

Les smartgrids EnR locales comme moyen d'amélioration de la compétitivité industrielles

1.1 Préambule

La transition énergétique fait peser des risques de volatilité des prix de l'énergie sur les clients industriels, Ceci ont de plus en plus intérêt à se tourner vers des solutions pérennes énergétique, comme la création de smartgrid EnR pour industriels.

La consommation d'une électricité 100% renouvelable va changer les habitudes énergétiques des particuliers mais aussi des industriels. Cela peut constituer un risque ou une opportunité pour les entreprises. Les politiques publiques préparent ce changement et doivent maintenant penser à la réalisation de ces politiques afin d'améliorer l'attractivité de leur territoire à long terme.

Si nous voulons préparer et réaliser au mieux cette transition énergétique, il est nécessaire de comprendre les logiques de production de l'énergie EnR et celle des usagers de l'énergie. Cette transition peut aussi être une formidable opportunité pour retrouver une compétitivité énergétique pour les entreprises.

1.2 Contexte de la transition énergétique

Le marché de l'énergie est en pleine mutation, les énergies carbonées sont cher néfaste au climat et elle peuvent être polluantes (par ex.: charbon) ou dangereuse (par ex.: huiles bitumineuses).

Le développement des énergies renouvelables (EnR) a été amorcé par des subventions. Cette politique a permis d'atteindre deux objectifs, Les énergies renouvelables sont sortie de la marginalités pour participer significativement au mixte énergétique, et deuxièmement et non des moindre, il a fait baisser le coûts des énergies renouvelables à un prix compétitif.

Malheureusement la compétitivité des EnRs (solaire et éolien) masque un défaut majeur, la production dépend de conditions climatiques et non de la demande.

2 Transition énergétique & compétitivité

La transition énergétique ne peut pas se baser uniquement sur la production de l'énergie car les producteurs d'énergie répondent avant tout à un besoin marchand, une demande en énergie. Actuellement la demande n'est pas concomitante de la production des EnRs.

Il ne s'agit pas d'achat d'électricité verte ou de certificat de production d'EnR permettant de contribuer à la transition énergétique de la production, mais d'adapter aussi la demande à une production 100% EnR.

La création de smartgrid verte permet de réfléchir aux moyens techniques, pour adapter la demande et la production d'EnR. Les moyens utilisés passent souvent par l'Intelligence Artificielle, mais aussi par le stockage physique de l'électricité. Ces moyens sont couteux, et leur coûts doivent être répartis sur le prix de l'énergie.

Le prix de l'énergie étant un élément prépondérant dans le choix d'implantation des industrielles nous allons voir si nous pouvons obtenir un prix compétitif en EnR en optimisant les coûts de production et de réseaux, et en limitant le transport et le stockage de l'électricité.

La régulation du réseau devant être réalisée par l'adaptation de la demande aux cycles de production des énergies renouvelables.

2.1 Optimisation des coûts

Les coûts cachés liés à la pollution et aux changements climatiques et à l'achat des hydrocarbures sont importants. Actuellement les politiques visent à limiter la consommation d'hydrocarbures notamment en Europe, en Chine et au remplacement des hydrocarbures par des EnRs parfois coûteuses.

Pour être rentable les coûts des EnR de la smartgrid doivent être limités à leur plus simple expression.

1. Le stockage (l'énergie est stockée jusqu'à satisfaction d'une demande future)
2. Le transport (l'énergie est transportée vers une demande d'un client lointain)

Les coûts suivants doivent être minimums.

3. La production d'EnR
4. L'adaptation de la demande à la production

La question devient quelle production est adaptée à notre demande et quelle demande peut s'adapter à la production d'EnR, et surtout comment réaliser cette adéquation à moindre coût. L'adaptation de la demande à la production est peut-être la solution la moins coûteuse et la moins sensible aux variations des prix de l'énergie à long terme.

2.1.1 Adéquation de la production et de la demande locale

L'adéquation entre le Volume de demande et le Volume de production électrique EnR se fait sur les grands réseaux par le transport (vers un client distant) et le stockage (ex. : barrages) et par l'utilisation de centrale électrique hydrocarbonée (ex. : gaz, fioul lourd, charbon), répondant aux pics de consommations.

Actuellement, les EnRs nous permettent de produire localement mais il est difficile de trouver un mixte énergétique dont le volume de production suit le volume de demande.

2.1.2 Mixte énergétique renouvelable

Une partie du mixte énergétique n'est pas décidée pour des raisons énergétiques mais de sécurité, de santé publique et d'environnement. Ces infrastructures énergétiques font partie du mixte énergétique imposé.

Les barrages ont souvent un but de protection, contre les crues, de rétention de l'eau pour l'agriculture, le prix des installations environnementales reflète souvent des réflexions qui dépassent les enjeux purement énergétiques

De la même manière, la revalorisation des déchets a souvent un but premier qui est environnemental et non énergétique par exemple les usines d'incinération des ordures ménagères, le méthane de décharge, ou même les digesteurs. Les calories, l'électricité, le méthane, le biogaz sont considérés comme des co-produits, l'élimination de la source de pollutions, la production d'engrais, ... est l'enjeu principal.

Ces installations ont souvent un tarif de l'énergie plus important. Il faut comprendre que ces installations sont jugées sur leur performance à éliminer les déchets à moindre coût, la dimension énergétique est souvent un enjeu secondaire (par exemple la captation du méthane permet d'éviter qu'il ne contribue à l'effet serre).

La biomasse est une énergie que l'on peut conserver malgré sa compétitivité je ne l'ai pas intégré à la réflexion énergétique pour deux raisons. C'est un mode de production énergétique

potentiellement polluant et il risque de fortement augmenter. L'augmentation de la population mondiale met une pression sur les terres agricoles et l'utilisation de l'huile de palme comme agro-carburant ne fait que renforcer la pression sur le prix de la biomasse.

Le solaire est une production que nous ne pouvons pas piloter mais qui est prédictible. Il est donc possible de programmer une consommation correspondant à la production de ce type d'EnR. Il faut que les besoins programmés puissent correspondre aux productions prédictibles.

L'éolien est la production la moins prédictible, il est donc très difficile d'avoir une demande programmée correspondant à la production éolienne. Il est très important pour ce type de production d'avoir une possibilité de pouvoir anticipé une demande de consommation, permettant de consommer lors de la production.

Le mixte énergétique est important pour l'adéquation entre demande et production. Il faut aussi s'intéresser au coût de la production.

Tableau des tarifs des énergies décarbonné (à titre indicatif le tarif réel dépend de la puissance installé et d'autres conditions) :

Tarif de rachat géothermie	14/12/16	200 €/MWh HT
Tarif de rachat hydroélectricité	13/12/16	58 à 182 €/MWh HT
Tarif de rachat biogaz	19/05/11	150 à 175 €/MWh HT
Tarif de rachat éolien mer	17/06/14	130 €/MWh HT
Tarif de rachat photovoltaïque	04/03/11	121 €/MWh HT
Tarif de rachat biométhane	23/11/11	45 à 95 €/MWh HT
Tarif cogénération	31/07/01	61 à 91/MWh HT
Tarif de rachat éolien pendant 10 ans	17/06/14	82 €/MWh HT
Tarif de déchet ménager sauf biogaz	02/10/01	45 à 50 €/MWh HT
Tarif de rachat biomasse	27/01/11	43 €/MWh HT
Tarif de rachat éolien mer après 15 ans	17/06/14	32 €/MWh HT
Tarif de rachat éolien après 15 ans	17/06/14	28 €/MWh HT

Nous remarquons une grande dispersion des prix de l'énergie. L'énergie la moins cher correspond à 14% du prix de la plus cher! Le choix d'un mixte énergétique, sera donc prépondérant dans le coût global de l'énergie.

Pour avoir un mixte énergétique le mieux adapté à la demande, il faut, une production qui suit la demande, par contre si nous voulons une offre à bas coût il est nécessaire d'avoir des productions à bas coûts. L'éolien est le meilleures marché sur le long terme mais sa production est intermittente.

Par contre l'utilisation de mixtes énergétiques non adaptés à la demande ne va pas sans difficultés.

2.1.3 Expérience de mixte de production non adapté à la demande

Dans certains pays, Allemagne, Espagne, le mixte énergétique (beaucoup d'éolienne) n'est pas adapté à la demande ce qui pose plusieurs problèmes. La production électrique éolienne doit être transportée vers des clients distants ou stockée pour des clients futurs (ex. : La production des éoliennes du nord de l'Allemagne est transportée vers des clients du sud).

Mais même dans ces conditions la production doit parfois être arrêtée (les éoliennes sont bloquées) notamment lorsque les prix de l'électricité sont négatifs ! L'augmentation de la production d'EnR risque d'augmenter ces phénomènes. C'est pourquoi il est peut être intéressant d'adapter la demande!

2.1.4 Adaptation de la demande

D'un point de vue technique, le développement de l'internet des objets nous permet de commander les demandes électriques des appareils électriques. L'intelligence artificielle permet potentiellement de programmer ces commandes. Dans la mesure où cette demande électrique peut être programmée.

La programmation de la demande a un coût, d'installation technique, et un coût lié à l'anticipation de la consommation énergétique. D'abord il est nécessaire de définir l'anticipation de la demande afin de donner une première approche des possibilités techniques offerte aux constructeurs.

Nous allons introduire un concept de demande anticipable, c'est à dire la partie de la demande dont la consommation en énergie puisse être anticipée (consommé avant le besoin avant la demande), l'autre partie de la demande sera qualifiée de non anticipable.

Par exemple:

- Les chargements des batteries peut être anticipé (les batteries sont chargées avant utilisation) qu'il s'agisse de batterie de voiture, train, appareil électronique (ordinateur, portable, tablette,..),
- Le chauffage, la réfrigération peut être anticipé. Les calories/frigorifiques peuvent être stockées dans des systèmes d'accumulation de la chaleur (dalle, eau,..) ou de froid,
- Les transformations industrielles dont les productions peuvent être programmées de manière anticipée.

A l'inverse la lumière est une demande qui ne peut pas être anticipée; la consommation se produit au moment où l'on en ressent l'utilité. Par contre elle est prédictible nous savons quand le besoin va se faire sentir (la nuit).

Nous remarquons que la demande anticipable concerne potentiellement une grande proportion de la demande électrique :

- Le transport (29% de la consommation énergétique¹) semble quasiment entièrement anticipable ;
 - Véhicule électrique² (voiture, trains) avec un stockage dans les batteries,
 - Véhicule GnV avec la compression du stockage biogaz ou le power to gas
- L'industrie (29% de la consommation énergétique) une partie des productions semble être anticipable (l'anticipation des productions, le transport, le chauffage, ...)
- Le résidentiel, semble, pour une partie, anticipable,
 - Le chauffage (61% de la consommation résidentielle³),
 - Eau chaude (12% de la consommation résidentielle),
 - Les besoins électroniques mobiles (portable, tablette, ordinateur portable, ...).

Il y a potentiellement un grand volume de stockage possible. Il est donc nécessaire de calculer le volume réellement nécessaire afin de ne construire que l'infrastructure nécessaire au stockage!

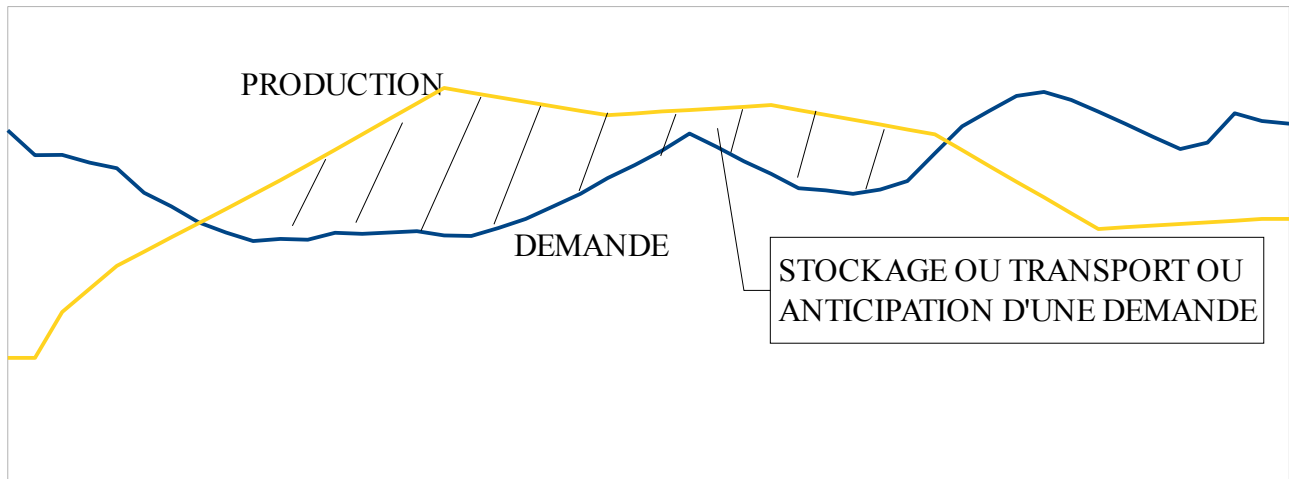
1 https://fr.wikipedia.org/wiki/Ressources_et_consommation_énergétiques_mondiales

2 Le transport par véhicule électrique permet d'anticiper la demande mais aussi de réduire la consommation énergétique et donc les coûts voir article « les routes électriques une opportunité pour demain »

3 <http://reseaux-chaleur.cerema.fr/consommation-denergie-dans-les-batiments-chiffres-cles-2013>

2.1.5 Volume de stockage

Les productions et les consommations peuvent être égales en quantité mais les puissances instantanées ne sont pas équivalentes. La courbe de consommation de l'énergie et la courbe de production diffère. Il est donc nécessaire d'anticiper la demande.



Graphique: Courbe de stockage ou d'anticipation. Production (jaune)/demande (bleu)

La variation du stockage $S(t)$ correspond à la production $P(t)$ moins la demande $D(t)$. L'infrastructure de stockage doit être construite conformément au besoin afin d'en limiter les coûts.

D'autre part le stockage physique (ex.: batterie) et l'anticipation de la demande présentent des différences notables en terme de coût d'investissement.. D'une part les montants investis sont très inférieurs et d'autre part, sur les personnes qui investissent ne sont pas les mêmes. Dans le cas d'une demande anticipée les investissements sont supportés par les utilisateurs (ex batteries voiture , système de chauffage, ...) alors que le stockage ou le transport est supporté par le régulateur du réseau.

2.2 Coût de stockage et coût de transport

Les coûts du stockage sur le réseau (barrage, batterie) ont montré leur limite dans des contextes de prix bas de l'énergie. En effet les barrages solution traditionnelle de la régulation du réseau, ont peiné à faire de la marge dans un contexte de prix bas de l'énergie. La différence de prix n'a pas été toujours suffisante pour couvrir l'ensemble des coûts de ce type de solution.

Le transport vers un client distant est aussi une solution qui trouve ses limites. Les prix de l'énergie en cas de surproduction des EnRs peut aller vers des prix négatifs. L'augmentation de la production d'EnR risque d'augmenter la fréquence d'apparition de ce type de tarifs.

C'est pourquoi il nous paraît nécessaire de réfléchir aux coûts d'anticipation de la demande.

2.3 Coût d'anticipation & intérêt client

L'anticipation de la demande à un coût, et ce coût doit pouvoir être récupéré par le client. Il est donc nécessaire de pouvoir estimer ce coût afin de pouvoir établir une stratégie énergétique.

Exemple 1 : Batterie véhicule

L'entreprise installe des bornes de recharge pour le parc de véhicules électriques de ses employés.

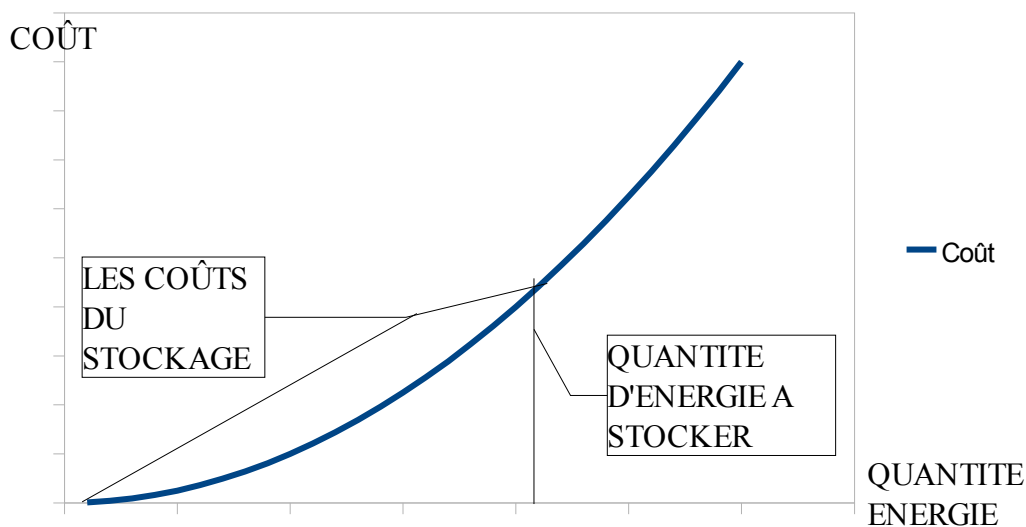
Le coût du stockage sera proportionnelle au cout d'investissement des bornes de recharge et inversement à la fréquence de recharge.

Exemple 2 : ECS (Eau Chaude Sanitaire)

Un ballon d'ECS (Eau Chaude Sanitaire) va surchauffer l'eau afin de stocker de l'énergie. L'énergie surchauffé va se refroidir en fonction de son gradient de température et du temps. Le coût de la demande anticipée sera proportionnelle à l'énergie perdu. Qui dépend du temps et de la température. L'anticipation de la demande à un coût variable !

2.4 Variabilité des coûts de stockage par anticipation

Si nous reportons les volumes stockables en fonction de leur coût croissant sur un graphique alors nous pouvons déduire quel est l'ensemble des coûts les plus bas permettant de stocker l'ensemble du volume à stocker.



Graphique des coûts de stockage par anticipation

Ce graphique permet de donner une idée de la croissance des coûts de stockage en fonction des volumes à stocker. Il est rare d'avoir un volume important à stocker et donc les stockages couteux vont amortir l'investissement de l'infrastructure de stockage sur peu d'évènement.

Ce graphique n'est qu'une représentation simplifiée mais permet de comprendre que si une infrastructure a un coût de stockage trop élevé, il sera plus cher que les autres coûts stockage, et donc ne sera pas utilisé! Pour stocker de l'énergie, il faut des stockages qui aient un coût faible.

D'autre part si le prix de stockage est trop élevé le cout d'achat de l'énergie et du stockage risque d'être plus cher que le prix de l'énergie acheté sur le réseau. Il va falloir baisser le tarif de l'énergie si l'on veut vendre l'ensemble du volume de la surproduction d'énergie dans ces périodes.

2.5 Coût de stockage et influence sur la tarification

Les investisseurs agissant pour des raisons économiques, il est nécessaire que la tarification couvre les coûts d'usages et d'investissement. La part de la philanthropie dans l'industrie est marginale, si nous voulons une transition énergétique globale, Il est nécessaire de créer un système de tarification permettant de couvrir les coûts et d'amortir les investissements réalisés.

Un coût de stockage bas permet de limiter la variabilité du prix de l'énergie. En cas de prix bas les

consommateurs auront intérêt à anticiper leur consommation réduisant d'autant le pics de consommation à prix élevé.

L'apparition de prix élevé sera rare et donc l'envie d'investir dans des centrales électriques à énergie fossiles cher sera faible. D'autre part une faible variabilité des prix de l'énergie permet de conserver des prix positifs de l'électricité en cas de surproduction EnR, et donc une capacité de financer ces énergies.

3 Régulation par la tarification & Intelligence Artificielle (IA)

Pourquoi penser une régulation par la tarification et non par l'intelligence artificielle seulement ?

Le coût d'anticipation est différent pour chaque infrastructure, il dépend de données techniques ainsi que financières. Ces données sont internes à chaque entreprise et parfois secrètes (secret industriel, secret des affaires) et certaines de ces données sont susceptibles de varier au cours du temps.

Il nous paraît difficile pour un système globale de tenir compte de l'ensemble de ces données et de les faire évoluer en temps réelles, car d'une part les entreprises ne voudrons pas nécessairement partager ces données⁴ et d'autre part, il est difficile de faire des arbitrages entre les intérêts particulier et collectif ainsi qu'il est difficile de faire des arbitrages entre les intérêts contradictoires des entreprises !

La tarification est une solution qui permet à chaque entreprise de réguler leur consommation vis à vis de leurs coûts internes et de leurs objectifs propres. La tarification permet aussi de réguler la demande par rapport à la production sans avoir à nous immiscer dans les affaires internes de l'entreprise. Nous allons voir quel mécanisme tarifaire permet de réguler la demande.

3.1 Association énergétique

Les associations à but non lucratif doivent uniquement couvrir leurs coûts, elles paraissent adaptées à gérer une tarification d'une smartgrid aux meilleurs coût pour les entreprises.

La tarification doit couvrir uniquement les coûts supportés par l'association à savoir les coûts production de l'électricité. Ces coûts peuvent être très inférieurs aux tarifs du marché (ex. éolien). La différence entre le prix marché et le prix de revient de la smartgrid étant au bénéfice des entreprises. Ce type de tarification aux bénéfices des adhérents est un moyen de rendre l'utilisation des EnRs attractive aux industriels.

Par contre le coût du stockage est à la charge des industriels. Le coût est déterminant il peut rendre le projet économiquement viable ou simplement hors marché.

Pour que le coût du stockage soit minimum il faut que la surproduction d'EnR soit réellement consommé localement et que ce stockage, par anticipation ne soit pas payé trop cher, afin d'obtenir un tarif de la smartgrid inférieur au marché.

3.2 Influence du coût du stockage sur la tarification

La tarification doit couvrir au minimum les coûts tel que le prix moyen de l'énergie soit supérieur à l'ensemble des coûts :

Dans une situation de monopole, il est possible de créer une tarification en fonction d'objectif politique. Dans le cas, d'une smargrid il faut une tarification concurrentiel avec les autre smartgrid. Il faut donc avoir des prix de l'énergie compétitif.

4 Les données peuvent relever du droit des affaires, de secret industriel.

L'utilisation d'un prix moyen n'est pas satisfaisant car il ne permet pas de réguler la demande.

Pour réguler la demande, Il faut donc une tarification qui varie en fonction du temps $P(t)$. La variation du prix doit être attractive dans les périodes de surproduction et rebutante dans les périodes sous production, tel que le volume d'énergie EnR produit doit être égal au volume d'énergie consommé

Plus le volume à stocker est important plus il faut utiliser de volumes de stockage. Si le volume est faible on va utiliser les stockages à faible coût et si le volume est très important, il faut aussi utiliser les volumes de stockage à coût plus élevé, tel que l'ensemble des volumes utilisés couvre le volume à stocker.

Les infrastructures de stockage dont le total des volumes couvre le volume d'énergie à stocker ont des coûts de stockages (Cs) différent. ($Cs1 < Cs2 \dots < Csn$). Pour que les industriels aient intérêt à anticiper la demande, il faut que le tarif de l'énergie soit suffisamment bas tel que les coûts d'achat de l'énergie plus les coûts de stockage de l'énergie soit inférieur au tarif (prédictible) futur.

Le tarif dépend donc du coût de stockage de la dernière unité de stockage Csn . Il est intéressant de noter que les infrastructures ayant un coût de stockage inférieur à Csn sont encore plus profitable car le coût supporté est inférieur au prix espéré tel que:

$$P(t) + Cs1 < P(t) + Cs1 < P(t) + Csn < P(t+dt)$$

La régulation par le tarif permet d'optimiser l'utilisation de la production et du réseau tout en minimisant les coûts supportés par les industriels. Les entreprises qui auront des stockages à bas coût bénéficieront d'un prix de revient de l'énergie encore plus compétitif.

3.3 Compétitivité durable

La régulation par le tarif d'une smartgrid locale impose une certaine indépendance au réseau, par contre il ne faut pas perdre de vu que le réseau est le meilleur moyen de connecter une production à un besoin. D'une part les meilleures productions éoliennes sont souvent distante des lieu de consommation, d'autres part le foisonnement de la demande permettra de réduire les couts du stockage (car il y aura plus de stockage à bas coût).

Donc pour avoir une énergie compétitive dans la durée il est nécessaire de prévoir une connectivité au réseau.

Les auto-consommateurs, les bâtiments à énergie positive et éco-quartier ont permis d'expérimenter la production d'électricité. Par contre, la majorité des auto-consommateurs électriques doivent encore recourir au réseau durant les phases de pics de consommation⁵. Cela pose des problèmes d'environnement et de répartition du coût.

Les pics de consommation doivent être alimenté en partie par des énergies disponibles chères (barrage) ou carboné! D'autres part, les pics de consommation augmentent les besoins en infrastructures réseau (dimensionné par les événements extrêmes que sont les pics de consommation).

Le tarif payé par ces consommateurs ne reflète pas la réalité de leurs consommations (en infrastructure réseau et en énergie plus couteuse que la moyenne). Pour l'instant ces auto-consommateurs sont minoritaires mais une adaptation des tarifs risque de se produire si l'autoconsommation se généralise. Cela risque de pénaliser ce type de réseau!

A l'inverse, la demande anticipé peut limiter les pics de consommation. Les smartgrid EnR auront moins de besoins en infrastructure réseau, et elle limiteront leur dépendance aux énergies fossiles.

⁵ Sinon ils ont des batteries ce qui n'est pas souhaitable car présentant des risques de pollutions.

3.4 Risques

La gestion de l'énergie par des plateforme AI globale pose de nombreux de problèmes techniques et font peser des risques importants sur l'indépendance, la souveraineté des entreprises, et le secret des process industriels.

Il paraît plus raisonnable que les particuliers et les entreprises restent maitre de leurs données et qu'ils choisissent en fonction de leurs intentions une IA interne adapté à leurs besoins sans disséminer leurs données sur les réseaux.

4 Conclusion

L'augmentation de la production électrique variable des EnR (éoliennes et solaire) doit pouvoir être consommée grâce au stockage par anticipation de l'électricité. Les réseaux seraient soulagés d'une partie de la variabilité de la charge des EnRs.

Les autorités politiques ont de nombreux outils pour permettre la réalisation de smartgrid industriels notamment grâce à la planification urbaine: Schéma directeur, PLU, Règlement de ZAC. Pour les autorités politiques, les smartgrids industrielles peuvent être un outil important dans la transition énergétique des territoires et dans la dynamisation économique et industrielle.

Le stockage par anticipation passe nécessairement par la construction d'une infrastructure adaptée aux EnRs. Mais pour que ces infrastructures se généralisent, il faut que leur coût soit compétitif.

Il paraît nécessaire de faire des expérimentations afin de comparer la formation des coûts dans différentes infrastructures de stockage et dans des conditions réelles, afin d'évaluer:

- Les coûts de construction & d'utilisation des stockages énergétiques,
 - L'influence du mixte énergétique,
- La régulation tarifaire de la demande anticipable,
 - Le temps d'utilisation des stockages,

Pour favoriser la transition énergétique, il est nécessaire aussi de fournir les informations susceptible de rassurer les investisseurs sur la viabilité économique et les bénéfices écologiques de ce type d'infrastructure. Le reporting écologique est un des moyens d'information utile.

Le reporting écologique diffuse des informations sur la performance énergétique des entreprises et sur les modes approvisionnements durables. Les approvisionnements durables font peser moins de risques aux entreprises car ils sont moins exposés aux risques de changements de réglementations, et de taxes, lié aux dérèglements climatique. La taxe carbone peut même grandement favoriser la performance économique de ces entreprises.

L'énergie même si elle est un élément important de la compétitivité reste un service pour les utilisateurs, La transition énergétique doit se faire en diminuant les coûts sans diminuer la qualité du service énergétique, c'est à dire la disponibilité de l'énergie.

L'énergie sera disponible si la demande a été suffisamment anticipé afin que la production puissent couvrir les demandes non anticipables. La qualité du service va donc dépendre du volume de stockage disponible, et de la qualité de la prédiction des prix.

Il est difficile de concilier une disponibilité de l'énergie avec un prix bas de l'énergie mais ce moyen peut permettre d'améliorer la compétitivité énergétique des industriels.