

Séminaire « Soutenabilités »

Contribution - Covid-19 : pour un « après » soutenable

Nom : Gauvain

Prénom : Jerome

Institution ou entreprise :

Axe(s) :

- Quelles attentes à l'égard de la puissance publique face aux risques ?
- Quelles interdépendances et quelles formes d'autonomie à différentes échelles ?
- Quelle voie pour une économie soutenable ?

Intitulé de votre contribution : Sécuriser approvisionnement énergétique de la France malgré le déclin de la production mondiale de Pétrole et de Gaz

Résumé de votre contribution :

La crise Covid19 est l'occasion de nous rappeler que certains secteurs stratégiques ne peuvent échapper à un minimum de planifications et/ou de régulations : c'est particulièrement vrai pour le secteur de l'Energie. Or la production de pétrole mondiale a atteint un plateau et va entamer un long et irrémédiable déclin dans la décennie 2020. Le déclin de la production de Gaz suivra 20 ans plus tard. Pétrole et Gaz représentent 40% de l'énergie Primaire consommée en France, essentiellement pour le transport et l'agriculture. On propose donc ici un plan pour sécuriser l'approvisionnement énergétique de l'Europe et donc la France en commençant par revoir l'ensemble des sources d'énergies disponibles et des moyens de stockage. En termes de marge de progression, seules les nouvelles énergies renouvelables (éolien et solaire) et le nucléaire peuvent encore augmenter en restant « durable ». Toutefois l'éolien et solaire, si couplés au réseau électrique, induisent une augmentation des coûts de réseaux et du fait de leur intermittence nécessitent l'installation de centrales à Gaz alors que celui-ci décline. Ainsi ces énergies devraient être réservées localement pour production d'hydrogène ou d'électro fuel, et le reste de la production d'énergie devrait être faite par le Nucléaire. Puis un grand

plan doit être lancé pour convertir cette production électrique en énergie utilisable dans les transports : développer en France la production de batterie (pour véhicule léger), la production d'Hydrogène (bateaux, train non électrique) et la production d'électro-fuel, nouvelle industrie combinant hydrogène et CO2 séquestré dans l'air, utilisable comme du pétrole pour le matériel agricole, l'aviation et le transport routier.

France Stratégie: Appel contribution covid 19 un après soutenable

<https://www.strategie.gouv.fr/actualites/appel-contribution-covid-19-un-apres-soutenable>

Sécuriser approvisionnement énergétique de la France malgré le déclin de la production de Pétrole et de Gaz.

Résumée idée (1500 caractères) :

La crise Covid19 est l'occasion de nous rappeler que certains secteurs stratégiques ne peuvent échapper à un minimum de planifications et/ou de régulations : c'est particulièrement vrai pour le secteur de l'Énergie. Or la production de pétrole mondiale a atteint un plateau et va entamer un long et irrémédiable déclin dans la décennie 2020. Le déclin de la production de Gaz suivra 20 ans plus tard. Pétrole et Gaz représentent 40% de l'énergie Primaire consommée en France, essentiellement pour le transport et l'agriculture. On propose donc ici un plan pour sécuriser l'approvisionnement énergétique de l'Europe et donc la France en commençant par revoir l'ensemble des sources d'énergies disponibles et des moyens de stockage. En termes de marge de progression, seules les nouvelles énergies renouvelables (éolien et solaire) et le nucléaire peuvent encore augmenter en restant « durable ». Toutefois l'éolien et solaire, si couplés au réseau électrique, induisent une augmentation des coûts de réseaux et du fait de leur intermittence nécessitent l'installation de centrales à Gaz alors que celui-ci décline. Ainsi ces énergies devraient être réservées localement pour production d'hydrogène ou d'électro fuel, et le reste de la production d'énergie devrait être faite par le Nucléaire. Puis un grand plan doit être lancé pour convertir cette production électrique en énergie utilisable dans les transports : développer en France la production de batterie (pour véhicule léger), la production d'Hydrogène (bateaux, train non électrique) et la production d'électro-fuel, nouvelle industrie combinant hydrogène et CO2 séquestré dans l'air, utilisable comme du pétrole pour le matériel agricole, l'aviation et le transport routier.

Contribution :

Contexte :

La crise Covid19 est l'occasion de nous rappeler que certains secteurs stratégiques ne peuvent échapper à un minimum de planifications et/ou de régulations : ce point est particulièrement vrai vis-à-vis du domaine de l'Énergie.

En effet, la production économique d'un pays ne dépend pas seulement de l'offre et de la demande, elle dépend aussi de la quantité d'Énergie disponible pour produire ces objets dans la mesure où depuis la révolution industrielle, ce sont les machines qui ont permis d'augmenter la productivité des travailleurs (aussi bien dans les champs que dans les usines).

Parmi les sources d'énergies primaires, l'énergie dont nous dépendons le plus est le pétrole, qui a le mérite depuis sa découverte, d'être abondant, pas cher, et facilement stockable, transportable en regard de sa densité énergétique : 1L de pétrole c'est 10KWh d'Énergie thermique et 4Kwh d'Énergie mécanique, soit 4 jours de travail humains. En France, cela signifie qu'1 L de pétrole contient au moins 200€ travail manuel au smic ! (REF [1])

Par conséquent, l'ensemble de l'économie mondiale s'est habituée à cette énergie abondante et presque gratuite en regard de ce qu'elle contient et en est devenue complètement dépendante d'une part par son utilisation directe et indirecte dans la production (en particulier Agriculture, Bâtiments, agro-alimentaire, industrie aéronautique et automobile) et dans le transport (et toutes les chaînes logistiques associées). On peut ainsi montrer que la variation du PIB mondiale annuelle est corrélée la variation de production de pétrole mondiale et la suit avec 2 ou 3 ans de retards. (REF [1])

Or depuis 2 ans les alertes concernant une baisse prochaine de la production de pétrole se succèdent : Ainsi, en Novembre 2018, l'Agence Internationale de l'Énergie (IEA) dans son rapport annuel WEO 2018 (REF[2]) alerte sur un risque de ne plus pouvoir produire suffisamment de pétrole pour l'économie mondiale d'ici 2025 si les investissements dans le pétrole conventionnelles ne doublent pas ou si la production de gaz de schiste américains ne triple pas d'ici là : Ils rappellent en effet, que le pic de pétrole conventionnel a été franchi entre 2006 et 2008 et que ce pic de production de pétrole a été à l'origine de la crise de 2008. C'est l'essor du pétrole dit « non conventionnel » dont essentiellement le gaz de schiste (Shale Oil) américain (il y a aussi la production de pétrole de schiste bitumineux au Canada) qui a permis un rebond de l'économie à partir de 2010.

Indépendamment des problèmes environnementaux qu'il pose, il se trouve que la production de gaz de schiste est très onéreuse, et que très peu de producteurs de gaz de schiste rentrent dans leur frais, même quand le pétrole était à 100\$ le baril. Cette fragilité financière est source de fragilité structurelle dans le principe même de la production de gaz de schiste. De plus un certain nombre de spécialistes pensent qu'indépendant des problèmes d'investissements, ie même si ceux-ci étaient illimités, la production de gaz de schiste finirait par décliner à la fin de la décennie 2020. Ceci conduirait inexorablement la production de pétrole mondiale à décliner et conduirait à une crise économique sans précédent avec des risques de tensions géopolitiques certaines. Une très bonne analyse expliquant pourquoi le pétrole doit être considéré comme une matière première critique est disponible dans la REF[3].

Dis autrement, **une menace certaine et périlleuse pèse sur l'économie mondiale, au mieux à un horizon de 10-15ans, qui impactera l'économie plus durement que la crise du covid19 si aucune mesure n'est prise dès maintenant.**

Même si cela passe en ce moment relativement inaperçu des médias, la crise covid19 a conduit à une baisse de la demande de pétrole, temporaire, conduisant à l'effondrement du prix du baril de pétrole. Cet effondrement a été accentué par la guerre des prix que se sont livrés la Russie, l'Arabie Saoudite et les Etats Unis avant de se mettre d'accord sur une réduction de la production de pétrole mondiale. Cette situation de prix du baril de pétrole bas met en péril la production de pétrole non conventionnel américaine (gaz de Schiste) et canadienne (Schiste bitumineux), à tel point que les USA et le Canada ont envisagé de mettre une taxe sur le pétrole importé de Russie ou d'Arabie Saoudite à l'échelle d'un continent (REF[4]) pour protéger leur industrie pétrolière. Mais les dégâts chez eux sont considérables, et il semblerait que depuis 2019, faute d'investissement, leur production de pétrole décline déjà (REF[5]), menaçant les perspectives d'un plan de relance à l'identique de ce qui faisait dans le passé.

Par ailleurs, la crise actuelle du covid19 nous montre à quel point, lorsque des chaînes d'approvisionnements sont tendues à l'exemple des masques ou de certains médicaments, la solidarité internationale a tendance à disparaître, même au sein de l'Union Européenne... En cas de manque de pétrole au niveau mondiale, ce genre de tensions pourraient être exacerbées entre continents. Il semble donc nécessaire de mettre en place un plan dès maintenant dans l'après crise covid19 pour d'une part relancer notre économie, mais aussi assurer notre indépendance énergétique et profiter de la situation pour décarboner notre énergie, ie ne **plus dépendre du pétrole, du charbon mais aussi du Gaz** qui devrait passer son pic 20 ans au plus tard après le pic de pétrole, probablement d'ici 2050 (on verra ce que ça implique dans notre plan).

Rappelons au passage que l'Europe est particulièrement vulnérable à une baisse de la production de pétrole car tous les champs qui l'approvisionnent (à l'exception peut-être encore du gaz de Schiste américain, mais pour combien de temps ?) sont sur le déclin. De plus, la logique au niveau Européen d'instituer de la concurrence dans l'Energie fragilise ainsi certains de ses acteurs et l'absence de vision stratégique sur l'approvisionnement énergétique à long terme fragilise sa capacité à s'adapter à une baisse de l'Energie disponible.

Propositions de plan d'action pour faire face à ces menaces certaines sur l'Union Européenne et la France :

Les propositions listées ci-dessous n'ont de sens que dans un plan plus globale d'économie d'énergie au niveau Européen et donc Français selon les propositions du [Shift Project](#) : [9 proposition du decarbonize Europe](#) (REF[6]).

- Fermer toutes les centrales à charbon
- Généraliser la voiture à moins de 2L/100km (voiture légère et efficace)
- Réussir la révolution du Transport en Ville.
- Tripler le réseau des Trains à Grande Vitesse (TGV) (prioriser le transport ferroviaire pour la moyenne distance)
- Inventer l'industrie lourde post-carbone
- Rénover les logements anciens
- Lancer le grand chantier de rénovation des bâtiments publics
- Développer la séquestration de carbone par les forêts européennes
- Réussir le passage à l'agriculture durable.

Ces mesures ne sont pas détaillées dans ce document, car imaginées et détaillées dans le document du Shift Project. En revanche, il est nécessaire d'ajouter au plan d'économie d'Energie présenté par le Shift Project **un plan pour sécuriser notre approvisionnement énergétique** au niveau Européen.

En France en 2018, le Pétrole correspondait à environ 30% de notre Energie Primaire pilotable consommée et l'ensemble Pétrole + Gaz correspond à 40% de notre Energie Primaire pilotable consommée (cf REF[7]).

Or comme expliqué plus haut, du fait du plateau de production pétrolière et de son déclin annoncé au mieux pour la fin de la décennie 2020 (et dans le pire cas dès maintenant...), 30% de notre énergie primaire pilotable va entrer en déclin irréversible. Ce déclin sera plus au moins rapide du fait de jeux géopolitique et d'alliances qui donneront probablement accès à des ressources aux détriments d'autres pays... De même, un déclin de la production de gaz est à prévoir au niveau mondial avec 20 ans de retard sur le déclin de la production de pétrole. Quand la production de Gaz déclinera, de même que pour le pétrole, un déclin plus au moins rapide de l'approvisionnement en gaz de l'Europe se produira.

Il est donc nécessaire pour l'Europe de trouver **d'une part de nouvelles sources d'Energie Primaire pilotable** et qui devront être décarbonées pour faire face aux enjeux climatiques et d'autre part d'investir **dans de nouvelles formes de stockage de l'Energie Primaire en Energie Utile quand c'est nécessaire** au moins aussi facilement transportable que l'était le pétrole pour certain type d'utilisation de l'Energie (exemple : transport routier, agriculture).

1/ Sécuriser une production d'Énergie Primaire décarbonée et pilotable en France et en Europe :

Pour faire face à la baisse annoncée du pétrole et du Gaz disponible en Europe et en France, faisons l'inventaire des autres sources d'Énergie Primaire disponibles (en dehors du Pétrole et du Gaz représentant 40% de l'énergie primaire consommée en France, ie 100Mtep):

-Le Charbon : Dans le monde le charbon est l'Énergie qui a le plus augmenté ces 10 dernières années, toutefois l'Énergie à base de Charbon est confrontée à 2 limitations :

-Sans infrastructures coûteuses et pas encore au point pour séquestrer le CO₂ en sortie de combustion, le charbon est un gros émetteur de gaz à effet de Serre (GES) au regard de l'Énergie Utile obtenue (électrique en grande partie).

-Par ailleurs, le Charbon est une énergie essentiellement domestique : en effet une centrale électrique d'une puissance 1 GW consomme près de ½ million de tonnes de charbon par jour, nécessitant d'avoir une source de charbon pas trop éloigné...

Le Charbon n'est donc pas une option aussi bien du point de vue émission de CO₂ que du point de vue de l'accès à la ressource si l'on veut préserver notre indépendance énergétique. Au niveau européen, l'Allemagne et la Pologne peuvent être tentées par la solution charbon car ils ont des gisements sur place... De solides solutions de substitutions doivent leur être proposées pour faire avancer la politique énergétique de l'Europe...

-Le bois : Le bois est une source d'énergie primaire décarbonée utilisée principalement pour le chauffage (~5% de la consommation d'Énergie Primaire en France), à condition que sa vitesse d'exploitation permette un renouvellement de la forêt dont il est extrait. Il n'y a donc pas de possibilité d'accroître son exploitation de façon durable en France, ce n'est donc pas une option pour contrer la baisse de pétrole.

-L'hydro-électricité : Énergie faiblement carbonée (10gCO₂/Kwh en comptant la construction du barrage) l'Énergie hydro-électrique représente 5% de la consommation d'Énergie primaire en France. Toutefois, le potentiel de cette énergie dans un pays dépend du relief de ce pays en regard de la population présente. La France comme la plupart des pays d'Europe est proche de son potentiel maximal sans expropriation massive de la population. Il n'y a donc pas de marge de progression de ce côté là

-Le Nucléaire : Énergie faiblement carbonée (10gCO₂KWh comme l'hydraulique en comptant dans le bilan global la construction de la centrale, l'exploitation de la mine d'Uranium et son acheminement dans la centrale et le démantèlement de la centrale) et pilotable (même si son problème est de couler le même prix en fonctionnement ou à l'arrêt) l'Énergie nucléaire nécessite des investissements de long terme et un haut degré de système de sûreté peu compatible avec un financement privé sans contrôle fort des Etats. Par ailleurs même si en pratique le Nucléaire fait moins de mort annuellement que tous les autres sources d'Énergies, le risque ressenti auprès du public principalement dans les pays d'Europe de l'Ouest (à l'exception du Royaume-Uni) en fait une énergie difficilement acceptable socialement dans ces pays-là sans un travail pédagogique de fond. L'autre objection est celle des déchets nucléaires, même si on oublie en général de rappeler qu'en France 40% des déchets radioactifs viennent du monde médicale (et là ça ne dérange personne) ou que 50 ans de déchets de productions électriques nucléaires de la Grand Bretagne, ie 95000 tonnes, ça tient sur un porte container... Enfin la dernière objection et le côté indépendance énergétique en approvisionnement d'Uranium. Toutefois la quantité d'Uranium pour produire 1MWh d'électricité est de 2,4g (à comparer à plus de 300kg de Charbon – cf REF[1]) ce qui rend l'Énergie Nucléaire peut sensible au prix de l'Uranium et ce matériau est relativement bien réparti entre les pays. La France a d'ailleurs décidé de ne pas toucher à ses gisements pour le moment. De plus la forte densité énergétique de l'Uranium permet de faire plusieurs années de stock sans difficulté là où pour le pétrole il est difficile de faire plus de 3 mois de stock (réserves stratégiques).

-Les nouveaux renouvelables (Solaire et Eolien) : Ces nouvelles énergies, bénéficiant d'une grande popularité dans les médias et la population ont le désagréable inconvénient de ne pas être « pilotable »: Autrement dit quand il n'y a pas de vent une Eolienne ne produit pas d'électricité et au contraire par fort vent, elle peut produire plus que nécessaire (conduisant parfois à des tarifs négatifs la France étant alors payé pour absorber le surplus d'électricité produit en Allemagne...). Le même problème se pose pour le solaire. Par voie de conséquence, les nouveaux opérateurs des ces renouvelables (Engie & Total) utilisent le gaz pour adapter leur production : ainsi le déploiement de ces nouvelles « énergies renouvelables » sans capacité de Stockage revient à dépendre du Gaz, (ce qui explique peut-être pourquoi les producteurs de Gaz sont autant attirés par ces énergies ?) alors que comme on l'a expliqué la production de Gaz annuelle au niveau mondiale finira par décroître à un horizon de 20ans et que l'on veut réduire notre dépendance au Gaz. De plus le Gaz reste une énergie émettrice en CO₂ rendant ces nouvelles énergies moins compétitives que l'hydro-Hydrauliques ou le nucléaire en termes de bilan CO₂. Des partisans du tout renouvelables défendent la théorie de la « Smart Grid » à savoir que quelque part en Europe il y a toujours du soleil / et ou du vent et que l'on pourrait alimenter l'Europe de cette façon-là. Malheureusement (cf REF[1]) les scénarios d'anticyclone généralisée sur l'Europe existent bel et bien et même avec un mixte solaire/Eolien la nuit on ne peut plus produire d'électricité... A noter aussi l'impact du coût sur le réseau électrique qui devient plus complexe : Ainsi, l'exemple de l'Allemagne est éloquent en 10 ans le pays aura investi 300 milliards d'euros dans les nouvelles énergies renouvelable pour l'installation actuel de 100GW de puissance installée d'éoliens (donc non pilotable) nécessitant le maintien de 100GW d'installation au Charbon (donc peu de réduction d'émission de CO₂) et une refonte du réseau électrique augmentation significativement le prix de l'électricité outre-Rhin (facteur 2 avec la France – cf REF[8]). A titre de comparaison avec un investissement de 300 milliards d'euros on aurait pu construire entre 150GW et 200GW de Centrale Nucléaire, énergie pilotable qui aurait faiblement impacté le réseau de distributions électrique et permis une réelle baisse des émissions de CO₂ avec un

moindre surcoût pour le consommateur finale... Si l'on considère les facteurs de charges (ie d'utilisation) de ces éoliennes qui est d'environ 20%, pour produit 100GW pilotable en éolienne, il faudrait au moins 500GW de puissance installée auquel il faudrait ajouter un moyen de stockage soit compter au moins 3 000 milliard d'euros (et là on compte gratuit la solution de stockage qui techniquement n'existe pas encore...). Pour ce prix-là, même en travaillant de façon non optimale comme sur l'EPR de Flamanville où les coûts ont explosé, on aurait pu construit 300GW de puissances pilotables pour le même prix, soit 3 fois plus (et techniquement on sait le faire, ce qui n'est pas le cas de pouvoir stocker 500GW de puissance installé d'Eolienne)

Au regard des différentes options disponible sur la table, on se rend bien compte que les solutions miracles n'existent pas : la solution plébiscitée par le publique du fait d'un engouement de la presse, à savoir les énergies renouvelables, est couteuse et inefficace pour s'affranchir de notre dépendance aux énergies fossiles, à moins d'implémenter un système de stockage (implémentation de barrage réversibles de façon massive à condition de trouver où les implémenter) de ces énergies qui en augmenterait encore le coût (non chiffré plus haut).

Toutefois, ces énergies ont leur utilité dans les pays à faibles consommations énergétiques (pays en voie de développement) ou dans le cadre de production d'énergie découplée du réseau, en particulier pour la production d'énergie utile sous forme d'Hydrogène ou d'Electro-Fuel comme on le verra plus bas, mais elles doivent absolument rester découplées du réseau électrique pour ne pas le fragiliser.

La solution restante pour un pays développé comme la France et de relancer la filière nucléaire. Toutefois cette étape ne peut être accompli sans d'une part s'assurer de protéger financièrement les opérateurs de Centrale Nucléaire (prix garanti d'achat supposons une régulation du marché et prêt à taux bas) et assurer un contrôle fort de l'Etat (par son autorité de Tutelle) pour se prémunir de toute dérive financière qui pourrait mettre en péril la sureté des opérations.

De façon général, la politique de mise en concurrence des acteurs de l'Energie au niveau Européen doit être remise en question : il n'est pas raisonnable de mettre en concurrence différents acteurs qui en s'entre tuant, risquent de fragiliser l'approvisionnement énergétique de l'Europe (et donc de la France). Un prix garanti doit être fixe et un arbitrage pour allouer tel part de marché à tel opérateur. Si l'opérateur ne peut tenir ses engagements aux prix garantis il doit être écarté au profit d'un autre opérateur après accord d'une commission dédiée à l'approvisionnement énergétique en Europe ou France.

D'autre part, de la pédagogie doit être distillé au niveau des citoyens Français et Européens pour faire comprendre que malheureusement on n'a pas d'autre alternative pour garder un niveau d'approvisionnement énergétique à peu près constant dans un monde où l'accès à l'énergie va décroître.

En revanche, un vaste plan Nucléaire en France serait l'occasion de reconvertir des emplois du secteurs aérien et de l'industrie aéronautique, secteur qui va être très durement touché par la crise covid19, mais qui sera ensuite menacé par la contraction de la production de pétrole attendu durant la décennie. En effet, comme on l'a dit plus haut, une stagnation puis une lente décroissance de la production de pétrole conduira à une stagnation du PIB mondiale et donc de fait à une stagnation des revenus. 75% du Traffic aérien étant lié au tourisme, c'est-à-dire un déplacement non essentiel, il y a fort à parier que le transport aérien ne retrouvera jamais son niveau d'avant crise et que plutôt que d'investir à perte dans une industrie vouer à décliner, mieux vaut envisager des reconversions. En effet, comme l'a rappelé Fatih Birol le directeur de l'IEA (Agence Internationale de l'Energie), alors que le secteur de l'Energie est particulièrement fragilisé par la crise covid19, « L'aviation représente 1% de l'économie globale mais 8% de la consommation global de pétrole » et il suggère qu'il n'est peut être pas opportun dans cette situation de vouloir sauver tout le secteur (REF[9]). L'aéronautique ayant une très forte culture « sureté des opérations » et rassemblant des ingénieurs de très bon niveau du fait de son attractivité avant crise, il semble naturel d'envisager ce type de reconversion.

2/ Sécuriser le stockage de l'énergie utile pour les applications remplies par le pétrole (transport et agriculture):

Si comme on l'a dit précédemment, la seule source d'énergie primaire capable en ordre de grandeur de contrer une baisse de la production de pétrole et l'Energie nucléaire, cette énergie est moins pratique à utiliser dans un moyen de transport ou agricole. Il faut donc trouver un moyen, une fois que l'on a produit notre électricité de la distribuer de façon stockable aux moyens de Transport qui utilisaient du pétrole : De là, 3 solutions s'offrent à nous qui devront être utilisées fonctions des utilisations :

-Stockage sur batterie pour Véhicule Leger : Du fait du faible rapport énergie stockée/poids d'une batterie par rapport à 1 L de pétrole, le stockage sur batterie ne peut être utilisé que pour des véhicules légers avec une autonomie limitée. Toutefois ce besoin correspond à un grand nombre de véhicules utilisées dans les collectivités locale et pour les travailleurs habitant loin de leur lieu de travail et n'ayant pas d'alternative probantes avec les transports en communs pour aller au travail.

Il est alors nécessaire dès à présent d'investir en France dans la fabrication de batteries et de sécuriser des sources de matières premières venant d'autres pays que la Chine, seul moyen de permettre une réallocation d'emplois en France grâce à une baisse de notre dépendance au pétrole. Plusieurs initiatives de ce type sont déjà lancées et il convient de continuer à les soutenir.

-Fabrication d'Hydrogène pour moyen de transports lourds à forte capacité de stockage : L'hydrogène a plusieurs inconvénients : d'une part il est extrêmement inflammable nécessitant des précautions particulières à l'emploi (et de fait une pompe à hydrogène étant hors de prix, l'utilisation pour les particuliers a peu de chance de se développer largement) et d'autre part, quand il est stocké sous forme liquide ou gazeuse il prend beaucoup de place, limitant son utilisation pour le matériel lourd agricole, le BTP, ou même étant limitant pour le transport routier. Toutefois, ce moyen de stockage pourrait être intéressant dans le transport maritime (des kits de rétrofit sont à l'étude en Norvège et la première implémentation déjà prévue cf REF[10]), le transport ferroviaire non électrifié (par exemple certaines lignes TER), et possiblement les Bus de villes (roulant déjà au gaz pour certains – des rétrofits doivent pouvoir s'étudier) et dans une moindre mesure le transport routier par camion principalement pour les super-poids lourds.

-Fabrication d'Electro-Fuel, ie Fuel de Synthèse neutre en carbone fabriqué à partir d'électricité : L'Electro-Fuel est un carburant de synthèse fabriqué à partir d'électricité et d'eau : D'une part de l'Hydrogène est fabriqué par électrolyse (à l'exemple de ce que fait la PME Allemande Sunfire : <https://www.sunfire.de/en/>) et d'autre part le CO2 atmosphérique est capturé de l'atmosphère de façon synthétique grâce à une réaction chimique nécessitant de l'eau chaude pour régénérer le réactif chimique (procédé mis au point par la start up Suisse Climworks : <https://www.climeworks.com/>). Ce CO2 et cet Hydrogène sont ensuite mélangés pour donner un carburant de Synthèse : la première usine à l'échelle industrielle est en cours d'installation près de Rotterdam (coordonnés par la compagnie Néerlandaise SkyNRG : <https://skynrg.com/>). Si ce procédé est légèrement plus coûteux que la production d'Hydrogène, il est moins coûteux en stockage car on peut réutiliser les infrastructures existantes de stockage et distributions. En France, on pourrait réduire le coût de la capture de CO2 grâce à un partenariat avec EDF et l'utilisation de l'eau chaude provenant des centrales nucléaires. L'avantage de ce type de carburant est d'avoir un carburant neutre en carbone utilisable par les machines agricoles mais aussi les transporteurs routiers ou les ménages ne pouvant se permettre d'investir dans des technologies à l'Hydrogène ou sur batteries, mais aussi de préserver des secteurs de l'industrie de distributions du pétrole tout comme les constructeurs automobiles et leur équipementiers continuant à produire des voitures thermiques). Ce carburant serait aussi une solution pour décarboner l'aviation, les avions étant déjà certifiés pour voler avec 50% de ce fuel là et l'industrie aéronautique prévoyant de rendre ses avions capables de voler avec 80% de ce fuel là d'ici 10ans avec un minimum d'évolutions à faire sur les avions en service : le facteur limitant sera plutôt la production de ce pétrole là.

Particularité de l'electrofuel couplé aux énergies renouvelables : Sunfire et Climworks (les compagnies citées au-dessus) ont mis au point un équipement qui connecté à des énergies renouvelables intermittentes peut produire ce type de carburant. Dans le cadre des projets de résilience alimentaire et sanitaire sur le territoire, il pourrait être intéressant de voir si on ne peut pas convertir l'utilisation des éoliennes ou panneaux solaires déjà installés pour produire des stocks stratégiques préfectoraux pour garantir un minimum de carburant de synthèse disponibles pour les agriculteurs, les distributeurs (locaux) et les services publics (locaux).

Conclusion : Ce plan vise à relancer l'indépendance énergétique de la France et de l'Europe et faire face au déclin annoncé de la production de pétrole utilisable en Europe, mais ne doit pas être découplé du besoin de réduction de la consommation d'énergie. En particulier, l'allocation de l'Energie dans le secteur des transports doit prendre en considération la finesse utile de ce moyen de transport (ie le rapport entre la charge utile transportée sur la trainée ie la force de traction nécessaire pour se déplacer) : plus ce rapport est grand, plus le moyen de transport est efficace et doit être privilégié au détriment des moyens de transports à faible finesse utile. Mais il faut aussi prendre en compte les distances parcourues et plus on réduira les distances plus on économisera. Sur ces différents moyens de transport, on peut imaginer redistribuer l'Energie Utile sous formes différentes.

-Bateau (finesse utile 200) : de loin le moyen de transport le plus efficace et le plus ancien. De fait de la taille des cargos, des solutions sont à l'étude pour permettre du rétrofit sous forme d'Hydrogène. De plus, afin de réduire la consommation d'énergie par cargo (pour contrer le coût plus élevé de l'hydrogène par rapport à du pétrole), des solutions sont en cours de mise au point en tractant les Cargos avec des Ailes de Kites géantes (à l'exemple de Airseas en France <https://www.airseas.com/> et SkyWing en Allemagne <https://skysails-group.com/>) devant permettre une réduction de la consommation d'Energie de 20% par bateau.

-Train (finesse utile 50) : Dans la mesure du possible, l'utilisation des lignes électriques permet du transport de personnes et marchandises à un coût CO2 relativement réduit. Mais pour les lignes qui ne sont pas électrifiables, la piste de l'Hydrogène est intéressante.

Camion /Bus (finesse utile 20) : Pour certaines utilisations, la piste de l'Hydrogène semble une bonne solution (par exemple pour les bus de villes), mais afin de cibler l'ensemble de la flotte de Camion il est nécessaire de développer les electro-fuel.

-Machines agricoles (finesse utile NA) : Ces véhicules spécifiques nécessiteront l'utilisation d'electro fuel, ainsi un investissement massif dans cette technologie en France sera nécessaire pour sécuriser l'approvisionnement alimentaire du pays.

-Véhicule léger : (finesse utile 10) : le VL comme précisé par le Shift Project doit être avant tout léger (<500kg) pour consommer le moins possible. En fonction des utilisations, il pourra être alimenté par batteries (toutefois les systèmes de recharges ne sont pas adaptés aux gens vivant en appartement) ou être un véhicule thermique utilisant des electro-

fuel (cout plus cher à la pompe contré par la faible consommation à 2L/100 visé permettant de sauvegarder une partie du tissu industriel existant)

-Avion (finesse utile 5) : Du fait de sa faible finesse utile cumulé au fait que 75% des passagers transportés le sont dans le cadre du tourisme, il n'est pas sûr que l'aviation ait un brillant avenir à un horizon 10-15 ans. Toutefois, cette technologie restera nécessaire surtout en Europe où un grand nombre de famille sont éclatés à travers l'Union Européenne. La technologie des électro-fuel semble être la meilleure solution pour contrer la pénurie de pétrole mais aussi contribuer à décarboner l'aviation.

REFERENCES :

[1][COURS DES MINES – JANCOVICI] : Cours des Mines de Paris – Jancovici: Slides présentées téléchargeables ici :

<https://cloud.mines-paristech.fr/index.php/s/nCzdipz0uhlITlw>

Vidéo des cours : 8 épisodes de 2h30 (20h de cours) disponibles sur Youtube :

Episode 1 dispo ici : <https://www.youtube.com/watch?v=xgy0rW0oaFI> (Les autres vidéo apparaissent à la suite, sinon chercher

«Cours Energie et Climat – cours des mines de Paris 2019 – Jancovici »

[2][WEO 2018 IEA]: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2018>

[3][Geological survey of Finland] Oil from a critical raw material perspective:

http://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/70_2019.pdf

[4][Financial Times][USA & Canada discuss putting tariffs on Saudi & Russian Oil]: [https://amp-ft-](https://amp-ft.com.cdn.ampproject.org/c/s/amp.ft.com/content/5f4704e9-0942-4707-97c0-eba79f4fcbb8)

[com.cdn.ampproject.org/c/s/amp.ft.com/content/5f4704e9-0942-4707-97c0-eba79f4fcbb8](https://amp-ft.com.cdn.ampproject.org/c/s/amp.ft.com/content/5f4704e9-0942-4707-97c0-eba79f4fcbb8)

[5][World Oil] [US shale Oil has already peaked for major service companies]:

<https://www.worldoil.com/news/2020/1/22/us-shale-has-already-peaked-for-major-service-companies>

[6] [SHIFT PROJECT] 9 propositions to decarbonize Europe <https://decarbonizeurope.org/>

[7] [DATA LAB]: Chiffres clés de l'Energie 2019 [https://www.statistiques.developpement-](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-09/datalab-59-chiffres-cles-energie-edition-2019-septembre2019.pdf)

[durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-09/datalab-59-chiffres-cles-energie-edition-2019-septembre2019.pdf](https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/sites/default/files/2019-09/datalab-59-chiffres-cles-energie-edition-2019-septembre2019.pdf)

[8] <http://www.sfen.org/rgn/allemande-facture-electricite-envole>

[9] Head of IEA Fatih Birol opinion on aviation: [https://www.climatechangenews.com/2020/03/17/governments-historic-](https://www.climatechangenews.com/2020/03/17/governments-historic-opportunity-accelerate-clean-energy-transition-iea-says/)

[opportunity-accelerate-clean-energy-transition-iea-says/](https://www.climatechangenews.com/2020/03/17/governments-historic-opportunity-accelerate-clean-energy-transition-iea-says/)

[10] Retrofit of cargo/cruise ship with Hydrogen powered solutions: [http://www.hydrogenfuelnews.com/norwegian-](http://www.hydrogenfuelnews.com/norwegian-company-partnership-to-launch-liquid-hydrogen-fuel-cell-cruise-ship/8539330/)

[company-partnership-to-launch-liquid-hydrogen-fuel-cell-cruise-ship/8539330/](http://www.hydrogenfuelnews.com/norwegian-company-partnership-to-launch-liquid-hydrogen-fuel-cell-cruise-ship/8539330/)