes offshore à l'échelle de la façade atlantique. Autre sujet : en 2050, la plupart des réacteurs nucléaires seront en fin de vie, à vie prolongée ; pour y faire face pour pouvoir atteindre la demande d'électricité, très accentuée en 2050, il faudrait construire 2 EPR tous les deux ans, en comptant aussi sur les énergies renouvelables. La souveraineté de la demande électrique est en jeu.

Chantal Jouanno. Ce qui est immédiat et réalisable tout de suite, c'est la sobriété et l'efficacité ; elles représentent 25% des enjeux ; c'est le premier facteur de la transition énergétique ; et l'électricité est l'énergie la plus flexible pour le faire.

Frédéric Godemel . Les grands groupes se positionnent aujourd'hui et ils ont raison ; si ne nous étions pas décidés rapidement sur l'hydrogène, nous aurions eu un grand tort, il fallait en prendre le risque tout de suite et nous avons eu raison.

Olivier Peyret. La France veut laver plus blanc que blanc, et impose trop de normes qui chassent les entreprises ? Oui et non : la situation change. Exemple : La SLB voulait transformer son usine de Béziers pour créer Genvia, mais l'hydrogène exige une habilitation, qui devait durer entre 12 et 18 mois selon les normes. Nous l'avons eu en 18 jours, grâce à l'aide de la présidente de l'Occitanie. Oui, il y a des normes et des sous-normes, mais ça bouge.

Olivier Peyret . Cet exemple n'est pas le seul, notamment aux Hauts de France ; nous allons vers la systématisation d'un pouvoir dérogatoire des préfets pour les projets régionaux ; ce serait une clef de la réussite.

Yann Pitollet . Sous-évaluation des investissements nécessaires à un projet ; quelle évolution ? Il faut bien comprendre que fabriquer localement évite nombre de dépenses, par rapport aux importations, ne serait-ce que par le transport, mais construire une usine moderne, numérisée, avec de nouvelles technologies entraîne de vrais impacts économiques ; nous avons créé une usine produisant des pièces que nous importions, et que nous exportons maintenant. Bien entendu, il faut tenir compte des comparaisons des appels d'offre et être prudent si l'écart dépasse environ 15 à 20%. Les régions sont de plus en plus intéressées aux décisions à prendre sur ces projets.



Olivier Peyret. Il ne faut pas oublier que la dépendance envers la Chine doit changer, au vu des conséquences économiques des années du Covid, et suivie de la guerre Russie-Ukraine. C'est une obligation, d'autant plus que certains pays européens font de gros efforts, comme l'Espagne, la Pologne, voire la Turquie ; ça bouge et il ne faut pas se laisser dépasser.

Yves Chiffolleau. Le critère économique est évidemment important, mais il est aussi lié au critère de la durée comme l'a montré le Covid ; c'est pourquoi la demande de l'engagement sur la durée devient important face à l'évaluation des projets.

Frédéric Godemel **Attractivité des métiers, y compris pour les femmes :** oui les femmes sont moins nombreuses que les hommes dans l'industrie, non dans certains pays comme l'Inde. C'est un problème scolaire de formation, demandant beaucoup de temps pour égaliser. Pour nos besoins dans les nouvelles industries, c'est la formation professionnelle dans les territoires, par les industries qui en ont besoin, savent ce qui leur faut pour les métiers nouveaux, et bien placées pour attirer les habitants de leurs territoires

Chantal Jouanno. Inviter les jeunes, leurs parents, leurs professeurs qui découvrent la nouvelle industrie et pourront participer à l'attractivité de ces nouveaux métiers, ajoute **Olivier Peyret.**

(1) Ndlr : cette désindustrialisation ne serait pas aussi forte que celle déclarée ; le fait d'arrêter les usines pour importer les produits à des coûts plus faibles conduit à un gain économique, à un développement important des services, le « tertiaire », et à une économie offshore non négligeable : 6 millions de personnes à l'étranger, dont 50% dans les services. Ce qui fait dire à de nombreux experts que les 12% ne sont pas comparables au 24% ancien, qui incluait les services. Cf : nombreuses études consultées sur les médias, dont la plus récente, celle de M. Pierre Veltz, professeur émérite des ponts Paris Tech du 20 janvier 2023.

II-2-La réindustrialisation de la France : quels acteurs, quels facteurs ?

Modérateur : **M. Emmanuel Garaud** « organisator&business développer » Engie et membre du Comité Economie d'Evolon, dirigé par M. **Denis Babusiaux** : Il présente les intervenants : **Nicolas Meilhan, Paul de Manchenu, Caroline Mini, Vincent Gouley.**

M. Nicolas Meilhan est un ancien conseiller scientifique de France Stratégie, membre d'ASPRO- Association for the Study of Peak Oil and Gas- et des « Econoclastes », bloc francophone critique concernant l'économie. M. Garaud conseille à l'auditoire d'aller assister à ses conférences « passionnantes ».

M. **Nicolas Meilhan** : la transition énergétique peut devenir un véritable levier pour la réindustrialisation de la France. Dans le domaine Transport, depuis 40 ans l'usage de la voiture individuelle n'a pas diminué et reste au niveau de 80% des déplacements. Le transport utilise 17% des énergies primaires dont 95% par le pétrole, dans le monde. La voiture électrique-totale ou hybride- est une solution, en cas de manque de pétrole. (1). Le cas de la Norvège est intéressant : la voiture électrique est au niveau de 20% des usages ; on constate une diminution de consommation globale de 20% entre 2010 et 2022. (2). Cette situation appliquée à la France ne serait atteinte qu'en 2030. Il serait avantageux que plus de voitures électriques soient construites en France, et aussi les batteries, ce qui n'est pas encore le cas aujourd'hui. « Si on remplace une voiture importée avec du pétrole importé, par une voiture importée avec une batterie importée, il n'y a pas d'impact » La construction en France, avec de l'électricité verte comme en Norvège, aurait un impact fort, tant que la Chine et la Pologne auront des électricités très carbonées. La France s'est lancée dans la construction des batteries en gigafactories, mais une dépendance à la Chine pour les métaux dont le cobalt à 80% se prolongera après 2030 ; l'Europe met en place un plan industriel en créant la production des batteries, l'« Airbus des Batteries », qui risque de se transférer en Boeing de batteries, conséquence des avantages des USA sur le coût des énergies, essentiellement le gaz, 4 fois plus cher en Europe, et par la création de l'« Inflation Reduction Act », 400 milliards de dollars pour cette industrie. L'Europe a réagi en créant la NZIA-Net Zero Industrial Act-couvrant environ 15% des investissements pour les batteries, la France et l'Allemagne apportant une aide de 7500€ à l'achat.



M. Paul de Monchenu : « Long term Strategy and International relations » EDF. Il conduit des analyses prospectives sur les technologies de la transition et plus globalement sur les thèmes de climat et de la décarbonation. Il travaille notamment avec le World Energy Council, en Angleterre et avec l'Observatoire Méditerranéen de l'Énergie, l'OME à Paris ; M. Garaud conseille d'aller sur le site de l'OME, dont il était le représentant d'Engie, très intéressant surtout pour les grandes sociétés, permettant de dialoguer avec les pays concernés de mieux interconnecter leurs réseaux et prévoir les défis futurs.

M. de Monchenu rappelle la crise énergétique sans précédent des dernières années, amorcée par la hausse du prix du gaz, devenue extrême, multiplication par dix par la guerre Russie-Ukraine, les difficultés de production électrique pour la France. Le gaz étant le créateur du prix de l'électricité en Europe, le prix de l'électricité a suivi, sauf en Espagne qui a pris un plafond pour le prix du gaz. La France a pris des mesures d'urgences notamment de protection sur les prix du gaz et de l'électricité des consommateurs. Elle a aussi pris des mesures structurelles : efficacité, sobriété, électrification, rénovation des bâtiments, pompes à chaleur, véhicules électriques, d'un côté, et de l'autre, des mesures axées sur la production électrique nucléaire : déploiement des ENR, durée de vie allongée pour les réacteurs actuels, programme des « nouveaux nucléaires », mesures qui seront confirmées dans la future SNBC : Stratégie Nationale Bas Carbone. Ces mesures structurelles n'ont pas été introduites uniquement en France, mais aussi en bien d'autres pays européens, dont la Suède, les Pays-Bas, la Finlande ou l'Italie sur le nucléaire.

Evolution de la transition énergétique en France. **M. de Monchenu** propose les données suivantes : division par deux de la consommation finale de l'énergie finale, et l'électricité passant de 475 TWh à 500 TWh (3). Ce qui n'empêche pas de se demander si on est capable de réaliser les objectifs ; le nucléaire aura déjà des difficultés à augmenter légèrement la puissance installée aujourd'hui en 2050 ; les énergies renouvelables seront-elles capables d'assurer le complément. ?

Les métaux restent en situation très aléatoire, non seulement par la dépendance, mais par les besoins supérieurs aux ressources ; d'où la nécessité d'ouvrir de nouvelles mines et d'investir dans les usines de production. Le nucléaire en a beaucoup moins besoin.

Mme Caroline Mini : responsable du développement durable de **VerKor**, entreprise très jeune-2020- fabricant des cellules de batteries à faible teneur en carbone, et à recyclabilité facilitée. VerKor a su réunir de nombreuses entreprises concernées par les batteries, dont Renault, Schneider, Arkema et obtenir les ressources financières pour construire la gigafactory de Dunkerque. Elle est ingénieure des Ponts et Chaussées, a passé quelques années au sein de la Fabrique de l'Industrie, spécialiste de la décarbonation et de la compétitivité. **M. Garaud** nous conseille de consulter la Fabrique de l'Industrie.

Mme Caroline Mini : la pression que l'Europe a exercée sur la décarbonation des transports, fin des ventes de voitures thermiques en 2035, a créé une pression sur leur électrification, et donc un besoin de batteries. Or la Chine construit les 2/3 de batteries dans le monde, et sa surcapacité envahit l'Europe. D'où le projet de cette « gigafactory » nouvelle génération à haut rendement ; démarrage prévu en 2025 ; elle pourra créer une puissance globale de 16 GWh, pouvant équiper 200.000 à 300.000 véhicules, et un objectif de 50 GWh en 2050. Digitalisation, réduction des déchets, analyse des données en temps réel, conduisent à la compétitivité, en y ajoutant un écosystème complet avec les partenariats industriels, dont des constructeurs d'automobiles, dont Renault, ce qui est rare, et les soutiens économiques. Ces batteries n'émettent que 30 kg de CO2 par KWh, à comparer 100 kg pour celles de maintenant. Le siège est à Grenoble, avec 350 personnes, et 37 nationalités. Les autres piliers sont la traçabilité sur la chaîne d'approvisionnement, et la formation, avec déjà en cours d'une école, l'École de la batterie, avec 7 partenaires complémentaires, et pôle emploi, appliquant une méthode de simulation. Verkor a à Grenoble un laboratoire de R et D et une ligne pilote de 150 KWh en production. Le recyclage sera entrepris à Dunkerque, pour le relocaliser en Europe. La « gigafactory » a besoin de chaleur, elle sera fournie par la récupération des chaleurs non utilisées par les industries locales ; elle a aussi besoin d'électricité, elle sera verte. Passer d'une startup à une grande industrie, c'est aussi grâce au foncier, 150 ha, obtenu rapidement, dans un milieu industriel producteur d'énergie propre, aussi une formation locale en commun avec les Hauts de France, déjà des contrats de long terme, et un accord avec le bureau Veritas pour un contrôle durable.



M. Vincent Gouley : Directeur de la communication et du développement durable des projets lithium-Imerys. M.Gouley est diplômé de la Toulouse School of Economics, et master en finance de l'EM Lyon ; après avoir travaillé dans ce domaine, notamment pour Wanadoo, il a fondé une startup dans le marketing financier, puis rejoint Imerys en 2014.

Imerys est le leader mondial des spécialités minérales pour l'industrie : 4,3 milliards d'euros, 14.000 salariés, 30.000 clients, 33 sites industriels, ventes dans 142 pays ; ces spécialités de solution à valeur ajoutée concernent de nombreux besoins, comme la filtration, les réfractaires, la peinture, les plastiques, et plus généralement la construction et les infrastructures, et bien sûr l'énergie mobile. Elle est fortement implantée en France, 2000 salariés, 2 centres de R et D, 7 à l'étranger, 33 sites industriels, des carrières. Imerys est bien positionnée sur les solutions pour la transition énergétique ; c'est 25 % du chiffre d'affaires, dont électronique, polymères et plastiques, par exemple remplaçant l'acier dans les transports et bien sûr les batteries, très amatrices de métaux « rares », dont le lithium.

Le lithium est critique pour le secteur automobile européen ; l'Europe prévoit 50 « gigafactories », pour des investissements de 100 milliards d'euros ; elle est complètement dépendante en lithium ; 95% sont originaires du Chili, de l'Australie, de l'Argentine, et de la Chine ; cette dernière en produit peu, 7%, mais en raffine beaucoup par importation. Les besoins de l'Europe en 2030 sont évalués à 600.000 tonnes/an, mais les projets miniers actuels en Europe ne seraient que de 250.000 tonnes, avec difficulté pour des problèmes d'acceptabilité. En Europe Imerys a deux projets : un projet en Angleterre, Cornouailles, pour une capacité de 20.000 t/an sur 30 ans, une concentration de 0,54% LiO₂ en carrière ouvert, partenariat de 20% de la start-up British Lithium, créatrice du procédé et pour un investissement inférieur au milliard ; l'autre, français dans l'Allier, Emili, pour une capacité de 34.000t/an sur 25 ans, une concentration de 0,90%, mine souterraine, et investissement supérieur au milliard.

Cette mine Française vient de l'exploitation initiale du kaolin par Imerys, possesseur foncier, très riche en lithium, le kaolin ayant une très grande épaisseur ; l'exploitation souterraine évite la destruction de la nature. L'extraction, c'est celle du granite, qu'on élimine ; on continue par la concentration, réunissant le concassage du minerai, le broyage, la flottation, et les autres minéraux ; elle isole le mica contenant le lithium acheminé par canalisation à la plateforme de filtration et de stockage ; le mica lithinifère est ensuite envoyé par train pour atteindre l'usine de conversion, le raffinage, réunissant la calcination, la lixiviation, et la purification conduisant à l'hydroxyde de lithium, nécessaire aux batteries. Cette dernière étape, le raffinage a dû trouver un autre endroit, 35 ha n'ayant pas pu se loger localement. On apporte à la collectivité la création de 500 à 600 emplois en 2028-2029, nécessitant une étude sociale économique progressive, un pilote devant anticiper le projet final. L'acceptation sociale implique la mise en œuvre de leviers de réduction de l'impact environnement : exploitation minière, extraction et broyage souterrain, flotte minière électrique réduisant les émissions de CO₂ et les besoins d'énergie, conditions de travail amélioré, eau de procédé en boucle fermée, canalisations souterraines minimisant les transports, covalorisation des coproduits. Par rapport aux autres projets dans le monde, les émissions de CO₂ sont divisées par 2, la consommation d'eau par 10, le foncier par 1000, une empreinte environnementale exceptionnelle. A noter que les besoins en eau correspondent à 0,1% de la Sioule, rivière la plus près du gisement. Si l'exploitation minière est très chère en comparaison des carrières ouvertes, le coût de production reste dans la moyenne, la proximité et la « souveraineté » suffiront pour être compétitif.

- (1) NB : **M.Meilhan** attribue le risque de manque de pétrole à la baisse de production du pétrole entre 2018 , 85Mb/d , et 2022, 80 Mb/d ; mais il y a eu une baisse importante en 2020, le COVID 19, puis la réduction des productions de l'OPEP et de la Russie, les quotas encore aujourd'hui, sans compter l'Iran, le Yémen, le Venezuela ; le pétrole ne vient pas seulement des forages pétrole, il en vient aussi d'autres ressources, en particulier des forages à majorité gaz, ayant des ressources « liquides », les condensats, d'où des chiffres plus importants et habituels, dont ceux de l'AIE ; la consommation mondiale a repris sa progression, de 97,6Mb/d en 2021, puis 99,9 en 2022, et prévue à 101,9 en 2023. Les USA ont produit plus, 16 Mb/d, grâce à ces condensats, dépassant d'au moins 4Mb/d les productions habituelles. Le risque de manque de pétrole n'est pas attendu rapidement, mais existe réellement dans le futur à cause des investissements pétroliers, déjà très



réduits, mais en reprise, jugée trop élevés par beaucoup ; l'AIE, dans son dernier rapport 2023, prévoit la fin de la progression en 2028, avec 105,5 Mb/d.

- (2) Comme en France, le diesel est dominant : 55% contre 40% ; le schéma montre que l'électrification s'est développée sur les voitures à essence et pas au diesel ; ce qui montre l'erreur de l'Europe d'avoir condamné le diesel : le diesel est plus économique et plus propre.
- (3) Ces données sont largement dépassées. RTE propose dans sa dernière étude sur son scénario de référence une consommation finale actuelle légèrement plus importante de l'électricité, mais de plus en plus fort, une réduction de 40% de la consommation finale future au lieu de 50%, et de 650 TWh au lieu de 500TWh. Il ajoute que ce chiffre devrait passer à 750TWh, compte-tenu d'une industrialisation et d'usages plus tournés vers l'électricité. Ces 750 TWh sont eux-mêmes contestés, considérés trop faibles par des associations scientifiques de haut rang, dont les IESF.

II-3-les solutions « énergie » recherchées par les industriels : propres, compétitives, acceptables.

Cet atelier réunissait trois grands industriels qu'on peut appeler « généralistes », **Veolia**-eau, déchets, énergie-, **Vinci Actemium**-toutes les technologies à employer : robotique avancée, maintenance prédictive, cybersécurité, IA, décarbonation ; ajoutons l'autre filiale Axians : numérique Cloud, et mobilité- **Fives**, grand constructeur et fournisseur de machines, d'équipements de procédés et de lignes de production aux grands industriels en France et surtout à l'exportation. Un industriel spécialiste, **LAT Nitrogen**, spécialiste des engrais. Pour éviter des redites, nous nous limitons aux exemples de technologies d'innovation, réindustrialisation oblige.

Lat Nitrogen Austria GmbH est l'un des principaux fournisseurs européens de produits à base d'azote, surtout les engrais. Elle possède deux sites de production en France, à La Rochelle, usine de conditionnement d'engrais et de produits de spécialité, et au Grand-Quevilly, annexe de Rouen, produisant des engrais.

Les engrais décarbonés le sont très majoritairement par la décarbonation de l'ammoniac, traditionnellement produit par la réaction chimique entre l'azote de l'air et le gaz naturel, le méthane, rejetant du CO₂ ; le gaz représente 90% des coûts de production. Pour éliminer le CO₂, on peut le capter et le stocker, c'est l'ammoniac bleu ; la deuxième solution, c'est l'électrolyse produisant de l'hydrogène, associé chimiquement avec l'azote de l'air, sans émissions de CO₂, c'est l'ammoniac vert. Le 22 novembre 2023, deux contrats de transition écologique ont été signés entre le ministère avec Verso Energy, filiale de la Française HaRoPa Port – regroupement des ports du Havre, Rouen et Paris- pour un projet d'électrolyse pour une production de 50.000t/an, 350Mw, et avec Lat Nitrogen pour la production de l'ammoniac vert, avec un objectif de réduction des émissions de CO₂ de 65% avant 2030. NB : le grand producteur YARA, Norvégien, a trois usines en France ; celle de Montoire de Bretagne arrête ses productions pour des raisons économiques et se transforme en site d'importation probablement d'ammoniac vert ex Norvège, celle d'Ambès pourrait suivre. Par contre, celle du Havre pourrait fabriquer de l'ammoniac vert, l'hydrogène venant potentiellement des deux électrolyseurs de l'Air Liquide de Gonfreville et de Port-Jérôme, objectif 2028 (?). La vallée de la Seine est la vallée de l'hydrogène : 45% de la demande française.

Vinci Actemium est l'une de nombreuses filiales ou partenaires de Vinci : elle s'est spécialisée dans la robotique avancée, la maintenance prédictive, la cybersécurité, l'IA, et la décarbonation. Sa vocation est d'améliorer la performance industrielle de ses clients en les accompagnant dans leur transformation digitale et leur transition.

La décarbonation du ciment est une nécessité, avec pour exemple la participation dans le projet Genvia en couplant une électrolyse à haute température et les besoins de chaleur pour la production du ciment.

NB : sources Vinci WEB : la filiale Axians est spécialisée dans le numérique, le Cloud et le Big data et toutes les technologies de l'information et de la communication, 70% à l'internationale. Exemple de désindustrialisation et de réindustrialisation : la raffinerie Pétroplus de Petit-Couronne, ex Shell a été arrêtée avant 2015 et sa décontamination, sur 260 ha a commencé en 2015 : décontamination, déconstruction, démolition,



désaimantation des sols, 75.000 t de métaux valorisés, 400.000t de ciment recyclé, puis terrassement, renforcement des sols, par importation de 12 millions de tonnes de terre importées de la région parisienne, 10 ha d'espaces paysagers et 6 ans de travaux. Cet espace a commencé à être occupé en 2022, mais voit des réticences pour y installer des usines, et même pour un grand projet de plateforme logistique, notamment à cause de l'incendie des entrepôts de l'usine Lubrizol, septembre 2019. Sévéreriser l'artificialisation des terres sera peut-être un défi à surmonter, car c'est le développement des agglomérations qui a mis les usines anciennes en pleine ville.

Veolia : Veolia a 3 métiers : l'eau, les déchets, l'énergie, et une ambition : devenir une entreprise de référence de la transformation écologique. 5700 installations en France.

Domaine de l'eau : les eaux usées sont une source importante d'énergie verte, soit en installant des microturbines dans les tuyaux, selon le relief local, soit en récupérant les calories grâce à des pompes à chaleur, soit en captant le méthane issu de la « digestion » des boues.

Domaine des déchets : amélioration continue du tri des déchets, dont très récemment le lancement d'un tri télé-opéré pour accroître les taux de valorisation, les portant à plus de 95%... ! Les UVE-Unités de Valorisation Energétiques- de déchets de proximité donnent la priorité à leur réduction, au réemploi, et au recyclage. Les matières secondaires organiques issues des eaux usées sont transformées en fertilisant ; une nouvelle technique permet l'extraction des composés à forte valeur ajoutée, la « sturite » -cristal de phosphates, d'ammonium et de magnésium-, engrais de très haute qualité. Par ailleurs, de nombreuses stations d'épuration peuvent produire des bioplastiques à partir des boues. Hormis ces ressources, Véolia pense que beaucoup de déchets de bois sont à récupérer, ainsi que la chaleur, et, comme la Fedene-Fédération des Services Energie et Environnement- regrette l'absence de mention de la récupération de chaleur perdue, dans l'avant-projet relatif à la souveraineté nationale

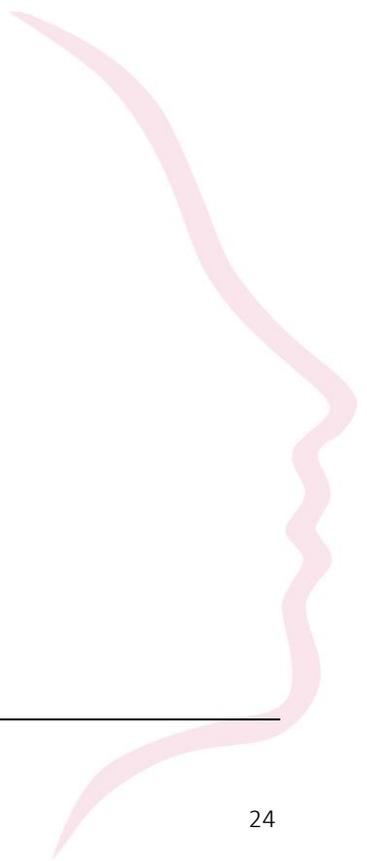
Domaine de l'énergie : la valorisation énergétique des déchets représente la 3eme source de production électrique renouvelable, derrière l'hydraulique et l'éolien.

Veolia vient de lancer le déploiement mondial d'une solution numérique basée sur l'IA, pour révolutionner la gestion de l'eau des déchets et de l'énergie, sur les 10.000 sites dans le monde : préserver les ressources, optimiser la production d'énergie, agir sur la flexibilité de l'énergie, réduire les consommations, mieux valoriser les déchets ; c'est la solution Hupgrade.

NB : addendum : Veolia souhaite que la géothermie soit plus développée en France : 300 km de tuyaux en France, contre 3000 en Suisse, notamment à faible profondeur ; c'est ce qui s'est fait pour Blagnac et 2500 particuliers, grâce à une pompe installée à 200 m de profondeur, alimentant le réseau ; les géothermies de jardin à très faible profondeur devraient également à être développées. « La principale activité de Veolia dans l'énergie est les réseaux de chaleur-500- et prend pour objectif le leadership en Europe et au Moyen Orient pour les bâtiments et les sites industriels » : source les Echos 15/01/2024.

Fives : groupe international d'ingénierie, voulant devenir un acteur majeur du futur. Il conçoit et réalise des machines, des équipements de procédé et des lignes de production pour de nombreux secteurs : acier, aéronautique, aluminium, automobile, industrie manufacturière, ciment et minéraux, énergie, logistique et verre. Trois grandes activités : High Precision Machins, Process technologies, Smart automation Solutions.

2 exemples de décarbonation : Hydro- entreprise espagnole à Navarre-et Fives ont accompli un essai encourageant d'utilisation d'hydrogène dans la production d'aluminium, se substituant aux énergies fossiles, Fives agissant sur le système de combustion à haut rendement et de modélisation de la dynamique des fluides ; objectif industriel **2028**. A Dunkerque, Fives est entré dans un consortium avec Aluminium Dunkerque, Trimet-St Jean de Maurienne, et RIO Tinto pour augmenter la concentration du CO2 dans les gaz devant être captés par les solvants aminés. Une division par 2 est prévue pour 2030.





III-Jeunes entreprises : l'industrie du futur

Selon le ministère de l'économie et des finances, les « startups » industrielles correspondent à de jeunes entreprises qui ont vocation à créer des productions industrielles ; elles représentent 12% des « startups » en France. Selon France Industrie, le Club Tech Factory en a intégré 20 de plus en 2023 : 1 dans la chimie, 2 dans l'énergie dont Jimmy Energy, microréacteur nucléaire, 3 dans les matériaux de construction, 2 dans la mobilité dont drone civil et armée, 2 dans la mode et le textile, 2 dans la santé et la biotech, 3 dans les technologies « propres », dont les microalgues et dans la capture du CO2 par cryogénie dans les cheminées industrielles, 2 dans les Telecom et l'électronique, 3 pour l'alimentation et l'agriculture, dont 2 pour la viande de culture. NB : ce 12% semble hélas accompagner le 12% de l'industrie dans le PIB ; le Club Tech Factory atteint le nombre d'environ 80 startups, mais selon BPI, le nombre de startups à « vocation » industrielle serait de l'ordre de 1900. Le Club Tech Factory n'a démarré qu'en 2021, et n'intègre pas celles créées auparavant, les licornes- celles dépassant le milliard d'euros de valeur économique estimée, pour la France-, et celles devenues des entreprises indépendantes, comme CITEO et autres. La source majeure est le Club Tech Factory, complétée ensuite par des sources médiatiques.

III-1-Matériaux

Blackleaf : production de graphène, procédés CNRS, bon conducteur chaleur ou électricité, 200 fois plus résistant que l'acier, très léger, nombreux usages. Usine en création à Strasbourg depuis 2022 pour une production industrielle en 2025, devenant le premier fournisseur en Europe ; source Usine Nouvelle 18 août 2023.

Gwilen : nom breton du fleuve la Vilaine ; elle produit des matériaux pour le design, l'architecture et la construction ; la matière première vient de l'envasement des estuaires et des ports, bientôt interdits d'être renvoyés en mer ; 50 millions de tonnes pour la France, d'argile de sable et de sel ; le processus, resté secret, s'inspire d'un mouvement naturel, la diagénèse, transformant très lentement ces vases en rocher ; il est moins énergivore que la fabrication du ciment ou de la terre cuite et douze fois moins émetteur de CO2 que le ciment, donc très compétitif. Après validation du procédé en 2019, Gwilen s'installe à Brest et réalise des prototypes très acceptés et désormais commercialisés. Une usine est prévue pour 2025 ; source Les Echos janvier 2023.

Matterup : le ciment trouve un concurrent, l'argile, deux fois moins émetteur de CO2. L'argile est extrêmement abondant sur terre et la startup peut utiliser n'importe quel type. Le procédé est protégé par 35 brevets internationaux tenus secrets. Créé en 2018, Matterup reçoit en juin 2022 l'autorisation de mise sur le marché de son ciment à 70% d'argile, couvrant 80% des usages du ciment. Elle a pu créer une première usine, pour une production de 50.000 tonnes/an, à partir d'argile recyclée ou de rebuts, et l'aide intérieure de consommation électrique issue de panneaux solaires pour 25%. L'European Innovation Council de l'UE lui a attribué une participation de 500.000€ et une subvention de 2,5 millions d'euros. L'objectif suivant est de construire 10 usines de petite production, mais partout dans le pays utilisant l'argile local. Les clients sont déjà là pour des chantiers pilotes. Source les Echos nov. 2022.

Neolithe : la fossilisation. Les déchets ultimes non dangereux non recyclables sont transformés en des granulats minéraux inertes, réutilisables dans le BTP. Ces fossilisateurs modulaires sont déjà utilisés dans le traitement des refus de tri des DIB de chantier. Créé en 2019, premier prix des Global Industry Award, 60 millions d'euros pour les fossilisateurs, développement ultra rapide. Source les Echos 6 décembre 2023.

Vulkam : startup de 2017, essaimage du CNRS, après 30 ans de recherche ; elle a mis au point un procédé très breveté de fabrications métalliques aux propriétés très améliorées. La structure amorphe permet de mouler des pièces dont la géométrie peut être complexe ... ; au sortir du moule, elles sont totalement terminées, ce qui n'est pas le cas des autres métaux ; de plus leurs qualités de résistance ou autres sont deux à trois fois



plus ; ces alliages sont à base de niobium, zirconium, cuivre, nickel, palladium et quelques autres non présentables : source Technique de l'Ingénieur. 34 millions pour une première usine en 2024, opération 2025 pour des prototypes dans l'horlogerie, dans le médical et le spatial déjà produits ; le groupe SEB est très intéressé ; saturation fin 2025, après 1 million de pièces fournies, d'où un doublement prévu en 2026 à Versaud, Isère. Source les Echos 16/01/2024

Woodoo : startup créée par Timothée Boitouzet, 29 ans, études d'architecte passé par le Japon, puis le Massachusetts Institute ; cet inventeur a polymérisé le bois ordinaire pour le rendre 300% plus résistant. Ce nouveau bois peut remplacer le verre, il est translucide, c'est le « SLIM », par exemple pour les intérieurs automobiles ; il peut remplacer le cuir et les peaux exotiques, c'est le « Flow » ; il peut remplacer l'acier, l'aluminium et le béton, pour l'architecture, c'est le « Solid ». L'objectif final est l'architecture, marché de masse, mais en passant par le luxe permettant d'y arriver. Woodoo est protégé par une cinquantaine de brevets, son inventeur a été sacré innovateur de l'année, a reçu 44 prix de lauréats, startup la plus primée en Europe. 700 entreprises l'ont spontanément contacté. Aidé par une aide 28 millions d'euros, il va ouvrir un deuxième site à Rosières près Troyes pour produire 14.000 m² et un objectif futur de plusieurs centaines de milles ; le bois suivra. Sources : « Entreprendre », 27/06/2023 et « Les Echos », 31/10/2023.

III-2-Énergie

Airthium, créée en 2017 par un ingénieur X ; elle conçoit des générateurs de chaleur décarbonée à destinations des industries agroalimentaires du papier, de l'automobile...etc. la solution est une pompe à chaleur pouvant être alimentée par toute énergie décarbonée, possible par l'utilisation du moteur Stirling et l'hélium comme fluide ; le moteur est de forte puissance sur des températures pouvant aller au-dessus de 550°C pour le chaud et à -50°C pour le froid ; il permet de concevoir des systèmes de stockages saisonniers, jusqu'à 2 ans, accessibles aux énergies intermittentes et stocker la chaleur dans du nitrate de sodium-potassium, chaleur reconvertie en électricité par le même moteur. La pompe à chaleur peut marcher avec de l'ammoniac liquide vert. On est en passe de prototypes, pour un potentiel évalué énorme grâce à son rendement énergétique et son coût, jugés plus que compétitif ... !? Source la Jaune et la Rouge, Pole Implantation entreprise 2022.

Energiestro : créée en 2014 par un ingénieur X ; elle conçoit des volants de stockage d'énergie, le Voss- Volant de Stockage Solaire-. Il s'agit d'un volant en béton, précontraint par des files de verre. Et équipé d'un alternateur spécial à faible perte. Energiestro vise une capacité de stockage de restitution électrique de 10 heures, permettant de restituer la nuit l'énergie stockée ; le Voss est le stockage idéal des grandes centrales solaires, non thermodynamique, et un prototype a validé son efficacité : ses avantages sur les batteries sont la durée de vie, quasi illimitée, son insensibilité au climat, aucun matériau toxique ou stratégique, son coût très inférieur à celui d'une batterie, sa sécurité. EDF est intéressée, Engie s'appuie sur ces volants dans son centre expérimental Thémis, Voltalia un équipement de 10 KW/10KWh pour la Guyane. Passage au niveau industriel prochainement. Soutiens BPI, Bourgogne-Franche-Comté et Centre Val de Loire, Union européenne. Association au groupe Filatex pour ses ancrages en Afrique, Madagascar et Ile Maurice. Installé à Essert, près de Belfort.

Sources Web : Energiestro et Les Echos, janvier 2022.

Jimmy Energy : créée en 2020, a mis au point un générateur thermique fonctionnant grâce à un microréacteur nucléaire, un SMR, à haute température, -HTR-, qui transfère la chaleur à un circuit primaire, fluide hélium ; cette chaleur est ensuite transmise au circuit secondaire, fluide CO₂, lui-même relié à un caloporteur adapté aux besoins industriels ». Puissance 10 à 20MW, température du cœur : -550°C. L'ambition est de mettre en service un démonstrateur industriel en 2026. Soutiens BPI, Hauts de France et différents investisseurs particuliers comme X-Polytechnique, mais plus Eren Energy- 25% Total Energies- entreprise exclusivement centrée sur la gestion thermique, hors électricités intermittentes reprises par Total Energies. Jimmy Energy est



l'une des lauréates de l'appel à projets « réacteurs nucléaires innovants » avec un support de 32 millions d'euros. Sources diverses : Usine nouvelle 21/11/2023 et Echos 4/04/2023

McPhy : créée en 2008 et coté sur Euronext Paris en 2014, McPhy n'est plus une startup récente. C'est une entreprise dont le chiffre d'affaires augmente régulièrement, mais qui a encore des besoins d'aide. EDF est un actionnaire important-21,7% selon Wikipédia ; 180 millions lui ont été apportés en 2020. Elle est une spécialiste des équipements de production et de distribution d'hydrogène dédiée aux secteurs de l'industrie, de l'énergie et de la mobilité. Aujourd'hui, elle veut se recentrer sur les électrolyseurs, en cédant son activité sur les stations hydrogène à Ataway- source Usine Nouvelle, 15 décembre 2023. Sa technologie est leader de l'électrolyse alcaline sous pression, basée et modernisée par le CNRS ; ses avantages sur la catalyse PEM, sont sur les coûts Capex et Opex, sans métaux rares, hors le nickel ; elle peut s'adapter à toute demande en capacité et en pression, 300 et 700 bars, ce qui permet de produire l'hydrogène localement, vert en France, évitant les coûts de transport et en toute sécurité ; sa modernisation a permis une bonne adaptation de la flexibilité liée au soleil et au vent, entre 20% et 100%, donc au voltaïque et à l'éolien. Gigafactory à Belfort en 2024 ; nombreux projets en Europe, dont Allemagne à partir de 2025 jusqu'à 2027. « Avec 195MW d'électrolyse grande pression en référence, McPhy s'impose comme un acteur clé de l'hydrogène industriel ; réf. au 25/01/2023 ». Source : Usine nouvelle 15/12/2023.

Water-horizon : Startup très récente ; objectif récupération des chaleurs industrielles perdues, avec objectif prioritaire le marché du froid plus énergivore que le marché du chauffage ; il s'agit d'une « batterie thermo-chimique » : il faut réunir deux composés minéraux, qui, en se réunissant, créent de la chaleur, ni gazeux, ni inflammable, sel hygroscopique et eau ; la récupération de la chaleur se fait entre 100°C et 200°C pour une restitution à chaud à 80°C, et à froid -10°C. Un prototype 10KW avec Dalkia pour le chauffage d'une maison a été suffisante pour créer une batterie 100 fois plus grande de 1 MW construite pour assurer la réfrigération des locaux de mareyage de La Rochelle, située à 3 kms d'une unité de valorisation des déchets pour la récupération de chaleur, pour mise en route fin 2024. Une usine pour produire des séries de batteries est étudiée et sera lancée après appréciation des performances à La Rochelle. Source : Le Moniteur 28/03/2023

III-3-Technologies propres

3Wayst : une petite révolution dans le traitement des déchets ménagers. L'entreprise a mis au point une technologie de tri, qui permet de valoriser 90% des déchets ménagers, au lieu de 36% actuellement. 5 brevets dont en priorité l'ouvre-sac, évitant le broyage et facilitant le tri ; séparation en 3 : compost, petits recyclables, gros recyclables. Cette technologie a du mal à se développer en France : 39 millions de tonnes par an, 36% en décharge, 30% incinérés, 20% recyclés, 14% compost ou méthanation. Source TF1 18/4/2023. En revanche, elle se développe très favorablement au Canada, au Danemark, en Inde, à Madagascar, mais aussi à la Réunion : 170.000 tonnes, 30% recyclées et 48% pour produire du combustible conduisant à l'électricité ; 72% de réduction de la mise en décharge, depuis 2021.

Eranova : elle développe une technologie innovante, AlgX qui utilise des algues échouées et polluantes, pour fabriquer des résines biosourcées, recyclables, compostables. Elles permettent de remplacer les biomasses obtenues sur les terrains agricoles. Elles sont cultivables. Mais, pour le moment, ce sont une petite partie des 44.000 T/an récoltées sur les plages bretonnes et transportées dans des bassins pour les faire grandir : 1 kg d'algues vert, c'est 1kg de CO2 ; elles sont ensuite enrichies en amidon, brevet, et produisent 20 fois plus de biomasse que les cultures des plantes terrestres ; une extraction de l'amidon par craquage enzymatique, brevetée, suit ; la transformation en résine se fait par thermoformage ou extrusion. On obtient des produits de 15% meilleures pour ses propriétés mécaniques par rapport à celles de certains bioplastiques d'autre origine ; ils sont renouvelables recyclables et durables ; usages emballage ; suite prototype, usine en projet. Source WEB Gomet 30/11/2023.



NetZero : « fondée en 2021, NetZero s’est spécialisée dans la production de biochar en zone tropicale, où la biomasse est abondante, bon marché, et peu valorisée. Les sols sont généralement pauvres et acides. 33 investisseurs la soutiennent pour 33 millions d’euros, ajoutés de 11 millions de Stellantis, l’Oreal, et CMA-CGM. Elle fait partie des 15 projets les plus prometteurs pour le stockage du carbone ». La technologie est bien connue, pyrolyse haute température jusqu’à 1500°C, mais son développement hyper rapide, non. NetZero vient d’inaugurer une installation au Brésil, l’un des plus grands des sites de production au monde à partir de résidus agricoles, 16000 tonnes de résidus de la culture du café pour 4500 tonnes de biochar, et 6500 tonnes de CO2 stockées. Le biochar est utilisé comme engrais pour les sols retenant l’eau et les nutriments. Deux autres projets sont prévus pour le Brésil avec un objectif de 2 millions de CO2 stockées d’ici 2030. NB : l’amélioration des sols pour leur productivité n’est pas encore retenue par tout le monde, mais ce n’est pas l’objectif majeur. Autres spécialistes français : Sylvia Fertis, Normandie, 400t/an biochar, qui avait devancé NetZero ; Carbon Loop, site dans les Yvelines en 2023, 400t/an biochar, objectif 1 million de tonnes CO2 stockées d’ici 2030.

Fairmat : Créée en 2020, est une entreprise qui a trouvé les moyens de recycler les plaques composites en fibre de carbone utilisées dans l’aéronautique, l’éolien et le sport, envoyées majoritairement en enfouissement ou brûlées. Le principe est simple : les résoudre en très petits morceaux et les réutiliser tels quels ; le faire ne l’est pas sans mécanisme approprié ; d’où l’utilisation de robots de préparation de la phase découpage, avec algorithmes et IA. Ces « puces » sont réutilisées pour le même usage, conservant ses propriétés de légèreté et de résistance. L’usine près de Nantes a produit 400 tonnes en 2023 avec un objectif de 2000 tonnes dans les années qui suivent ; elle produit des raquettes de Padel pour Décathlon ; le gain de production de CO2 est de 5 fois moins que son équivalent neuf. L’emploi sera de 400 employés. Soutenue par une levée de fond de 34 millions d’euros fin 2022, elle a des projets d’émancipation aux USA, probablement en priorité, en Allemagne et en Espagne. Source Usine nouvelle, 4/11/2022

Revcoo : startup lyonnaise, elle a mis au point une technologie de capture de CO2 par cryogénie, en captant 90%. Le procédé consiste à conditionner l’effluent à traiter, dans ce cas une cheminée, en le comprimant avant de le sécher, puis de le filtrer, pour isoler le CO2 ; le CO2 est ensuite transformé en neige carbonique dans un désublimateur breveté, rejetant de la fumée « propre » et de l’azote recyclant sur le désublimateur. Première installation : four à chaux de la carrière de Bocahut, dans le Nord ; 20 t/j de CO2 stocké ; intérêt économique sur les taxes liées au CO2 ; usages : boissons, e-combustibles, béton. Partenaires : BPI France, Crédit agricole, banque populaire, et 6 autres.

III-4- Agriculture

Agreenculture : la startup toulousaine a été créée en 2020, après plusieurs années de recherche. Elle fabrique des robots agricoles, pas plus grands qu’un décodeur de télévision, permettant les déplacements des machines agricoles, et observés et conduits par satellites. Aujourd’hui ils sont utilisés sur la vigne avec un « chemillard » devenu autonome. Les autres cultures, y compris l’arboriculture suivent : une expérience sur 50 ha de maïs a montré qu’on obtenait une réduction de 70% de produits sanitaires. En 2021, la société Pellenc, spécialiste mondial des équipements pour la viticulture, l’arboriculture et l’outillage électroportatif l’a rejoint. Les objectifs sont la plus grande liberté des agriculteurs et les gains économiques. Elles sont soutenues par BPI France, France 2030, L’Inrae, L’Occitanie etc., mais beaucoup moins que pour les filières précédentes.

Ombrea : Créée en 2016. Ombrea développe une solution agrivoltaïque pour le monde agricole, en installant des panneaux photovoltaïques au-dessus des cultures de toutes natures. Ces panneaux sont adaptés aux variations solaires et permettent de régler le contexte climatique selon une stratégie de pilotage. Elle a été rachetée par Total Energies en septembre 2023, après avoir levé 7 millions d’euros en 2021 ; Les Echos septembre 2023. Une accélération probable. Intérêts : grâce au réglage de l’ombrage, plus de protection contre le soleil, plus d’humidité, mais 20% de besoins en eau, d’où meilleure récolte ; production d’électricité. Aujourd’hui, 52 sites construits, sur 83 hectares, 150 MW de puissance électrique ; nombreux projets en cours et attendus.



MicroPep : Startup ayant pour objectif de formuler et de produire des traitements efficaces et viables pour l'agriculture. Elle est la suite d'une découverte en 2012 des « micropeptides » qu'il faut identifier et sélectionner selon la nature et les besoins. Elle est au stade des prototypes, développés dans le domaine des grandes cultures, soja, blé, vignes, pommes de terre, tomates, et de deux besoins, le contrôle des mauvaises herbes, bio herbicides, et le contrôle des « pathogènes », la biofongicide. L'industrialisation pourrait être lancée en 2025-2026 aux USA, plus pragmatique que l'Europe sur les réglementations, donc à partir de 2027 en Europe. Le glyphosate est menacé... ! Elle est très soutenue, mais n'est pas la seule dans ce domaine, « faisant partie des dix sociétés dans le monde à la pointe de la recherche dans ce nouveau domaine.

III-5-Alimentation

6 startups dans ce domaine, dont deux dans les « ingrédients » et 4 dans l'alimentation

Ingrédients :

Dry4good développe sa nouvelle gamme multifonctionnelle 100% naturelle. Grâce à une technologie innovante brevetée, Dry4good déshydrate les aliments, tout en conservant leurs valeurs nutritionnelles et organoleptiques à partir de produits récoltés à maturité, sans aucun ajout. Production pilote : 2023. Objectifs : remplacer les ingrédients artificiels, devenir acteur majeur des colorants naturels, production 2024 : 20 tonnes, développement ensuite. Cergy

Greenspot a les mêmes objectifs, mais s'alimente par les coproduits des fruits et légumes, analogue au drêche de brasserie, donc utilisant une ressource inexploitée, le gaspillage. Elle utilise une technologie de fermentation, brevetée, conduisant à des ingrédients en poudre « hautement savoureux », et multifonctionnels. L'échelle pilote a prouvé son industrialité. Production début 2023 à Carpentras. Lauréate de l'« appel à projet première usine ».

Alimentation :

Gourmey est une entreprise pionnière de la viande de culture ; la technologie consiste à nourrir des cellules provenant des animaux alimentés par les mêmes aliments : herbes, maïs, avoines, etc. Cette technologie propose des viandes de nature identique, nécessitant moins d'eau, 90% de moins de surfaces et autant d'émissions de CO2. Gourmey a commencé par le foie gras, symbole de qualité, et au même prix. Elle a reçu 48 millions d'euros pour passer à l'industriel et poursuivre sa diversité. La concurrence étrangère est très élevée, Japon, Pays-Bas, USA, mais la France veut rester dans sa réputation culinaire.

HappyVore a devancé Gourmey et produit de la viande à partir de protéines végétales, soja, blé, petits pois ...etc., dénaturées par traitement chimique et mécanique pour obtenir un produit ayant la forme et la nature fibreuse d'une viande. Elle a déjà atteint 1% du marché par la grande distribution et les restaurateurs, et aussi par commande sur le Web. L'objectif est d'atteindre 50% du marché d'ici 10 ans. Ses produits sont très divers et à prix comparables, voire inférieurs. Elle a levé 35 millions d'euros en 2022, permettant de poursuivre sa croissance au rythme actuel de 20%. La concurrence est très forte, dont le plus développé, Nestlé en Tchèque.

Innovafeed est une entreprise en passe de devenir mondiale de biotechnologie, leader de la production d'insectes à destination animale, dont les poissons, les chiens et les chats, et même la volaille, par le sous-produit d'huile, et végétale. Il s'agit de l'insecte *Hermetia illucens*, mieux connu comme « mouche soldat noir ». Ce sont les larves qui sont riches en nutriments. Son usine de Nesle dans la Somme a été agrandie en 2023 portant la production à 15.000 tonnes par an pour un investissement de 25 millions d'euros. Elle a levé 140 millions d'euros, permettant la construction de la plus grande usine de ce secteur, aux USA, dans le cadre d'un partenariat avec le géant américain de l'agroalimentaire ADM ; capacité de 60.000/an et profitant de la présence de la nourriture des insectes, comme à Nesle. Mais la concurrence est forte, cf. ci-dessous.



Ynsect se veut le leader mondial de la production de protéines d'insectes et d'engrais pour les mêmes clients, mais à partir de scarabées Buffalo et Molitor. Fondée en 2011 et avec une première usine à Dôle, Jura, puis au Pays-Bas, elle a visé très grand pour construire une usine à Poulainville, près d'Amiens, pour une production finale de 200.000 tonnes, dont 1 tiers pour les protéines et 2 tiers pour les engrais. Ynsect a souffert des événements Covid 19, hausses diverses notamment de l'énergie, retardant d'au moins un an l'apparition de ce mastodonte à la pointe de la technologie biochimie, mais aussi robotique et intelligence artificielle. Elle a pu lever un nouveau fond de capital-risque de 360 millions d'euros, selon Usine nouvelle, 13/11/2023 et repartir ; l'usine pourra produire et vendre de l'aliment animale dans le printemps et de vendre les engrais en France, mais aussi en Allemagne, Autriche, Espagne et Italie et permettre de passer à s'approcher d'une rentabilité, selon les Echos 18/01/2024, avant de reprendre ses projets aux USA et ailleurs ; NB : les statistiques sur ses brevets varient selon les médias de 40 à 350 et même 380... !

NB : nous voilà à une révolution de la nourriture et de l'agriculture, qui pourrait bien imiter la transition de la mobilité.

Addendum :

Il manque dans ces 25 Startups, les filières santé, telecom , mode/textile, présentes dans le Club Tech Factory, impactant l'industrie, assez difficiles à présenter en quelques lignes. L'intelligence artificielle n'est pas présente, bien qu'aidée aussi par BPI, mais non citée dans les filières du Club Tech Factory, bien normalement. Mais l'objectif de ces présentations est de mieux comprendre ou imaginer le futur de l'industrie en France et encourager les jeunes à se rapprocher du « hard skills » si intéressant et créateur de base, avant de ne plonger dans « le soft skills » des conseils ou de l'économie et autres que plus tard.