**Comment assurer la fourniture d’énergie électrique et l’équilibre du réseau**

**tout en décarbonant globalement l’énergie ?**

(JPV-JMN- CDSQ = 22/ 5/21)

**Contexte général**

La nécessité de lutter contre le réchauffement climatique étant admise quasi universellement, il faut maintenant au niveau mondial réduire rapidement nos émissions de Gaz à Effet de Serre (GES) dont la principale est celle de CO²(*dioxyde de carbone*) due à la combustion des combustibles fossiles.

Or les **progrès considérables** de la condition humaine depuis le 19 ème siècle se sont faits en particulier **par l’accès quasi illimité et en constante croissance à des énergies fossiles pas chères**. En parallèle ou en conséquence, il en est résulté un accroissement considérable du nombre d’humains et de leur longévité, lesquels sont bien sur consommateurs, chacun, de plus en plus d’énergie, comme nous l’avons été, nous, depuis toujours.

« *Décarboner*» notre production totale d’énergie nous demande donc de passer d’une majorité d’énergies fossiles (charbon, pétrole, gaz) à quasi exclusivement des sources d’Energies « Renouvelables » (EnR) dont la croissance forte n’a réellement commencé qu’il y a une quinzaine d’années.

Arriver à réduire fortement nos émissions de GES nécessitera donc un effort considérable qui impactera le quotidien des citoyens en particulier des pays riches.

**Introduction de la Conférence-Débat : l’énergie électrique en France**

Dans cette transition mondiale, longue, difficile, couteuse, incertaine, **l’énergie électrique qui n’est qu’un vecteur d’énergie** de plus en plus utilisémais **pas une** **source d’énergie primaire**, va donc voir **ses très nombreuses sources de production évoluer fortement et constamment. Son point faible est l’équilibre fragile du réseau électrique où production et consommation doivent être constamment égales à « chaque minute**», 24h/24,7j/7, 365j/365 pour éviter le risque de panne générale.

Dans cette conférence-débat, nous examinerons **l’évolution des sources d’électricité et les multiples conditions à remplir pour aboutir à un équilibre robuste du réseau Français.**

**Plan**

1) Historique rapide des sources d’énergie :

2) L’énergie électrique : la nécessité d’équilibrer le réseau entre production et consommation et ses contraintes

3) Les sources d’énergie électrique

4) Recherches sur les sources d’énergie électrique et la consommation

5) Regards sur l’Europe et le Monde

6) Regards sur la France :

7) Comment faire face à toutes ces incertitudes ?

8) Application à la France ( Proposition !)

Nota bene

1. **Historique rapide des sources d’énergie : Vue 1-** *Source Wikipedia*

Jusqu’au développement du charbon, l’énergie était d’origine humaine (dont l’esclavage) ou animale (20% des surfaces cultivées en France nourrissaient les animaux de trait) complétée par les énergies hydrauliques et éoliennes (moulins-usines-voiliers-canaux), le bois de combustion (chauffage-industrie) et un peu de charbon. En 1.800, environ 1 mds d’habitants. Espérance de vie en France Esp ~ 30 ans

Au XIX ème siècle la première révolution industrielle résulte de la vapeur produite avec le charbon. En 1.900, 1,7 mds et Esp ~ 45 ans

Au XX ème siècle, la deuxième révolution industrielle s’appuie comme sources nouvelles sur le pétrole, le gaz et un peu de nucléaire en fin de siècle. L’électricité comme vecteur se généralise rapidement. En 2.000 : 6,1 mds

Au XXI ème siècle ont lieu la révolution informatique qui concerne indirectement l’énergie et, sous l’impulsion écologique, la diversification des sources d’énergie vers les Energies Renouvelables (EnR) et le début des actions de réduction des GES. En 2.020 : 7,8 mds et Esp ~ 80 ans.

1. **L’énergie électrique : la nécessité d’équilibrer le réseau**

**entre production et consommation, et ses contraintes :**

Après les balbutiements initiaux, la fourniture universelle d’électricité se stabilise autour d’un courant **alternatif à une fréquence de 50 Hertz** (on dit aussi 50 périodes) de tension très variable depuis la production (800.000 Volts) jusqu’à l’utilisation (220 V à la maison et 5 V pour le micro). **Le** **réseau doit** **donc assurer à tout instant des tensions et une fréquence stables.**

Or comme l’électricité (électrons en mouvements) ne se stocke pas sous forme électrique, le régulateur du réseau (RTE) doit assurer à tout instant l’égalité : *production d’électricité = consommation*, sinon la situation se dégradera pour les clients et le black out risquera d’arriver. Pour garantir la stabilité d'un réseau il faut avoir des sources maîtrisables. La gestion de l'équilibre de la production par rapport à la consommation se fait dans un endroit secret et stratégique (on pourrait planter tout le réseau électrique) avec des centres de régulation régionaux. Des études se font constamment pour essayer de prévoir la consommation heure par heure (genre saison, heures de pointe, grand match de foot, nuage d'orage, etc.) plus des possibilités de souplesse. Un compteur connecté du type Linky est devenu indispensable pour connaitre et piloter finement le réseau de plus en plus décentralisé.

Voir sur **Vue 2** les fluctuations en cours de journée sur le site de RTE consultables sur :

[https://www.rte-france.com/eco2mix/la-production-delectricite-par-filiere#](https://www.rte-france.com/eco2mix/la-production-delectricite-par-filiere)

L’électricité ne se stockant pas sous forme électrique, il faut changer sa nature pour en garder en stock : nature **chimique** pour les batteries ou l’hydrogène ou **mécanique gravitaire** pour les remontées d’eau en barrage ou **cinétique** pour les volants. Tout changement de nature s’accompagne d’une perte de rendement, soit 2 fois pour tout stockage. La distribution elle-même consomme environ 10 % de la production, en particulier quand les utilisateurs sont loin des moyens de production, par exemple en Bretagne.

1. **Les sources d’énergie électrique en France en 2020 Vue 3** *Source RTE* **et pour comparaison l’Allemagne ( F-A ) en Vue 4** *Source Allemagne-énergie*

Chacune ayant ses avantages et ses inconvénients, elles sont classées ici selon leur importance en2020 **en France**, où **l’électricité est décarbonée à 92,5 % ,** meilleur résultat pour un « grand » pays développé. L’Allemagne est à 44,5 %

**- Fission Nucléaire (67,1%- 11,3%) :** les centrales nucléaires sont des centrales thermiques qui font de la vapeur dans le cœur nucléaire pour aller dans des turbines qui entraînent des alternateurs. Stables, pilotables, ces centrales produisent des déchets radioactifs et de l’eau tiède de refroidissement mais pas de CO². Les rares accidents (Tchernobyl, Fukushima…) ont de lourdes conséquences. Le risque terroriste existe. Les centrales françaises ne sont pas de même technologie que Tchernobyl (centrales sans confinement refusées en occident) ou Fukushima (centrale avec confinement mais avec eau bouillante). Elles sont à confinement et eau pressurisée. Il y a deux circuits d'eau, l'un qui est proche de la pile nucléaire et l'autre passe par un échangeur puis dans la turbine. L'EPR est une technologie qui augmente la sécurité et le rendement. D’où un cout plus élevé.

**- Hydraulique (EnR =13% - 3,4%) :** C'est renouvelable et écologique. Pas de pollution. Pour les barrages avec réserve d'eau, ajustement quasi immédiat. La France a la chance d'avoir des montagnes et de l'eau, mais ce n'est pas loin d'être au maximum de ce qu'il est possible de faire. On ne veut plus noyer des vallées entières ! Nous disposons aussi d’une usine marémotrice : la Rance en Bretagne. Les hydroliennes se développent avec un potentiel limité mais une excellente prévisibilité. Récupérer l’énergie de la houle, l’énergie thermique (différences de température) de la mer est envisageable mais pas encore développé. Le barrage de Grand Maison dans l’Isère permet de stocker l’énergie électrique en remontant l’eau de la vallée en heures creuses.

**- Eolienne (EnR=7,9% - 24,2%) :** production très variable en fonction du vent et pas forcément en rapport avec le besoin immédiat. Les plus puissantes sont en développement en mer. Moches dans le paysage, tueuses d'oiseaux, bétonnage pour le socle, elles sont parfois refusées par des « écologistes » locaux.

**- Thermiques fossiles (7,5% - 43,1%)** : le **gaz**, la moins carbonée des énergies fossiles est à **6,9 %** (16,5%), le **fioul** à **0,3%** comme le **charbon** **(22,9 %)** en voie d’extinction en France. Grâce à leur forte flexibilité, ces énergies assurent en complément du nucléaire la stabilité du réseau face aux fluctuations des EnR.

**Dans le Monde, le charbon** est l’énergie fossile la plus répandue et la moins chère. Ses centrales thermiques, souvent anciennes, émettent 2 fois plus de CO² au kWh que celles à gaz et sont nettement **plus polluantes (particules fines).** Importantes voir quasi majoritaires dans beaucoup de pays (Chine, Indes, USA, Pologne, Allemagne, …), elles sont en voie de réduction, remplacées progressivement par les EnR, le gaz et le nucléaire.

**- Solaire (EnR=2,5% - 9,4%) :** production variable en fonction du soleil et pas forcément en rapport avec le besoin immédiat. Autres inconvénients : occupation de place, problème de la production des panneaux importés en Europe, couteux en énergie électrique mais dont le coût diminue régulièrement. Gros potentiel au Sud : Afrique, Moyen-Orient, …

**- Bioénergies (EnR=2% - 8,7%) :** il s’agit principalement de la biomasse (combustion de bois émettrice de particules fines), du biogaz méthane issu du traitement de déchets organiques et de l’incinération de déchets ménagers produisant du chauffage urbain et des kWh par cogénération.

**- Géothermie (EnR=0% - ?) :** potentiel faible, inutilisé en France sauf pour le chauffage de bâtiments, mais important localement (Islande, … )

- La France **importe et exporte** de l'électricité avec tous les pays limitrophes, en particulier pour passer les pointes de consommation. C’est à la fois une **sécurité** et un **risque d’instabilité du réseau**.

1. **Recherche sur les sources d’énergie électrique et la consommation**

- **Recherches sur la production:** De très nombreuses recherches sont en cours en France et dans le monde sur la production : Centre CEA de Cadarache, ITER (recherche de la maîtrise de la fusion nucléaire), nouvelles éoliennes (genre petites éoliennes sur le toit des bâtiments), énergies de la mer, peut être nouvelles technologies venant du spatial, etc. A horizon plus lointain : quid de "l'énergie noire" venant de l'univers en expansion ? etc, etc …

- Premières applications et **recherches sur le stockage de l’énergie électrique** : En plus du stockage hydraulique gravitaire déjà cité, des **batteries** spécifiques ou de seconde main automobile dites à mi-vie commencent à être utilisées en particulier dans des iles. Le **parc** d’automobiles électriques, important consommateur en cours de développement pourra être **piloté** pour réduire les pointes et utilisé pour stocker de l’électricité hors pointe de consommation. L’**hydrogène** porte beaucoup d’espoirs pour le stockage sur véhicule sur route ou rail où il assurera une autonomie de l’ordre de celles des carburants fossiles. Il peut aussi servir à stocker l’énergie excédentaire momentanée issue des EnR non pilotables.

Enfin, le stockage ou la séquestration du CO² fait l’objet de recherches et de débuts d’application.

- **Recherche pour réduire la consommation :**

\* **Optimisation de tous les consommateurs** (lampes, équipements de maison **Vue 5** *Source RTE bilan**2020*, machines, isolation, … ), récupération de chaleur (centre de calculs), habitat et urbanisme performants: notion de *réseau intelligent (smart grid).* Il existe déjà des maisons à basse consommation, voir à énergie positive. On peut imaginer en interconnectant sources et consommations locales dans un quartier à arriver à une relative autonomie grâce à un réseau intelligent piloté optimisé en permanence.

\*\***Responsabilisation des consommateurs** : De gros efforts sont faits pour inciter le consommateur aux **bonnes pratiques**, à une certaine **« frugalité »** par l’information ou l’augmentation des tarifs. Pour quels résultats ? On s’habitue **au confort** et on en demande **toujours plus** (ex : air conditionné), de même pour les automatismes, les assistances **(effet rebond** bien connu**).**

Saurons-nous **réduire nos demandes** (toujours qualifiées de besoins !) et accepter de mini délestage ?

**Conclusion**

Cette rapide description montre le nombre de sources possibles nécessaires pour faire face à la soif croissante d’énergie électrique à travers le Monde sachant que 1/5 du Monde n’est pas encore raccordé à un réseau. **Elle donne une petite idée de leur complexité, de leurs complémentarités, de leur évolutivité permanente et croissante.**

A ce point de vue technique déjà complexe, il faut ajouter **le nombre, la variété et la qualité des décideurs** **au niveau mondial**, trop souvent guidés par des intérêts locaux, corporatistes, court termistes, voir électoralistes (France, Allemagne par exemple) et acceptant mal la coordination (cf le charbon allemand … ou le pilotage local et disparate face à la crise covid, elle-même très variable), et ceci bien qu’**affectant de souhaiter un « gouvernement mondial »** à l’exact opposé de leur attitude à court terme.

1. **Regards sur l’Europe et le Monde**

**En Europe**, le besoin d’énergie électrique est en légère croissance du fait des nombreux transferts vers l’énergie électrique (confort, transport, télétravail, informatisation, … ). Elle ne baisse qu’en cas de crise très aigüe (2008 et 2020). Les « prévisions » volontaristes de décroissance sont régulièrement déjouées. En réalité, on constate une certaine stabilité, demi-succès ou demi-échec ?

En considérant la production de CO² par kWh consommé, les pays vertueux sont la France grâce au nucléaire et les pays nordiques grâce à l’énergie hydraulique et aux éoliennes. Les pays charbonneux polluants sont l’Allemagne, la Pologne, les ex-pays de l’est, etc …

**Dans le Monde,** les **pays occidentalisés** sont grosso modo un peu moins avancés que l’Europe dans la chasse au CO² mais progressent en réduisant le charbon et en augmentant continuellement les EnR.

Les **pays en développement** encore pas complètement électrifiés, doivent donc développer leurs réseaux électriques et leurs sources d’énergie, aujourd’hui le plus souvent sur les énergies fossiles, moins chères, pilotables et plus rapides à installer. Ils complètent ensuite par des EnR et assez souvent du nucléaire, plus quelques gigantesques projets de barrages.

La **Chine,** plus grand pollueur mondial, occupe une position intermédiaire : venant principalement du charbon, elle évolue assez vite vers des sources décarbonées dont le nucléaire (47 réacteurs plus 12 en construction) et les EnR. L’**Inde** en retrait fait de même (22 plus 7).

Pour contribuer à satisfaire ses besoins d’électricité actuels et futurs, le Monde compte de l’ordre de **440 réacteurs nucléaires en activité dans 31 pays, 50 environ en construction et une centaine en projet** sur **Vue 6** *Source Forum nucléaire suisse*

L’AIE(Agence Internationale pour l’Energie) annonce que du fait de la croissance des besoins des pays en développement pour l’électricité, les transports, etc, **le pic de la production de pétrole et gaz est prévu en 2026**. S’il y a décroissance ensuite, elle résulterait de la baisse de la demande (réussite de la politique de décarbonation) et non pas de l’offre qui restera disponible mais plus couteuse.

1. **Regards sur la France**

Grâce à ses installations nucléaires, les 2 èmes du monde derrière les USA, la France est le pays le plus vertueux en émission de CO² d’origine électrique des grands pays développés.

Son orientation vers les énergies décarbonées est claire et ancienne : \***La ressource hydraulique** est bien exploitée et techniquement en pointe (stockage gravitaire d’énergie à Grand Maison, usine marée motrice de la Rance, …). Elle ne peut donc augmenter que marginalement. \*\***Le parc nucléaire** récent (lancé à partir des années 80) est très important. Il pose un pb de déchets, de sécurité et de renouvellement ou de remplacement.

\*\*\* Pour les **EnR non hydrauliques**, elle a viré lentement vers le **photovoltaïque** et encore plus lentement vers l’**éolien** (ratage du démarrage européen en 2.000 – longueur et incertitude des démarches administratives – ambiguïtés écologiques - …)

La **planification** gaullienne redécouverte aujourd’hui et associée au monopole d’Etat d’EDF a conduit dans le passé à notre développement important du nucléaire. Or le nucléaire est aujourd’hui fortement contesté par une partie des tenants actuels de la planification et du monopole ! Curieux paradoxe ?

**Quels retours d’expérience du passé ? Savons-nous apprendre ?**

**7) Comment faire face à toutes ces incertitudes ?**

Dans une situation d’incertitude qui s’annonce durable sur le problème très complexe de l’électricité (quelles sources ? comment assurer l’équilibre instantané des réseaux interconnectés ?pour quel coût ?), il me parait nécessaire d’éviter de continuer de « bricoler » à court terme d’où :

**\*regarder loin constamment** = lancer ou maintenir des recherches variées « chaotiques » sur toutes les formes de décarbonation, **en concurrence et en alternatives entre elles**, et sur les nucléaires (ITER, … ). Il faut investir dans la R&D au niveau mondial comme pour la covid, sans a priori mais avec un effort particulier sur le **stockage** de l’électricité et même **du CO².** Entre des solutions oncurrentes**, comparer la performance sur le cycle de vie complet** et pas seulement sur une partie, la production, la consomation par exemple.

**\*écouter tous les lobbies** en particulier les **lobbies opérationnels** *« réputés intéressés »* qui travaillent **avec compétence** dans leur domaine au jour le jour et à long terme sur l’énergie au même titre que les **lobbies politiques, partisans ou autres,** *« supposés désintéressés »* qui se croient dépositaires uniques de l’intérêt général mais ne connaissent que des généralités utiles mais fragiles et incomplètes, bien insuffisantes pour décider de façon fiable et durable.

**\*inciter fortement les Citoyens embourgeoisés** à une **certaine frugalité énergétique** en matière d’électricité et des autres sources, et à **bien recycler**, ce qui suppose beaucoup d’information et de formation voir d’incitations fortes et de contraintes !

**\*veiller à l’acceptation citoyenne des projets écologiques qui seront de plus en plus envahissants.** Les refus locaux d’éoliennes, d’un compteur connecté, de bassins de rétention d’eau, de lignes ferroviaires nouvelles sont les pires exemples de green washing à anticiper, sinon ce seront les écologistes politiques qui feront échouer l’Ecologie.

**\*se comparer toujours** à d’autres pays et agir le plus possible **en cohérence**

**\*raisonner aussi au niveau mondial** où la demande légitime de progrès, de sécurité et de confort se traduira par une augmentation de la consommation des énergies dont l’électricité.

**\*surveiller et tenir compte de l’accroissement inévitable du coût de l’énergie**, électrique particulièrement, vis-à-vis des plus défavorisés (personnes et pays). La crise des gilets jaunes montre clairement ce qu’il ne faut pas faire en matière de fiscalité écologique !

**Travailler, travailler ensemble pour bien décider avec prudence et humilité** !

**Ne pas bruler ses vaisseaux, garder toujours plusieurs sources possibles en concurrence et complémentarité, garder de la capacité en réserve par rapport aux pires situations prévisibles**

**8 – Application à la France ( Proposition personnelle!)**

Dans ce contexte de complexité, de variabilité, d’ignorances (souvent entretenues !) et donc d’incertitude durable, **assurer la stabilité du réseau électrique doit être un objectif majeur et ceci en toutes** **circonstances**, donc **avec des réserves efficaces**.

Pour le moment, cette instabilité apparait rarement. La stabilité est assurée le plus souvent par un recours encore important aux énergies fossiles comme le charbon dans l’Allemagne verte. **Le risque d’instabilité croit quand on baisse les sources flexibles,** **pilotables** (fossiles) comme la décarbonation l’exige. La France partant d’une situation très saine, ne doit pas *« aller plus vite que la musique que peut jouer le réseau »* en décroissant son nucléaire qui ne produit pas de CO², sinon risque de panne et d’augmentation de l’utilisation d’énergie fossile, ce qui constituerait un summum du green washing à l’allemande.

Pour cela, il faut avoir l’humilité de préserver la **ressource et l’expertise nucléaire** de la France !

\* **le plus longtemps possible** car pour **réussir rapidement** la décarbonation, il faut assurer simultanément la **sécurité du réseau** vis-à-vis des alea des EnR, la **maitrise du cout** du kWh en base du réseau, une certaine **autonomie énergétique**, la **balance des paiements**. En cas de grosses pannes, l’écologie serait vite déconsidérée même si on pourra toujours les mettre sur le dos du « capitalisme »! Le maintien, voir l’extension (cf les besoins mondiaux croissants) des capacités nucléaires nous procurent une **solution** **d’attente**, **une assurance**, une solution provisoire indispensable et peu couteuse avec des risques maitrisables: le démantèlement d’une centrale nucléaire en activité coute la même somme importante que ce soit après 25 ou 50 ou 100 ans d’utilisation.

ou \*\*  **définitivement** si par chance et travail, les techniques nucléaires à l’essai perçaient définitivement, ce qui ouvrirait un âge d’or de l’énergie « gratuite », quand même bien improbable à moyen terme mais pas impossible à long long terme !

**9) Où va le Monde avec ou sans nous ?**

Nous Français représentons environ 1 % du problème en consommation, moins en CO² grâce au nucléaire et nettement plus en solutions possibles par nos technologies, nos recherches, nos innovations et nos entreprises **si nous les soutenons**.

Dans l’urgence, nous devons donc conduire des politiques visant à réduire notre empreinte carbone **sans augmenter les risques globaux en matière énergétique ou alimentaire**, domaines complexes et mondialement interdépendants et dans lesquels **le Monde est fragile**. Par exemple, suite aux dérèglements du fonctionnement mondial dus surtout à la covid, des risques de pénurie apparaissent dans des domaines assez inattendus et nombreux (électronique, matières premières, bois, …)

**C’est un étroit chemin** ! En fermant une centrale nucléaire en état de marche qui produisait à faible coût des kWh décarbonés pour la remplacer par des kWh fossiles, charboneux ou gaziers, nous allons à l’encontre d’une bonne gestion des risques énergétiques.

**Et ceci dans un Monde qui n’est pas piloté ! Est-il pilotable d’ailleurs ?**

**Nota bene complémentaire:**

Globalement, la décarbonation et la dépollution entrainent **un coût croissant des énergies** qui vient en déduction des possibilités toujours limitées **d’augmenter le niveau de vie**, en particulier des plus défavorisés (personnes ou pays). **Ce cout doit donc être surveillé attentivement et prospectivement**.

Au-delà des problèmes d’énergie électrique abordés ici, le **Monde risque de manquer**

\***de bois** en matière de source d’énergie renouvelable ou de matériau de construction car son cycle de régénération est très long. A quand une prévision de production Française ? Mondiale ?

\*et plus généralement **de surfaces cultivables** pour **nourrir une Humanité** de plus en plus nombreuse et soucieuse d’un « confort alimentaire » minimum d’où un risque fort sur la **Biodiversité** par réduction des surfaces non cultivéee.

Jean-Pierre Vérollet (17/5/2021)









