

Etude sur le lien entre la flexibilité électrique et la maîtrise de l'énergie dans les bâtiments tertiaires

4 OCTOBRE – 7 RUE BLANCHE, PARIS 9

Table des matières

1	INTRODUCTION.....	4
1.1	LA FLEXIBILITE ENERGETIQUE AU SERVICE DE LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ENERGIE (PPE).....	4
2	CONTEXTE & ENJEUX.....	6
2.1	DEFINITION DE LA FLEXIBILITE ELECTRIQUE.....	6
2.1.1	<i>Quels enjeux</i>	6
2.1.2	<i>Flexibilité implicite & explicite</i>	7
2.1.3	<i>Caractéristiques des flexibilités</i>	7
2.2	ENJEUX NATIONAUX AUTOUR DE LA FLEXIBILITE ELECTRIQUE	8
2.2.1	<i>Potentielle croissance des besoins de flexibilité</i>	8
2.2.2	<i>La montée en puissance des énergies renouvelables</i>	8
2.2.3	<i>Equilibre offre/demande</i>	9
2.2.4	<i>Pointes quotidiennes</i>	11
2.2.5	<i>Electrification des usages</i>	11
2.3	VALORISATION FINANCIERE DE LA FLEXIBILITE ELECTRIQUE	12
2.3.1	<i>Valorisation sur le marché de capacité</i>	13
2.3.2	<i>Valorisation sur le marché de l'énergie</i>	14
2.3.3	<i>Tableau récapitulatif</i>	14
3	ENQUETE TERRAIN	16
3.1	LES BENEFICES DE LA FLEXIBILITE ?	16
3.2	LA FLEXIBILITE REPRESENTE-T-ELLE UN FREIN POUR LA MAITRISE DE L'ENERGIE ?	17
3.3	DANS LE FUTUR, LA FLEXIBILITE DEVIENDRA-T-ELLE INEXISTANTE A CAUSE DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE ?	19
4	ETUDES DE CAS SUR DES BATIMENTS PERFORMANTS.....	21
4.1	ENGIE LAB CRIGEN : WOOPA	21
4.2	DALKIA : PROJET D'EFFACEMENT TERTIAIRE	23
4.3	SYNTHESE.....	25
5	APPROCHE THEORIQUE.....	27
5.1	LA MDE PERMET-ELLE DE DIMINUER LE BESOIN NATIONAL EN FLEXIBILITE ?.....	27
5.2	SUR UN SITE EXPLOITE, LES GAINS VIA LA FLEXIBILITE PEUVENT-ILS POUSSER A SURCONSOMMER ?	28
5.3	LA FLEXIBILITE GENERE-T-ELLE DES ECONOMIES ?	29
5.4	LA FLEXIBILITE ENGENDRE-T-ELLE DES EXTERNALITES POSITIVES A LA MDE ?	30
5.4.1	<i>Problématique du dimensionnement</i>	30
5.4.2	<i>Découverte de gisements d'économie d'énergie</i>	31
5.4.3	<i>Instrumentation pour un meilleur pilotage</i>	32
5.4.4	<i>Consommation aux moments opportuns</i>	32
5.4.5	<i>Optimisation d'une production décentralisée</i>	32
5.5	DANS LE FUTUR, UN SITE OPTIMISE PAR LA MDE AURA-T-IL TOUJOURS DES GISEMENTS DE FLEXIBILITE ?	33
5.6	LIEN FLEX MDE, UNE HISTOIRE « SHADOK » ?	33
6	SIMULATIONS : LIEN ENTRE FLEX & MDE ?.....	35
6.1	METHODOLOGIE.....	35
6.2	BATIMENTS ETUDIES.....	36
6.3	DIMENSIONNEMENT DES PUISSANCES INSTALLEES.....	36
6.4	SIEGE INTERCOMMUNALITE EN VENDEE	37

6.4.1	<i>Présentation du site</i>	37
6.4.2	<i>Synthèse des simulations</i>	39
6.4.3	<i>Conclusion</i>	41
6.5	MAIRIE ET SALLE DES FETES EN VENDEE	42
6.5.1	<i>Présentation du site</i>	42
6.5.1	<i>synthèse des simulations</i>	43
6.5.2	<i>Conclusion</i>	45
6.6	SIEGE DANS LE MORBIHAN	46
6.6.1	<i>Présentation du site</i>	46
6.6.2	<i>synthèse des simulations</i>	47
6.6.3	<i>conclusion</i>	47
6.7	COMPLEXE SPORTIF DANS LE MORBIHAN	48
6.7.2	<i>conclusion</i>	50
6.8	CONCLUSION DES SIMULATIONS	51
6.8.1	<i>Synthèse des résultats obtenus</i>	51
6.8.2	<i>La MDE permet-elle de diminuer le besoin national en flexibilité ?</i>	52
6.8.3	<i>Sur un site exploité, les gains via la flexibilité peuvent-ils pousser à surconsommer ?</i>	52
6.8.4	<i>La flexibilité génère-t-elle des externalités positives à la MDE ?</i>	52
6.8.5	<i>Dans le futur, un site optimisé par la MDE aura-t-il toujours des gisements de flexibilité ?</i>	53
6.8.6	<i>Lien entre flexibilité et maîtrise de l'énergie :</i>	53
7	CONCLUSION	54
8	BIBLIOGRAPHIE	55
9	REDACTEURS & REMERCIEMENTS	57

1 INTRODUCTION

1.1 LA FLEXIBILITE ENERGETIQUE AU SERVICE DE LA PROGRAMMATION PLURIANNUELLE DE L'ENERGIE (PPE)

Historiquement, le système électrique est exploité de manière à garantir l'équilibre entre l'offre et la demande en adaptant les moyens de production à la demande en électricité. Ces dernières années, le développement des énergies renouvelables et des effacements redistribuent les cartes. En effet, la production des énergies renouvelables (solaire, éolien, hydraulique) a la particularité d'être peu voire non pilotable et induisent donc une variabilité dans la production d'énergie.

Et cette variabilité tend à augmenter dans les années à venir notamment avec les objectifs de notre PPE (objectif de 36% ENR pour 2028 en fourchette haute). Les acteurs du système électrique doivent par conséquent développer des moyens tels que les effacements, le stockage, les interconnexions, en fonction de la demande résiduelle (qui correspond à la demande brute diminuée de la production fatale produite par les énergies renouvelables).

La Flexibilité Energétique est un instrument de sécurisation et de régulation du réseau qui favorise l'intégration des énergies renouvelables et apparait alors comme une des solutions afin de s'adapter à l'évolution du mix énergétique français.

Dans la flexibilité de la demande nous pouvons identifier trois principaux mécanismes :

- L'**effacement** (modulation à la baisse) consistant à diminuer temporairement sur sollicitation ponctuelle, la puissance appelée sur le réseau par rapport à la normale. Les actions possibles sont le décalage de consommation, la modulation de puissance appelée par certains usages (Chauffage, ECS par exemple). Dans ce cas on diminue la demande lorsque la production n'est pas assez forte.
- La **modulation** à la hausse, par augmentation temporaire du soutirage en anticipant certains usages ou en ayant recours au chargement de solutions de stockage qui ne permettront pas la suite d'autoconsommer en période de pointes de consommation.
- L'**injection** dans le réseau de distribution, d'une autoproduction locale d'électricité verte sur sollicitation du gestionnaire de réseau de distribution.

Ce contexte implique donc de réaliser des opérations de maîtrise d'énergie et également de préparer l'arrivée massive des énergies renouvelables dans le réseau électrique français. Pour maintenir l'équilibre offre/demande (et donc une qualité du réseau électrique), une modulation par les producteurs d'énergies, ainsi qu'une modulation des consommations (à la hausse comme à la baisse) par les consommateurs sera probablement nécessaire. Des leviers de flexibilité avant et après le compteur aideront sans aucun doute le système électrique.

En plus de réduire ses consommations, réaliser de la flexibilité électrique permet d'aider et de soulager le réseau électrique, contenant de plus en plus d'énergies renouvelables. Elle peut de plus être rémunérée par opération effectuée, alors que les opérations de maîtrise de l'énergie ne sont rémunérées qu'avec les économies d'énergies réalisées (et les aides et autres subventions de l'Etat). Etant donné que la flexibilité peut être réalisée à la hausse comme à la baisse, et que la rémunération de ces opérations dépend de des consommations et puissances effaçables, il est légitime de penser que plus un bâtiment est énérgivore et plus il peut obtenir des rémunérations via les mécanismes de flexibilité. La maîtrise de l'énergie (MDE) ayant comme but premier de réduire les consommations d'énergies, elle semble entrer en contradiction avec la flexibilité électrique. Un bâtiment énérgivore est susceptible d'avoir un très grand gisement de flexibilité, et l'inverse se produit pour un bâtiment très performant. Il est donc légitime de se poser des questions sur les liens entre la MDE et la flexibilité :

- La flexibilité est-elle susceptible de nuire à la MDE ?
- La flexibilité engendre-t-elle des externalités positives favorables à la MDE ?
- De manière plus générale, existe-il des liens entre les deux démarches et comment se manifestent-elles ?

Afin de répondre à ces interrogations, nous avons axé nos travaux sur 4 axes :

- **Enquête terrain** : des interviews auprès d'acteurs (agrégateurs, MOA, exploitants...) ont été faites pour avoir leur vision sur le sujet,
- **Etude de cas sur des bâtiments performants récents** pour confirmer ou non les intuitions dans le cas de bâtiments tertiaires optimisés,
- **Approche théorique du sujet**, en se basant sur des études et publications,
- **Simulation sur des bâtiments peu performants**, représentatifs du parc tertiaire français, avec différents scénarios prospectifs.

Le but de cette démarche est de bien définir ce qu'est la flexibilité électrique et d'explorer et caractériser les liens existants entre celle-ci et la MDE.

Remarque importante : cette étude ne prend absolument pas en compte l'apparition future d'énergies renouvelables décentralisées, d'autoconsommation ou de véhicules électriques (et leurs bornes de recharge). Avec ces variables en plus, il sera d'autant plus important que les bâtiments puissent maîtriser leurs consommations et appels de puissance, et offrir de la flexibilité. Il serait même plus judicieux que ceux-ci puissent conjuguer stockage, production sur site, consommation et flexibilité pour répondre à tous les besoins nécessaires du site tout en impactant le moins le réseau national, et en participant à l'équilibre offre/demande.

2 CONTEXTE & ENJEUX

2.1 DEFINITION DE LA FLEXIBILITE ELECTRIQUE

2.1.1 QUELS ENJEUX

Pour analyser les enjeux liés à la flexibilité électrique, une compréhension du réseau électrique et du rôle de RTE est nécessaire.

Les deux principaux réseaux existants pour alimenter des zones géographiques en énergie sont les réseaux de gaz et d'électricité.

Chacun de ces réseaux est divisé en deux :

- Le **réseau de transport**, permettant d'acheminer sur de longues distances, et géré par un **gestionnaire de réseau de transport** (RTE, GRT Gaz) ;
- Le **réseau de distribution**, prenant du réseau de transport et distribuant sur de petites distances à tous les bâtiments de la zone géographique., et géré par un **gestionnaire de réseau de distribution** (ENEDIS, GRDF).

Bien que structurés de la même manière, une différence fondamentale existe entre les deux réseaux. Le gaz pouvant être stocké de façon directe, il s'agit donc de maintenir une certaine quantité de gaz dans les réseaux, et de maintenir une pression constante pour que tout utilisateur puisse puiser du gaz des réseaux. En revanche, l'électricité ne peut pas être stockée de façon directe, et nécessite une transformation pour l'être (passage de l'énergie électrique à une autre forme d'énergie). Par conséquent, pour subvenir aux besoins, la demande doit être comblée en temps réel par une production d'électricité du même montant que celle demandée. Un équilibre offre-demande est à respecter pour le réseau électrique. RTE a pour mission d'assurer la sûreté du système électrique français et de veiller à cet équilibre en temps réel. Pour mener à bien cette mission, RTE fait appel aux flexibilités offertes par les sites de production et de consommation.

La **flexibilité électrique** est une aptitude à adapter son injection et/ou soutirage pendant une période donnée, **sur l'ordre de RTE ou d'un agrégateur**. Elle permet de sécuriser et réguler l'équilibre entre la production et la demande sur le réseau électrique. Il existe actuellement quatre catégories de leviers pour réaliser de la flexibilité électrique :

- La modulation de production, intervenant pour les producteurs d'énergie (centralisée ou décentralisée) ;
- Les interconnexions entre les réseaux électriques ;
- Le stockage sous une autre forme d'énergie (STEP, batteries, V2G, P2G ...) ;
- La modulation de la demande.

Deux principaux mécanismes existent pour la modulation de la demande :

- **L'effacement** ou modulation à la baisse, consistant à diminuer la puissance appelée sur le réseau (décalage de consommation, utilisation de solutions de stockage, ...) ;
- **La modulation à la hausse**, étant une augmentation du soutirage sur le réseau (augmentation de la puissance appelée, chargement de solutions de stockage, ...).

La figure ci-dessous schématise l'ensemble des acteurs du système électrique.

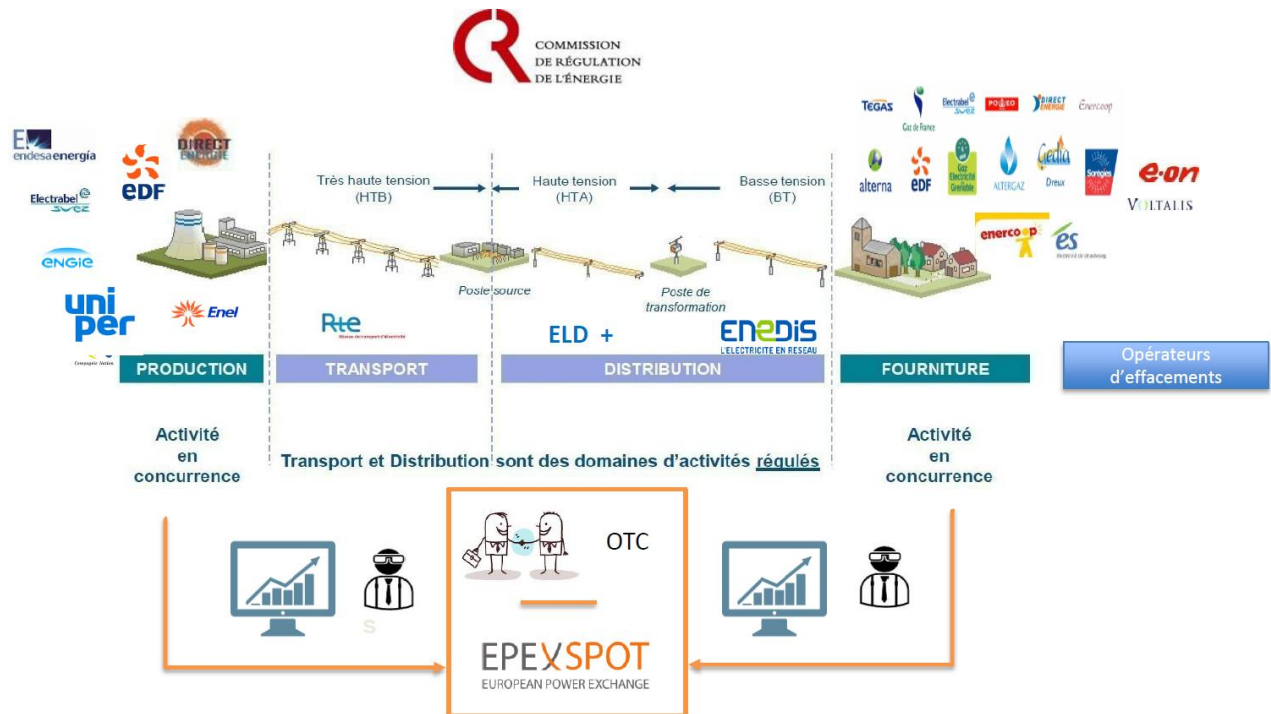


Figure 1: Représentation de l'ensemble des acteurs du réseau électrique [1]

2.1.2 FLEXIBILITE IMPLICITE & EXPLICITE

Deux principaux types de flexibilités sont valorisables pour les producteurs, consommateurs et fournisseurs de flexibilité :

- **La flexibilité implicite** : le client est incité à moduler sa puissance pour optimiser sa facture via une tarification électrique dynamique, avec plusieurs plages tarifaires de coût du kWh et de puissance souscrite (type tarif EJP/TEMPO). La contractualisation et rémunération ne se font qu'avec le fournisseur d'électricité.
- **La flexibilité explicite** : le client reçoit directement une demande de modulation de sa puissance sur des créneaux donnés, le plus souvent par un agrégateur de flexibilité. Celui-ci, intermédiaire entre le producteur d'électricité et le marché de l'électricité, aussi appelé opérateur de flexibilité, a pour rôle de piloter et valoriser économiquement les gisements de flexibilité. Il fait l'interface avec les différents mécanismes/marchés du réseau électrique. Le client s'engage auprès de l'agrégateur à mettre en œuvre des flexibilités, et est rémunéré par celui-ci. Ceci se fait indépendamment du fournisseur d'électricité et de la facture d'électricité du client.

2.1.3 CARACTERISTIQUES DES FLEXIBILITES

Les différentes caractéristiques dynamiques de gestion de la demande, combinant dispositifs et formes de flexibilité, sont :

- La durée d'activation, c'est-à-dire la durée de l'effacement avec un niveau N de puissance ;

- La fiabilité : défaillance dans la transmission de l'ordre d'effacement ; refus du consommateur de s'effacer ;
- Le délai de mobilisation. À partir de la demande d'effacement, combien de temps faut-il pour mobiliser la technologie d'effacement choisie : un jour, quelques heures, quelques minutes ?
- Le rebond (puissance, durée, délai après la fin de l'effacement). Le report s'opère-t-il juste après l'effacement ou dans un creux de consommation ? Quel est l'effet sur le bilan énergétique ?
- La fréquence d'activation : plusieurs fois par jour, une fois par jour, toute l'année ?

2.2 ENJEUX NATIONAUX AUTOUR DE LA FLEXIBILITE ELECTRIQUE

2.2.1 POTENTIELLE CROISSANCE DES BESOINS DE FLEXIBILITE

Les besoins de flexibilité seront croissants pour deux raisons principales :

- L'augmentation du taux d'ENR dans le mix électrique français, en accord avec les objectifs PPE,
- L'électrification des usages.

L'intégration des énergies renouvelables intermittentes, comme l'éolien et le photovoltaïque, dans le cadre du futur mix de production d'énergie électrique français nécessite un pilotage expert et une grande flexibilité dans les solutions. La TEPCV (transition énergétique pour une croissance verte) fixait un objectif de 40 % d'énergie renouvelable dans le mix énergétique français de production électrique à l'horizon 2030, actuellement la PPE se fixe un objectif de 36% pour 2028 en fourchette haute. Ce nouveau mix sera réalisé essentiellement à partir de l'éolien et du solaire photovoltaïque. Énergies intermittentes par excellence, elles soumettront nos réseaux électriques aux aléas climatiques (vents, nuages, pluie, neige, soleil), et nous devons y répondre en cultivant et domestiquant l'électron « vert ». L'énergéticien de demain sera un « pilote de la puissance » avec des bâtiments « silos à électrons ». Avec en plus l'arrivée des usages de plus en plus électrifiés (notamment le chauffage et la climatisation et la mobilité), les bâtiments pourraient avoir un rôle à jouer en apportant de la flexibilité pour le réseau, pour maintenir l'équilibre offre/demande. Le bâtiment pourrait également à une autre échelle, soulager un quartier ou une zone avec une électrification des usages importantes ou beaucoup d'énergies renouvelables intermittentes décentralisées.

Les bâtiments pourraient être amenés à avoir d'autres qualités à avoir que leur efficacité énergétique ou empreinte carbone. Leur capacité à offrir de la flexibilité sur plusieurs échelles (bâtiment, quartier, zone, réseau électrique français) peut être un atout pour réussir notre transition énergétique.

2.2.2 LA MONTEE EN PUISSANCE DES ENERGIES RENOUVELABLES

L'essor des énergies éoliennes et photovoltaïques modifiera profondément le fonctionnement du système électrique (source : Bilan prévisionnel RTE 2015, conférence SEE [2]). À long terme, la progression de la pénétration de ces énergies d'origine renouvelable est appelée à continuer, des incertitudes demeurant cependant sur leur rythme d'installation. Ainsi, les scénarios prospectifs qui avaient été établis par RTE à

l'occasion du Bilan prévisionnel 2014, 2015 et 2016 retenaient en France des capacités installées en 2030 comprises entre 12 et 24 GW pour le photovoltaïque, et entre 22 et 37 GW pour l'éolien (terrestre et en mer). A l'aune de la nouvelle PPE, il faudrait rajouter 12 GW de photovoltaïque. Les conditions climatiques, vitesse du vent, ensoleillement ayant un impact direct sur la production des moyens éoliens et photovoltaïques, celle-ci est variable et délicate à prévoir précisément. Au fur et à mesure de la progression du photovoltaïque et de l'éolien, ces caractéristiques modifieront de plus en plus profondément le fonctionnement du système électrique, soulevant des questions tant techniques qu'économiques.

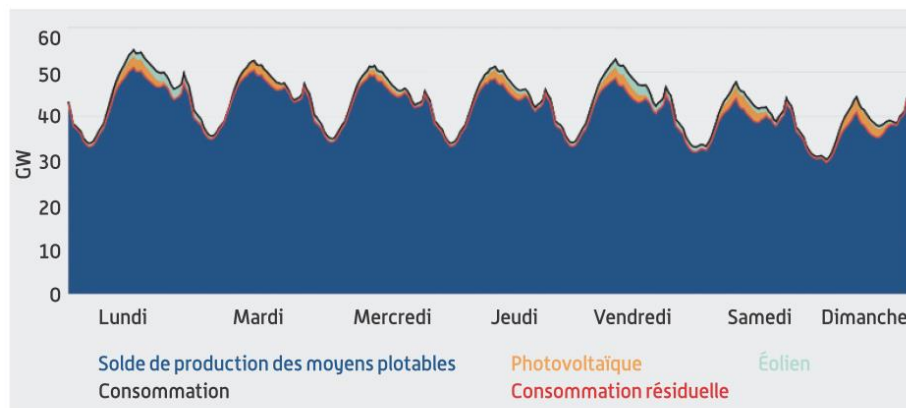
Si, de facto, les acteurs du système électrique doivent de plus en plus apprendre à piloter les autres moyens à leur disposition (moyens de production thermiques ou hydrauliques, interconnexions, effacements ou stockage), en fonction de l'évolution de la consommation résiduelle, c'est-à-dire de la consommation brute diminuée de la production fatale 1, cela concerne également ceux qui conçoivent et exploitent l'immobilier d'entreprise, investisseurs, promoteurs, bureaux d'études et entreprises générales au travers de solutions techniques flexibles à mettre en place.

La montée des énergies renouvelables prévues pour les années à venir nécessite de la flexibilité pour assurer l'équilibre du réseau électrique.

2.2.3 EQUILIBRE OFFRE/DEMANDE

La problématique de la flexibilité est l'un des grands enjeux induits par le développement du parc renouvelable. Plus la consommation résiduelle est variable, plus les productions pilotables doivent être flexibles afin de suivre les évolutions de la consommation résiduelle et de garantir l'équilibre offre/demande à tout instant. Les besoins de flexibilité sont donc intrinsèquement liés à la variabilité de la consommation résiduelle. La Figure 2 et Figure 3 illustrent la différence entre la consommation électrique brute et la consommation électrique résiduelle.

Illustration de la définition retenue pour la consommation résiduelle
Semaine du lundi 5 août au dimanche 11 août 2013 en France



Source : RTE 2015.

Figure 2 : Production électrique, entre moyen pilotables et non pilotables sur une semaine d'août 2013 [2].

Illustration de la définition retenue pour la consommation résiduelle

Semaine du lundi 24 juillet au dimanche 30 juillet 2030 dans le scénario « nouveau mix » du bilan RTE 2014 en France

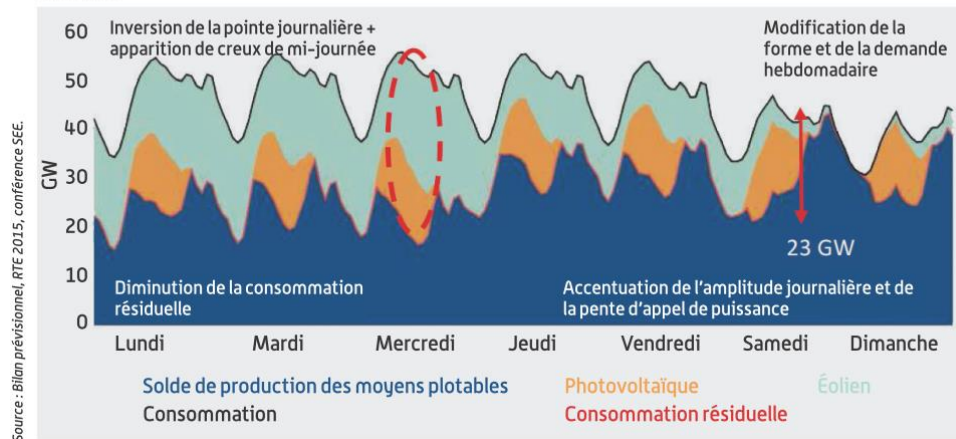


Figure 3: Prédiction de la production électrique entre moyen pilotables et non pilotables sur une semaine de juillet 2030 [2]

En commentaire, la capacité installée en photovoltaïque sera supérieure à cette prévision de 12 GW, ce qui augmentera les creux en milieux de journée (voir le Tableau 1 suivant issu de la PPE actualisée).

	2023		2028	
Hydroélectricité	25,7	26,4	26,7	
Eolien terrestre	24,1	33,2	34,7	
Eolien en mer	2,4	5,2	6,2	
Photovoltaïque	20,1	35,1	44	
Electricité à partir de biomasse solide	0,8	0,8	0,8	
Electricité à partir de biogaz-méthanisation	0,27	0,34	0,41	
Géothermie électrique	0,0024	0,0024	0,0024	
Autres énergies marines (marémoteur, hydroliennes ...)	0,24	0,24	0,24	
Total	73,6	101	113	

Tableau 1: Objectifs PPE en matière de production d'électricité renouvelable par filière (en GW)[3]

L'énergie résiduelle, altérée par les énergies renouvelables, sera l'énergie à maîtriser pour maintenir l'équilibre offre/demande du réseau.

2.2.4 POINTES QUOTIDIENNES

La structure de la consommation résiduelle est alors très différente de sa structure actuelle. En effet, avec un tel niveau de capacité installée, la production fatale des énergies renouvelables est très importante et fait fortement baisser la consommation résiduelle. Outre son niveau, la forme de la consommation résiduelle est, elle aussi, modifiée : la production photovoltaïque contribue à créer un nouveau creux en milieu de journée, tandis que la production éolienne atténue la périodicité hebdomadaire de la consommation. L'écart journalier entre le maximum et le minimum de la consommation résiduelle peut également augmenter (sur la Figure 3, c'est le cas le samedi).

Dans ce contexte, plusieurs points notables apparaissent :

- Il existe de forts enjeux liés à la thématique de la flexibilité, avec deux périodicités, une journalière, l'autre hebdomadaire ;
- Plus la consommation résiduelle est variable, plus les moyens pilotables devront être flexibles ;
- Des pointes « techniques » quotidiennes qui peuvent apparaître trois, voire quatre, fois par jour obligent le système électrique à des réponses rapides (souvent bien inférieures à la minute), peu compatibles avec l'inertie des productions classiques existantes et peuvent mettre à mal la sécurité et la sûreté du réseau électrique.

Les pointes quotidiennes ne seront plus uniquement les pointes de consommations classiques, avec l'arrivée des énergies renouvelables.

2.2.5 ELECTRIFICATION DES USAGES

La décarbonation des bâtiments est par ailleurs susceptible d'impliquer une forte électrification des bâtiments et donc potentiellement accroître les enjeux d'équilibre offre demande. Comme l'illustre la Figure 4, l'appel de puissance maximum (toutes énergies confondues) à l'échelle nationale est 4 fois supérieur au minimum.

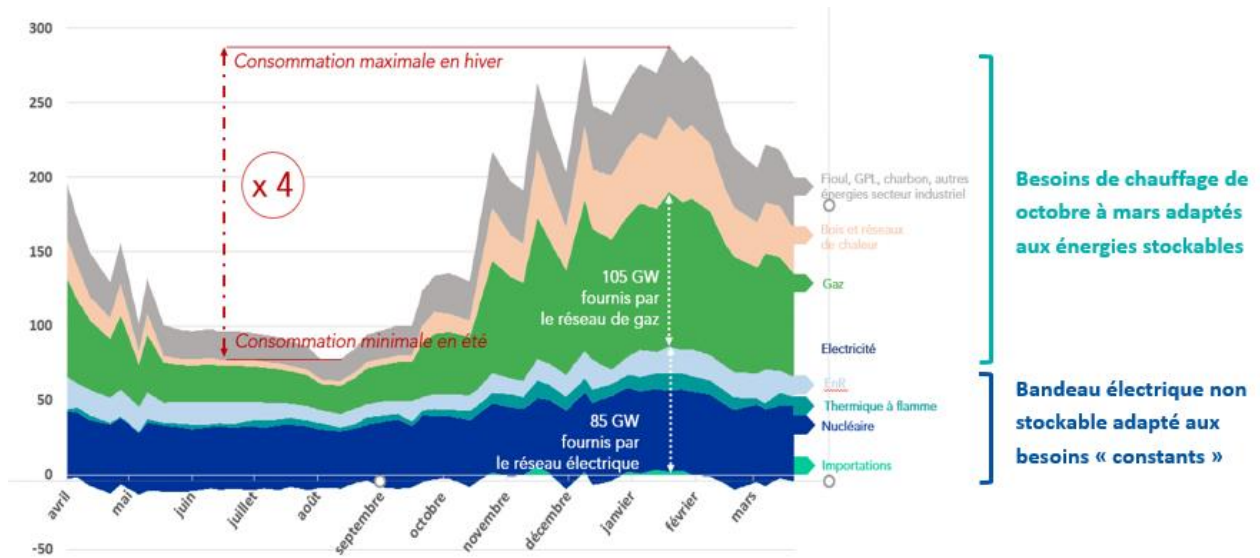


Figure 4: Pointe de puissance hebdomadaire à 8h du matin sur la période du 1er avril 2018 au 31 mars 2019, en GW (Source : GRDF à partir de données de RTE, GRTgaz, TIGF et CEREN) [4]

Notons néanmoins que ce graphique comprend l'ensemble des secteurs (bâtiment, industrie...). Tout l'enjeu étant de se projeter horizon 2030 en tenant compte de l'évolution de la demande en énergie et du mix lié à la décarbonation.

La décarbonation des bâtiments peut donner lieu à une forte électrification des usages du bâtiment, augmentant ainsi les problématiques liées à la pointe hivernale.

2.3 VALORISATION FINANCIERE DE LA FLEXIBILITE ELECTRIQUE

Un site pratiquant de la flexibilité peut être valorisé de deux façons :

- **Capacité (MW)** : le site est rémunéré pour une puissance qu'il s'engage à mettre à disposition (effacement ou modulation à la hausse) sur une plage horaire donnée, activable sur l'ordre de RTE ou d'un agrégateur, un certain temps avant la mise à disposition. La rémunération est faite selon une prime fixe (en €/MW).
- **Energie (MWh)** : le site est rémunéré à la suite d'une activation effective (injection ou effacement de consommation) pour une puissance et une durée déterminée (en €/MWh).

Les deux types de valorisation seront brièvement détaillés dans 2.3.1 et 2.3.2. Des explications plus complètes sont disponibles dans les annexes correspondantes à ces parties.

L'ensemble de ces marchés sont expliqués en Annexe 1 (« 210922_FLEXMDE_Annexe 1_Explications des marchés flex explicite_VF »).

2.3.1 VALORISATION SUR LE MARCHÉ DE CAPACITÉ

Le marché de capacité est un marché donnant de la valeur à une capacité en tant que telle (modulation à la hausse ou effacement). Il permet dans un premier temps de faciliter le maintien de l'équilibre offre/demande sur le réseau électrique. Il permet également d'apporter une rémunération complémentaire à celle provenant du marché de l'énergie. Les différents mécanismes existants ainsi que leur type de rémunération associé sont listés ci-dessous, et détaillés dans les annexes correspondantes.

Mécanismes	Engagements	Rémunération
Mécanisme de capacité	Certification Engagement à être disponible les jours PP2 via le mécanisme d'ajustement ou NEBEF	Prix marginal (enchères EPEX) ou prix de l'offre (gré-à-gré)
Appel d'offres Réserves Rapide et Complémentaire	Appel d'offre annuel Engagement à être disponible sur le mécanisme d'ajustement	Prix marginal
Réserve primaire (FCR – Frequency Containment Reserve)	Appel d'offres journalier en J-1 (FCR coopération) Engagement à moduler automatiquement le processus en fonction de la fréquence	Prix marginal
Réserve secondaire (aFRR – Automatic Frequency Restoration Reserve)	Prescription journalière aux acteurs obligés ou participation via marché secondaire Engagement à moduler automatiquement le processus en fonction d'un signal envoyé par RTE (niveau N)	19 €/MW/h (prescription) ou prix de l'offre (marché secondaire)
Interruptibilité	Appel d'offres annuel Engagement à interrompre votre consommation en moins de 5 ou 30 secondes, pendant plus d'une heure	Prix de l'offre (capé)
Appel d'effacement (mécanisme de soutien)	Appel d'offres annuel Engagement à être disponible sur le mécanisme d'ajustement ou NEBEF.	Prix marginal

Tableau 2: Liste des valorisations sur le marché de capacité

2.3.2 VALORISATION SUR LE MARCHÉ DE L'ÉNERGIE

Les mécanismes disponibles rémunèrent une entité pour l'activation effective d'une puissance électrique (ou d'un effacement) pendant une durée définie. La rémunération sera variable, liée à ces activations. Le tableau ci-dessous liste l'ensemble des mécanismes.

Mécanismes	Engagements	Rémunération
Mécanisme d'ajustement	Appel d'offres continu Activation sur ordre de RTE	Prix de l'offre
NEBEF (Notification d'Echanges de Blocs d'Effacement)	Marché J-1 et intrajournalier Activation sur signal de l'opérateur d'effacement	Prix SPOT
Réserve primaire (FCR – Frequency Containment Reserve)	Activation continue calée sur le niveau de fréquence européen	Prix SPOT
Réserve secondaire (aFRR – Automatic Frequency Restoration Reserve)	Activation continue calée sur le niveau N	Prix SPOT

Tableau 3: Liste des valorisations sur le marché de l'énergie

2.3.3 TABLEAU RECAPITULATIF

Mécanismes d'effacements		
Implicites	Explicites	
Au niveau tarifaire	Sur les marchés en énergie ou capacité	
Diminution de la consommation et rémunération par fournisseur via un tarif adapté	Energie	Capacité
	Rémunération à la suite d'une activation effective pour une puissance ; énergie et durée déterminée	Rémunération d'une puissance mise à disposition sur une plage horaire, suite à un ordre d'activation de RTE ou d'un agrégateur
	€/MWh, rémunération variable	€/MW, prime fixe

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ NEBEF ▪ Mécanisme d'ajustement ▪ Réserves système 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Appels d'offres effacement ▪ Mécanisme de capacité ▪ AO réserve rapide/complémentaire (RR-RC) ▪ AO « Interruptibilité » ▪ Réserves système
--	---	--

Tableau 4: Récapitulatif des valorisations sur les deux marchés [5]

Le Tableau 5 liste les dispositifs par degré de difficulté et par niveau de rémunération pour 2017.

	Dispositif	Mobilisation	Disponibilité (hors effet pool)	Pré-requis	Rémunération fixe (en k€/MW/an)
Cumulable avec les autres produits Du moins au plus contraignant 	Mécanisme de capacité	<ul style="list-style-type: none"> • Prévenance : J-1 (NEBEF) ou H-2h (MA) • Durée : 30' à 10h 	Jours PP2 (ouverts) : 10 à 25 jours sur Q1 + nov + déc	Certification avant l'année de livraison	10 (pour 10h/j, prix enchère 2017)
	AO Effacement	<ul style="list-style-type: none"> • Sollicitation : J-1 • Prévenance : H-2h • Durée : 30' à 2h, 2fois/j 	20 à 60 sollicitations jours ouverts par an	Réponse à l'AO annuel, en niv-dec N pour N+1	10 à 15 (pour 4h/j)
	Réserve complémentaire	<ul style="list-style-type: none"> • Prévenance : H-30' • Durée : 30' à 2h, 2fois/j 	Potentiellement 24h/24 et 7j/7 (sinon baisse de la prime fixe)	Réponse à l'AO annuel, en sept N pour N+1 + agrément nécessaire	15 à 20
	Réserve Rapide	<ul style="list-style-type: none"> • Prévenance : H-9' /13' • Durée : 30' à 2h, 2fois/j 	Potentiellement 24h/24 et 7j/7 (sinon baisse de la prime fixe)	Réponse à l'AO annuel, en sept N pour N+1 + agrément nécessaire	20 à 30
	Réserve primaire	0 à 30% de la puissance sollicitée 95% du temps, réponse en 30 sec	24h/24 7j/7	AO Hebdomadaire Agrément nécessaire	100
	Réserve secondaire	Sollicitation permanente de tout ou partie de la puissance, réponse en 8'	24h/24 7j/7	Accréditation	150

Tableau 5: Classement des dispositifs par degré d'exigence et difficulté [6]

La flexibilité électrique est rémunérée au travers de deux leviers :

- Implicite via la tarification énergétique ;
- Explicite :
 - Marché de l'énergie « un peu tout le temps et toute l'année »
 - Marché de la capacité « se tenir prêt pour sécuriser le réseau »

3 ENQUETE TERRAIN

Nous avons pu nous entretenir avec 2 types d'acteurs : 3 agrégateurs (Voltalis, Eginov et Agregio), un exploitant (Dalkia) et un maître d'ouvrage propriétaire de bâtiments tertiaires (Carrefour).

Les entretiens se sont déroulés autour des mêmes grandes questions et les avis ont dans l'ensemble convergé vers le même chemin de pensée.

Les interviews sont disponibles en intégralité an **Annexe 2** « 210922_FLEXMDE_Annexe 2_Compte rendus interviews_VF ».

3.1 LES BENEFICES DE LA FLEXIBILITE ?

Un constat de départ qui est partagé par tous les interviewés : **peu importe le type de flexibilité, les rémunérations obtenues sont très faibles dans le tertiaire** pour avoir un business model intéressant, et pour concentrer ses efforts dessus.

Ensuite, dans le détail, la flexibilité apporte tout de même des valorisations non nulles.

Voltalis nous rappelle qu'il existe deux types de flexibilité, associées à deux pas de temps différents, répondant à deux besoins différents :

- **Le besoin capacitaire** : Pour faire une autre opération que le délestage de villes par rotations, le marché de capacité a été mis en place. Les capacités sont sollicitées sur 10-15 jours par an, pour des périodes courtes. C'est le dernier rempart avant des situations bien pire, et le but est de « sauver la France ». Historiquement, la France n'a pas eu encore besoin de ces réserves capacitaires mais elles sont testées et il est primordial de les avoir à disposition.
- **Le besoin d'effacement en énergie (ou « flexibilité au quotidien »)** : Cette flexibilité, sur le marché de l'ajustement, sert pour la gestion de l'intermittence ultra fine au sein d'une journée (vent qui varie, soleil, ...). Il peut y avoir 2 – 3 opérations de 10 minutes chacune par jour par exemple.

Voltalis ajoute que le secteur tertiaire ne sera pas le secteur majoritaire pour la « flexibilité au quotidien », mais peut répondre au **besoin capacitaire**. Cet avis peut être mis en relation avec celui de Dalkia, qui constate qu'actuellement la flexibilité explicite est la plus valorisée. En particulier, les appels d'offres effacement et appels d'offres Réserves Rapide et Complémentaire (qui maintenant existent pour le tertiaire) représentent des leviers potentiels à étudier, vu que les revenus générés par ces appels d'offres sont de plus en plus intéressants. De même pour Eginov, l'ensemble de ses clients (industriels et tertiaire) sont sur le marché de capacité.

Le tertiaire semble susceptible de principalement contribuer à la flexibilité, et majoritairement sur le besoin capacitaire.

L'autre type de flexibilité susceptible d'avoir un intérêt dans le tertiaire est la flexibilité implicite. Celle-ci est très simple à mettre en place une fois les opérations de maîtrise de l'énergie réalisées.

Pour Carrefour, les enjeux sont différents. Les opérations réalisées n'avaient pas pour but premier de valoriser financièrement la flexibilité, mais plutôt de l'utiliser en vue des enjeux environnementaux et futures contraintes qui apparaîtront sur le réseau électrique. Bien qu'un contrat entre Carrefour et Agregio existe sur le marché capacitaire (sur 25 bâtiments, représentant 400 kW de contractualisé en hiver), de l'effacement a été testé et mis en place, de la propre initiative de l'exploitant, expert en gestion immobilière et technique. Sur une période d'expérimentation de décembre 2020 à fin mars 2021, des effacements ont été réalisés sur le CVC des galeries marchandes, avec plus de 4 000 ordres d'effacement sur cette période (environ 3 effacements par jour). En moyenne 500 kW ont été effacés, et même 1 MW en été. L'effet rebond (augmentation des consommations liée à une limite des usages) n'était pas existant grâce aux redémarrages en cascade. (CF annexe pour l'interview complète). Les rémunérations avec Agregio sont de 3 000 €/an, avec un prix moyen du MWh effacé de 40 €/MWh. Cela représente une économie de 0,05 % sur la facture énergétique du périmètre, qui est de 6 M€/an. Et les économies réalisées via l'expérimentation d'effacement sont de **8% sur la facture énergétique, soit 100 k€/an**, net, sans aucun retour négatif des clients. « *Et je pense même pouvoir réaliser plus d'effacements* ». Ici donc, Carrefour génère des économies d'énergies, qui sont possibles et ont été identifiées grâce à des opérations de flexibilité.

Le tertiaire peut constituer un gisement de flexibilité significatif. La valorisation explicite (via des agrégateurs semble très faible). La valorisation implicite (puissance souscrite et économies d'énergies) ne semble pas anodine (8 % constatés par Carrefour).

3.2 LA FLEXIBILITE REPRESENTE-T-ELLE UN FREIN POUR LA MAITRISE DE L'ENERGIE ?

Dalkia nous rappelle qu'avec le contexte réglementaire actuel exigeant sur les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ (objectifs PPE, décret tertiaire ...), les opérations de flexibilité ne peuvent pas permettre aux bâtiments et industriels de passer outre ces réglementations.

Les témoignages convergent sur ce point : la flexibilité, comme la maîtrise de l'énergie, sont deux composantes pour amener nos bâtiments et industries vers l'intelligence énergétique. Pour y parvenir, comme Equinov l'explique très bien, il faut être capable de comprendre ses consommations, être capable de consommer moins (sobriété énergétique et performance énergétique), mais également consommer mieux, c'est-à-dire contrôler ses appels de puissances et être capable de s'effacer et de consommer à des moments opportuns pour le réseau électrique. La maîtrise de l'énergie comme la flexibilité sont deux composantes pour atteindre cette intelligence. Et le moyen pour y parvenir est d'avoir l'infrastructure permettant une supervision et une opérabilité très réactive des bâtiments et des procédés énergivores. Commencer par la flexibilité énergétique ou par la maîtrise de l'énergie importe peu vu que l'objectif est de faire les deux.

Peu importe le type de flexibilité, les revenus générés par celle-ci sont trop faibles dans le tertiaire pour permettre de ne faire que ce genre d'opérations. Bien au contraire, supplanter la maîtrise de l'énergie pour faire de la flexibilité n'a aucun sens. La MDE est bien plus rémunératrice. La flexibilité rémunère moins mais aide à mieux comprendre ses consommations et maîtriser ses appels de puissance.

La MDE et la Flexibilité semblent complémentaires : consommer moins et mieux.

D'autre part, comme il a été mentionné plus haut, les revenus obtenus par la flexibilité sont trop faibles par rapport aux économies d'énergie et gains associés qui sont réalisables. Voltalis nous le rappelle bien : « *L'énergie coûte cher et la flexibilité n'apporte pas assez de moyens financiers pour être au-dessus de la MDE. Ça n'a absolument aucun sens d'augmenter son gisement de flexibilité et ses consommations pour faire de la flexibilité. La différence de coût est énorme.* » De plus, la seule flexibilité actuelle qui est la plus valorisée est celle sur le marché capacitaire, soit des épisodes de flexibilité peu fréquents durant l'année. Cela ne gêne en rien les pratiques de maîtrise de l'énergie. Les deux sujets peuvent travailler de pair. La flexibilité peut aussi se présenter sous une autre forme. Il peut juste s'agir de mettre à un régime plus bas les groupes froids ou d'allumer une lampe sur deux. Ce genre de changements, comme le rappelle Dalkia, est plus sur le mode de consommation et sur les habitudes. C'est une démarche totalement compatible avec des opérations de maîtrise de l'énergie.

Carrefour également nous rappelle qu'il ne s'agit pas ici de favoriser la flexibilité par rapport à la maîtrise de l'énergie ou inversement. Il est plus intéressant de les voir avec des synergies :

- **Les deux sujets nécessitent le même niveau d'opérabilité.** Il faut avoir les infrastructures pour pouvoir suivre ses consommations et les contrôler.
- **Des complémentarités existent.** « *Pour ma part, j'ai des objectifs de performance énergétique à atteindre sur mon périmètre. Je réalise donc dans un premier temps des opérations de MDE et met en place une stratégie long terme qui se décline sur plusieurs années. Et lorsqu'il y a des épisodes où la météo demande une forte consommation énergétique (canicule ou grand froid), je réalise de la flexibilité pour remplir mes objectifs.* »
- **De la maîtrise de l'énergie est faisable grâce à la flexibilité.** Avec les expériences que Carrefour a réalisées, un tunnel de confort a pu être identifié, permettant d'arrêter des appareils durant une durée déterminée, dans lequel le confort reste inchangé. Les gains réalisés sont nets (8% sur la facture énergétique) et les opérations de maîtrise de l'énergie n'auraient pas pu amener à la découverte et l'identification précise de ce tunnel.
- **La flexibilité a une dimension stratégique, comme la maîtrise de l'énergie.** Elle permet d'ajuster ses consommations avec les opérations de MDE pour accomplir ses objectifs. Mais elle a également un impact sur l'image de l'entreprise. Les effacements réalisés devant être des effacements verts, la RSE peut tout à fait se servir de ces actions. Et avec la montée des Positive Incentive Loan (prêts et subventions que l'on peut obtenir si le taux d'émissions de CO₂ est sous un seuil) comme le rappelle Dalkia, la flexibilité peut permettre de ne consommer de l'électricité que lorsque la part d'énergies renouvelables dans le réseau est forte.

Il est important de noter que ces opérations nécessitent une infrastructure importante et développée. Comme Carrefour qui s'est inspiré de l'instrumentation existante dans le milieu industriel et de solutions via un cloud et des automates, les témoins (et en particulier Carrefour) poussent fortement le tertiaire à

s'équiper pour atteindre un haut niveau d'opérabilité et de maîtrise de ses consommations. « *Mon périmètre est maintenant piloté avec des automates communiquant avec un datacenter. Je travaille en Hypervision, en ayant un regard sur l'ensemble et un contrôle précis (à la seconde près) sur l'ensemble des installations. A l'image des sites industriels qui ont un contrôle précis sur leurs process, je possède une instrumentation précise pour un meilleur contrôle de mon périmètre. En plus de surveiller l'état des appareils et leurs consommations, je peux donner des ordres de fonctionnement précis avec une grande réactivité.* » (Carrefour).

La flexibilité permet de trouver des gisements de maîtrise de l'énergie et a également une dimension stratégique qui complète les actions de MDE.

L'activation d'une flexibilité sur un bâtiment tertiaire semble impliquer des externalités positives favorables à la MDE

Il y a donc deux cas de figures constatés :

1 – Le bâtiment est très peu équipé en terme de mesure, pilotage et monitoring. Faire des actions de flexibilité permet de mettre le « pied à l'étrier » en vue de prochaines actions de MDE.

2 – Le bâtiment est équipé pour faire de la MDE. Dans ce cas, la flexibilité représente des gains supplémentaires et permet d'optimiser son instrumentation pour mieux contrôler ses consommations, mieux les comprendre et aller encore plus loin.

3.3 DANS LE FUTUR, LA FLEXIBILITE DEVIENDRA-T-ELLE INEXISTANTE A CAUSE DE LA MAITRISE DE L'ENERGIE ?

Les bâtiments devenant de plus en plus performants, les gisements de flexibilité diminueront. En revanche, pour tous les points cités ci-dessus et du fait que le parc va mettre du temps à se rénover, il est important de prendre des mesures maintenant. Cet avis est partagé par tous les témoignages. De plus, au vu des objectifs de la PPE sur la flexibilité (6,5 GW en effacement activable d'ici 2028) et de l'intégration massive des énergies renouvelables en France, comme Dalkia le dit, « *toute flexibilité sera bonne à prendre.* » Et les gisements de flexibilité, bien que réduits, seront assemblés pools et utilisés pour la stabilité du réseau. Si les infrastructures sont déjà mises en place, il sera possible de piloter un grand parc, à l'image de ce que fait actuellement l'expert en gestion technique et immobilière sur tout son périmètre, représentant un grand nombre de galeries en France, pilotables à la seconde près. Dans un futur où il y a un réel besoin de

flexibilité, plus les opérations de maîtrise de l'énergie seront avancées, et plus les bâtiments devront être agrégés en pools pour réaliser de la flexibilité.

De plus, les bouleversements climatiques apporteront des pics de chaleurs ou de grand froid. De nouveaux moments de tension sur le réseau électrique apparaîtront. *« Et ces périodes peuvent ne pas être en corrélation avec les périodes de forte production d'énergie renouvelable. La flexibilité aura donc un rôle important pour la stabilité du réseau, même si les gisements seront moins importants. »* (Carrefour).

En plus des autres avantages stratégiques de la flexibilité qui fait qu'elle ne sera pas supprimée selon Carrefour, le développement toujours croissant des technologies de l'information et de l'internet des objets permettra de mieux piloter les bâtiments. La flexibilité sera encore plus simple à réaliser au fur et à mesure des avancées technologiques.

Carrefour ajoute également que le besoin de flexibilité est crucial pour le futur. *« En plus de pousser le tertiaire à obtenir des infrastructures pour mieux piloter ses bâtiments, il me semble important de rendre obligatoire par décret (comme le décret BACS) qu'à partir d'une certaine puissance à définir, les bâtiments doivent avoir un projet d'effacement vert. Ceci permettrait non seulement d'obliger l'instrumentation nécessaire pour réaliser ces effacements (et donc augmenter l'opérabilité), mais également d'éliminer l'effacement par groupe électrogène. »* Il est également intéressant et nécessaire de *« regrouper les bâtiments en pools avec une courbe de charge cumulée plutôt que de continuer avec des courbes de charges par bâtiment. Cela pourrait permettre d'intégrer tous les compteurs (profilés et non profilés), obtenir des potentiels de flexibilité plus conséquents (par le nombre de bâtiments plutôt que par gisement d'effacement), et par conséquent accélérer la transition vers la flexibilité verte. »*

Dans le futur, les gisements de flexibilité seront plus faibles. Mais comme les besoins en flexibilité sont susceptibles d'être grandissants, toute flexibilité sera bonne à prendre. Il faudra donc fonctionner en pools de bâtiments pour augmenter la flexibilité activable. Et les opérations de maîtrise de l'énergie ainsi que les avancées dans l'instrumentation des bâtiments du tertiaire permettront ces agrégations de bâtiments.

Le besoin de flexibilité peut devenir important et des actions sont déjà à mettre en place pour pouvoir avoir ce potentiel de flexibilité mobilisable. Rendre obligatoire l'étude de gisements de flexibilité à travers des décrets ou autres textes de loi peut être d'un grand intérêt pour le futur.

4 ETUDES DE CAS SUR DES BATIMENTS PERFORMANTS

Nous avons analysé deux études de cas pour estimer les niveaux de rémunérations liés à la flexibilité électrique d'un bâtiment tertiaire performant.

Ces études ont été réalisées par ENGIE Lab CRIGEN et par Dalkia.

4.1 ENGIE LAB CRIGEN : WOOPA

Le WOOPA à Villeurbanne est un bâtiment BEPOS (à énergie positive). Il a été programmé en 2007 et a été inauguré en 2012. Il cumule une surface de 11 000 m² et a coûté 20,9 M€ HT. C'est donc un bâtiment très performant.



Figure 5: Vue extérieure du WOOPA [7]

Il est équipé d'une micro-cogénération de 63 kW thermiques et 30 kWe avec un ballon de stockage de 1 900 L, de trois chaudières à granulés de 32 kW chacune, d'une chaudière d'appoint en gaz à condensation de 600 kW, et d'un rafraîchissement directement fait via une nappe phréatique. L'étude s'est concentrée sur la partie Bureaux du bâtiment (de 8 800 m²) et avait pour but d'étudier la flexibilité via une simulation thermique dynamique.

Plusieurs appels de flexibilité ont été utilisés afin de représenter leurs valorisations sur les différents marchés :

- L'ordre est envoyé à J-1 et la flexibilité est réalisée à J+1, J+2 ou J+3.
- L'ordre est envoyé à J-1 pour décaler des consommations de 4 à 6h prévues en début de matinée ou en soirée vers le milieu de la journée ou le creux la nuit (équivalent du système heures pleines/heures creuses).
- L'ordre est envoyé avec entre 5 et 10 minutes de préavis, pour une flexibilité durant 1 à 2 heures, plusieurs fois par jour (se rapproche d'une réserve secondaire).

Des niveaux de flexibilité ont été également mis en place, allant d'une flexibilité « invisible » qui permet de maintenir le bâtiment dans le tunnel de confort jusqu'à une flexibilité indispensable à réaliser et ne prenant pas en compte le confort.

Il est remarqué que toutes les flexibilités ne donnant pas d'inconfort ont déplacé des consommations, ont eu des faibles rebonds (de l'ordre de 25% de la puissance maximale appelée ces jours-là), et hormis le cas où le préavis est très faible, **des économies ont été réalisées**. Les autres flexibilités générant de l'inconfort ont engendré une légère surconsommation et des rebonds potentiellement plus importants (jusqu'à 40% de la puissance maximale appelée).

Les données permettant une évaluation économique de la flexibilité sont visibles dans le Tableau 6 et sur la Figure 6.

Mécanisme	Gain annuel
Tarif (hors prime fixe)	1 648 €
NEBEF	1 040 €
Marché d'Ajustement (MA)	943 €
Réserve Rapide (RR)	447 €
Mécanisme de Capacité (MDC)	850 €
Puissance électrique maximale appelée	405 kW
Facture énergétique du site	58 300 €

Tableau 6: Résultats des valorisations annuelles de la flexibilité sur le WOOPA [8]

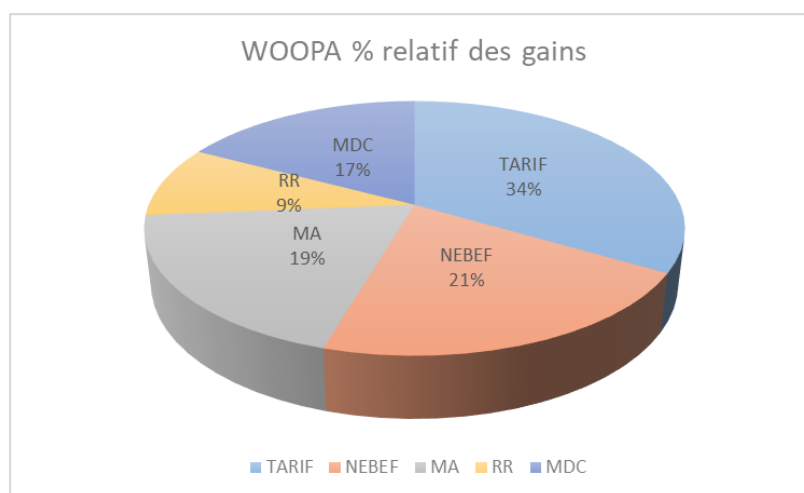


Figure 6: Répartition des gains annuels en flexibilité sur le WOOPA [8]

La cogénération présente permet de favoriser la valorisation sur le NEBEF. **Les gains totaux représentent 8,5% de la facture énergétique du site.**

Avec le WOOPA, le NEBEF et la flexibilité implicite représentent 55% de la valorisation de la flexibilité, soit 4% de gain par rapport à la facture énergétique du site. Ici l'implicite et le NEBEF sont les plus rémunérateur mais ce site est un cas particulier. Il possède un système de cogénération couplé avec des chaudières à granulés. Lorsque la puissance électrique est effacée (sur des périodes plus longues que pour la flexibilité explicite), les chaudières et la partie gaz de la cogénération font office de remplacement.

Même si le bâtiment est performant, il y a tout de même un gisement de flexibilité, qui est principalement valorisé sur le NEBEF grâce à a cogénération.

Ainsi sur ce bâtiment performant, il y a des leviers de flexibilité liés à des probables pistes complémentaires de MDE ou surpuissance des systèmes de production (tunnels de confort), mais surtout à la présence d'ENR (biomasse) et d'une solution de production locale d'électricité (micro cogénération).

4.2 DALKIA : PROJET D'EFFACEMENT TERTIAIRE

Dalkia a choisi une tranche de 10 000 m² de bureaux, provenant d'un ensemble immobilier avec 50 000 m² de bureaux, situé en Ile-de-France. Il a été rénové en 2014 et possède les labels BBC Rénovation et HQE.

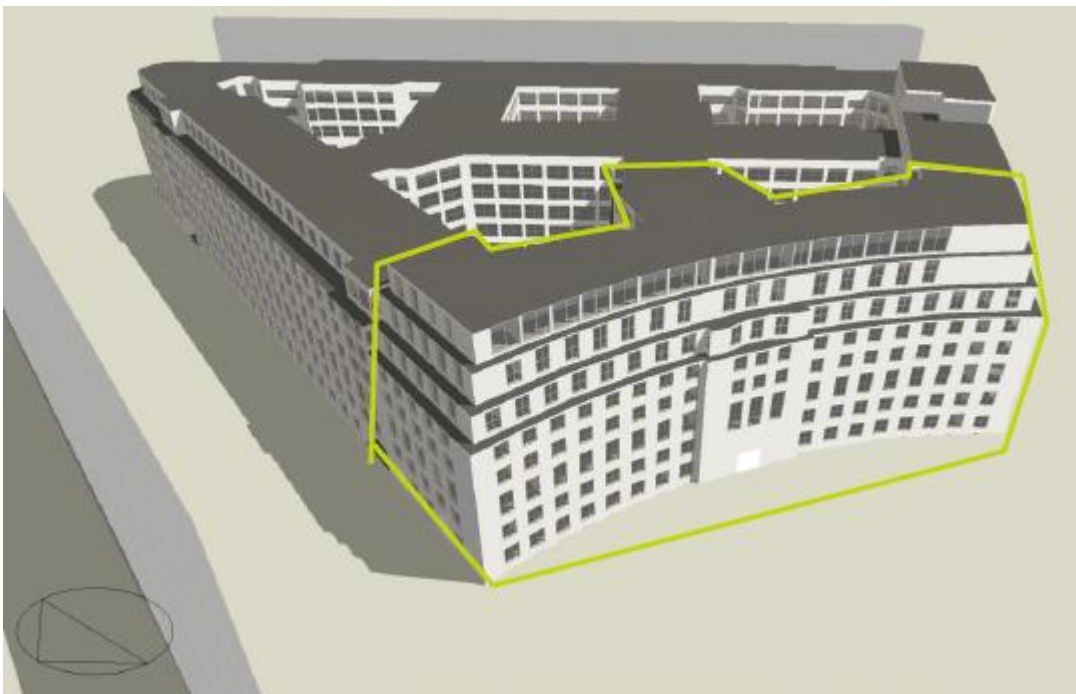


Figure 7: Vue de la partie étudiée du bâtiment [9]

L'étude a consisté à étudier les flexibilités natives du bâtiment, et de rechercher et tester ses capacités de flexibilité sur des durées d'observation courtes (périodes en hiver) comme longues (tout au long de l'année). Les actions ont été concentrées sur le chauffage, la climatisation et l'éclairage. Le bâtiment possède une faible inertie thermique, due à l'isolation par l'intérieur et la présence des faux-plafonds et faux-planchers dans l'ensemble des locaux. Le bâtiment fonctionne en tout-électrique.

De cette étude, Dalkia a conclu que les bâtiments à faible inertie ne peuvent s'effacer que sur des heures de pointes, et que donc simuler ces bâtiments et ses consommations pour de la flexibilité est inutile. Il est possible de directement associer les heures de pointes de consommation avec les potentiels de flexibilité. Autre point, les économies d'énergie sont anecdotiques par rapport aux consommations totales si un minimum de confort est maintenu. Et l'effacement électrique de l'éclairage des circulations est quasiment inexistant. Selon l'étude, un bâtiment de 10 000 m² à faible inertie possède 3% de sa consommation totale effaçable sur une année (plus de 30 MWh effaçables sur l'année, sur 1 010 MWh de consommation totale dans l'exemple choisi par l'étude).

Les données permettant une évaluation économique de la flexibilité sont visibles dans le Tableau 7 et la Figure 8.

Mécanisme	Gain annuel
Tarif (hors prime fixe)	725 €
NEBEF	130 €
Marché d'Ajustement (MA)	559 €
Réserve Rapide (RR)	1 455 €
Mécanisme de Capacité (MDC)	1 000 €
Puissance électrique maximale appelée	540 kW
Facture énergétique du site	56 085 €

Tableau 7: Résultats des valorisations annuelles de la flexibilité [9]

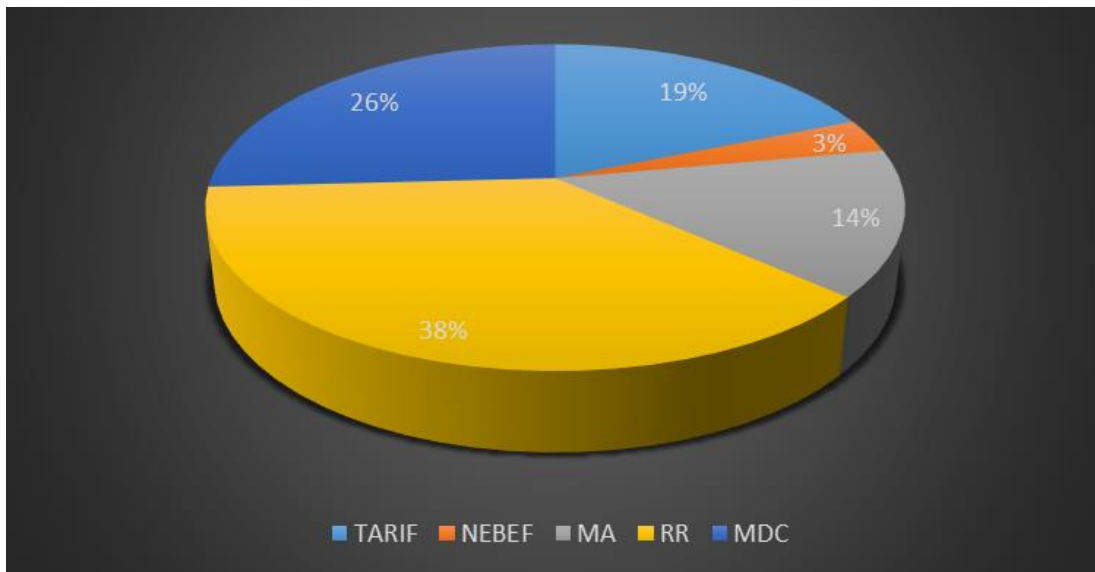


Figure 8: Répartition des gains annuels en flexibilité [9]

Etant en tout électrique, le bâtiment peut donc être sur la réserve rapide, plus rémunératrice. **Les gains totaux ne représentent que 6,9% de la facture d'énergie du site.**

A travers l'exemple de Dalkia, nous pouvons observer dans un premier temps que même pour un bâtiment très efficace énergétiquement, il y a un gisement de flexibilité.

Le marché de capacité et la réserve rapide représentent 64% de la valorisation de la flexibilité, soit 3,5% de gain par rapport à la facture énergétique du site. Cette flexibilité est peu sensible à la maîtrise de l'énergie et est la plus rémunératrice dans ce cas.

4.3 SYNTHÈSE

Synthèse : même dans ces deux bâtiments performant des gisements de flexibilité ont été identifiés.

Les leviers de flexibilité sont liés :

- A des surpuissances des systèmes de production énergétique ainsi que des leviers complémentaires de MDE encore inexploités. Ces deux points combinés permettent systématiquement de travailler sur des tunnels de confort et de générer des économies d'énergies encore non exploités.
- A la présence d'énergies renouvelables ou systèmes de production d'électricité

Les gains liés à la flexibilité avoisinent les 10% d'économies sur la facture énergétique

Les marchés utilisés pour valoriser la flexibilité dépendent du type d'installation dans le site concerné. Sauf dans le cas où de nouvelles installations sont programmées, le choix des marchés à utiliser est prédéfini dès la phase de conception. Il est donc possible de définir un profilage / des usages favorables à des types de flexibilité.

5 APPROCHE THEORIQUE

5.1 LA MDE PERMET-ELLE DE DIMINUER LE BESOIN NATIONAL EN FLEXIBILITE ?

RTE et l'Ademe ont récemment livré les conclusions d'une étude [10] visant à évaluer les scénarios possibles pour décarboner le chauffage dans le secteur du bâtiment à l'horizon 2035.

Pour atteindre la neutralité carbone, la stratégie nationale bas carbone (SNBC) repose, pour le secteur du bâtiment, sur trois piliers :

- L'amélioration de la performance du bâti au travers de normes plus strictes dans les bâtiments neufs et de rénovations des bâtiments existants ;
- L'amélioration du rendement des solutions de chauffage (via des pompes à chaleur par exemple) ;
- Le transfert des systèmes actuels de chauffage utilisant des énergies fossiles vers des solutions bas carbone, dont l'électricité (en plus des réseaux de chaleur, du bois-énergie et du biométhane).

Actuellement, le débat sur les réglementations à mettre en place sur le secteur du bâtiment pour atteindre la neutralité carbone, et notamment la part du chauffage électrique, est particulièrement vif, et ce d'autant plus que de nombreuses politiques (dans le neuf et l'existant) doivent être coordonnées pour obtenir une action efficace sur les émissions de gaz à effet de serre de la France.

Pour éclairer ce débat, l'étude RTE-ADEME, fruit de deux ans de travaux communs, a cherché à évaluer les différents impacts (sur les émissions de CO₂, sur le système électrique et la sécurité d'approvisionnement, ainsi que sur le bilan économique) du scénario SNBC à mi-chemin (horizon 2035) de l'objectif de neutralité carbone, mais également d'un ensemble de « stress-test » en cas de non-atteinte de certains points de la politique publique.

- S'agissant du scénario central de la SNBC, l'étude apporte plusieurs réponses :
- Sur le plan du climat : la mise en œuvre conjointe des trois piliers de la SNBC permet de diviser par deux les émissions du chauffage dans le secteur du bâtiment d'ici 2035, sans pour autant délocaliser les émissions de CO₂ ailleurs en Europe.
- Sur le plan du système électrique : le développement du chauffage électrique par des solutions efficaces comme les pompes à chaleur n'entraîne pas d'impact significatif à l'horizon 2035 (consommation annuelle moyenne et pointe stable ou en légère baisse).
- Sur le plan économique : prioriser les efforts de rénovation vers les logements les plus énergivores (« passoires thermiques ») présente un fort intérêt.

S'agissant des stress-test, l'étude apporte des éclairages complémentaires :

- Sur le plan du climat : la non-atteinte d'une seule des dimensions étudiées (efficacité du bâti, performance des solutions de chauffage, bascule vers des solutions de chauffage bas-carbone dont l'électricité) conduit à un retard par rapport à la trajectoire de la SNBC. Chacune de ces trois actions a toutefois un effet bénéfique sur la réduction des émissions.
- Sur le plan du système électrique : la pointe de consommation serait en légère hausse (de l'ordre de +2 à +6 % dans 15 ans) si les réglementations sur les bâtiments qui orientent vers l'électricité et d'autres vecteurs bas-carbone ne parviennent pas à y associer une bonne isolation du bâti et des équipements de chauffage efficaces. Les échéances à 15 ans permettent en toute hypothèse d'identifier des solutions à ces questions, au travers de moyens de production ou de flexibilités.

Notons que dans les scénarios les plus contraints, le maintien d'un haut niveau de sécurité d'alimentation implique un développement particulièrement poussé des flexibilités, atteignable sur le plan théorique mais à de nombreuses conditions techniques, industrielles et sociétales. Les différentes simulations restituées dans l'étude ont montré que les indicateurs sur la pointe électrique « à une chance sur dix », projetés à l'horizon 2035, s'échelonnaient entre un effet baissier (-3 GW dans le scénario de la SNBC) et haussier (+6 GW dans le scénario où le recours à des solutions électriques s'effectue sans accélération des efforts de rénovation et via des solutions électriques comme les radiateurs à effet Joule plutôt que les pompes à chaleur). Cette incertitude plaide pour que soient poursuivies les politiques visant à développer les leviers de flexibilité sur les usages.

L'étude conclue : « **encourager la flexibilité de la consommation alors que les usages électriques sont amenés à se développer fortement constitue une politique sans regret** ».

Horizon 2035, l'électrification des usages est susceptible d'accroître le besoin en flexibilité sauf si les rénovations énergétiques sont réalisées conformément aux objectifs de la SNBC.

Ainsi la MDE (Maitrise de l'Energie) et les rénovations énergétiques sont essentielles pour limiter le besoin en flexibilité.

5.2 SUR UN SITE EXPLOITE, LES GAINS VIA LA FLEXIBILITE PEUVENT-ILS POUSSER A SURCONSOMMER ?

Pour le cas de la flexibilité implicite, une surconsommation est probable. Une tarification peut tout à fait modifier les comportements et habitudes de consommation (à l'image de la tarification classique « heures pleines » et « heures creuses »). Le facteur décisif pouvant pousser à une surconsommation est celui de la différence de prix entre les périodes. Une forte différence entraînera soit à consommer bien plus dans les périodes les moins chères, soit même à investir dans des systèmes de stockage pour augmenter encore plus sa consommation durant ses périodes, sans pour autant effacer sa consommation pendant les périodes les plus chères.

Dans le cas de la flexibilité explicite, le constat est identique pour la valorisation sur le marché de l'énergie. En revanche, il est peu probable que les comportements soient changés à cause de la flexibilité explicite valorisée sur le marché de capacité. Au vu des spécificités de cette valorisation (appels épisodiques et sur des durées courtes), des changements de comportements dans les consommations d'énergies ne semblent pas arriver.

Nous l'avons vu via les études de cas, les gains totaux générés par la flexibilité ne dépassent pas les 10% de gains par rapport à la facture énergétique du site. Comme Voltalis l'a expliqué, l'énergie a un coût bien plus important que n'importe quelle rémunération possible en flexibilité.

Nous étudierons cet aspect avec l'aide des simulations pour obtenir des réponses.

La flexibilité implicite peut entraîner une surconsommation, tout comme pour la valorisation de la flexibilité explicite sur le marché de l'énergie.

Par contre :

- 1) La flexibilité valorisée sur le marché de capacité, par sa nature, ne semble pas entraîner des surconsommations.**
- 2) L'énergie coûtant bien plus cher que les valorisations de flexibilité, il est préférable d'économiser plutôt que de surconsommer.**

5.3 LA FLEXIBILITE GENERE-T-ELLE DES ECONOMIES ?

Sur les études de cas précédentes, nous avons pu observer des gains de 8,5% sur la facture énergétique pour le WOOPA et 6,9% pour les bureaux étudiés par Dalkia. Ces gains sont légers comparés aux réductions de consommations d'énergies. De plus, seul un stockage thermique ou frigorifique utilisé souvent peut générer une petite surconsommation mais qui est négligeable.

En revanche, Carrefour a montré que la flexibilité a pu générer de réelles économies, en effaçant 8% de la consommation globale du périmètre, soit 100 k€/an net d'économies sans générer le moindre inconfort (grâce à l'inertie des galeries, un pilotage précis et réactif, et des démarrages en cascades).

Le système d'effacement diffus proposé par la société Voltalis a été initié en 2006. Le système repose sur un boîtier installé aujourd'hui dans 100 000 foyers et qui concerne environ 1 million d'équipements. Le boîtier est fixé par un professionnel sur le tableau électrique des logements ; à la réception d'une commande lancée par Voltalis (en cas de demande d'effacement lancé par RTE), le boîtier « débranche » certains appareils raccordés (du type climatiseurs, chauffe-eau, radiateurs électriques, etc.) pendant 10 à 30 minutes. Un espace personnel accessible sur PC, tablettes et smartphones, permet d'obtenir des informations sur la consommation des appareils reliés au boîtier et lui permet un pilotage basique à distance.

Une étude de l'ADEME et du CSTB [11] réalisée **sur un panel d'adhérents Voltalis du secteur résidentiel** évoque un taux d'économie de 5 à 7,6% sur la consommation les jours d'effacement, cette économie portant essentiellement sur le chauffage. Voltalis a été retenue en février 2020 pour la fourniture de 119 MW d'effacement dans le cadre de l'appel d'offres long terme lancé par le MTES et RTE, ce qui lui ouvre l'accès à une rémunération pendant sept ans dans le cadre du mécanisme de capacité. Par ailleurs, l'entreprise a bénéficié en janvier 2020 d'un prêt de 20 millions d'euros de la BEI qui devrait lui permettre de déployer 150 000 boîtiers supplémentaires.

Carrefour, également, en effaçant ses groupes froids notamment dans les centres commerciaux dont il est propriétaire, réalise des gains sur la consommation.

A priori, ces deux retours d'expériences profitent d'apports internes non récupérés par les logements (cuisson, équipements bruns et blancs) et l'autre d'une inertie des locaux.

La flexibilité permet des gains légers (< 10% de la facture énergétique du site) comparé aux opérations de MDE.

En revanche, elle permet de faire également des économies nettes si elle est bien utilisée, sans effet rebond constaté (8% de la consommation globale du périmètre de Carrefour effacée, 5 à 7,6% selon l'étude de l'ADEME et du CSTB).

5.4 LA FLEXIBILITE ENGENDRE-T-ELLE DES EXTERNALITES POSITIVES A LA MDE ?

5.4.1 PROBLEMATIQUE DU DIMENSIONNEMENT

La conception des productions énergétiques est souvent réalisée de façon conventionnelle. C'est le cas par exemple pour le calcul des puissance de chauffage qui ne tient pas compte des apports internes (norme NF EN 12831), mais c'est aussi le cas pour les puissances électriques qui ne tiennent pas compte des retours des réels taux de foisonnement (NFC 15-100). Ainsi, les systèmes énergétiques sont systématiquement surdimensionnés et cela pose certaines contraintes.

- **Des Capex non optimisés** : le surdimensionnement engendre souvent des investissements importants/
- **Des Opex non optimisés** :
 - o Puissance souscrite trop importante
 - o Fonctionnement en charge partielle générant une baisse des rendements de productions, voire des couts de maintenance plus élevés (exemple de courts cycles pour une PAC surdimensionnée)

Un rapport réalisé en 2014 ([Rapport Rex Bâtiments Performants & Risques Octobre 2014](#)) illustre parfaitement les enjeux de surdimensionnement des productions énergétiques.

Un retour d'expérience obtenu par EDF sur 14 bâtiments réels illustre par ailleurs l'enjeu du surdimensionnement des puissances électriques : la puissance électrique installée moyenne est de 167 VA/m², la puissance appelée mesurée est de 66 VA/m² !

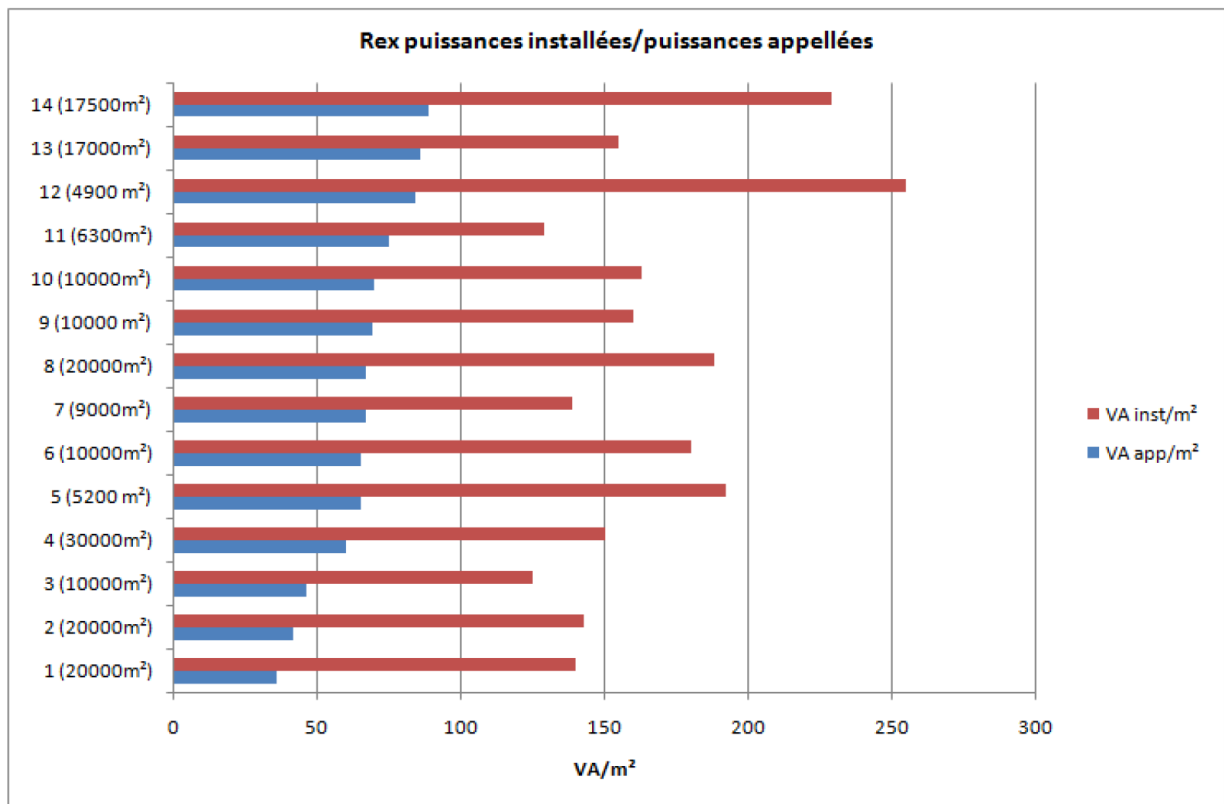


Figure 9: REX puissances électriques installées / Puissances appelées [12]

La « pratique » de la flexibilité permet de **mieux connaître ses puissances appelées** et donc d'avoir un moyen de les optimiser. D'ailleurs cela peut être une offre de type ORI (offre de raccordement intelligent) qui peut entraîner une économie importante sur le CAPEX en obligeant la maîtrise d'œuvre à concevoir de façon moins conservatrice. De plus, la flexibilité permet de contrôler et maîtriser ses appels de puissance.

De la MDE, nous pouvons aller plus loin et vers la « MDP (Maîtrise de la Demande de Puissance) ».

5.4.2 DECOUVERTE DE GISEMENTS D'ECONOMIE D'ENERGIE

A travers le témoignage de Carrefour, il a été vu qu'en réalisant des opérations de flexibilité, il est possible de trouver des gisements d'économie d'énergie (en déterminant des tunnels de confort) qui sont bien plus difficiles à trouver via seulement des opérations de MDE.

5.4.3 INSTRUMENTATION POUR UN MEILLEUR PILOTAGE

Comme Voltalis et Carrefour l'ont mentionné, réaliser de la flexibilité nécessite d'avoir une instrumentation pour visualiser, comprendre et contrôler ses consommations et appels de puissance. Et par rapport à la maîtrise de l'énergie, la flexibilité requiert un degré supplémentaire en contrôle des procédés. En effet, suivant le type de flexibilité, il peut être demandé d'être capable d'arrêter une partie de ses consommations à la seconde près, comme en est capable Carrefour. En plus de démarrer et arrêter aussi rapidement, Carrefour peut également faire redémarrer ou arrêter ses appareils en cascade, contrôlant donc également ses appels de puissance. Cette réactivité n'est pas forcément nécessaire pour les opérations de MDE, et représente donc un bénéfice supplémentaire.

5.4.4 CONSOMMATION AUX MOMENTS OPPORTUNS

Comme Dalkia nous l'a rappelé ainsi que Carrefour, faire de la flexibilité peut également permettre de consommer aux moments où le réseau électrique est composé en majorité d'énergie de source renouvelable. Ceci permet pour des maîtres d'ouvrages et gestionnaires de bâtiments d'avoir un levier supplémentaire aux démarches de MDE pour réduire l'empreinte carbone de leurs bâtiments., et potentiellement avoir accès à des prêts nécessitant un niveau d'émissions de CO₂ bas. Elle peut également permettre d'aider à atteindre les objectifs exigeants du décret tertiaire, en agissant comme un supplément aux actions de MDE. Il est même possible d'envisager que la flexibilité puisse générer des gains de travaux, avec une diminution des tailles d'équipements si la flexibilité est bien utilisée (éviter le surdimensionnement classique en utilisant les leviers comme l'inertie thermique par exemple).

5.4.5 OPTIMISATION D'UNE PRODUCTION DECENTRALISEE

Une autre externalité intéressante s'il y a une production d'énergie renouvelable sur site : une utilisation bien plus efficace de cette énergie. Pouvoir contrôler sa consommation et s'effacer permet de s'accorder avec les besoins du réseau électrique, mais il est totalement possible d'appliquer la même démarche avec la production d'énergie renouvelable sur site. Le bâtiment faisant de la flexibilité peut donc adapter son comportement à la production locale, et donc peut maximiser l'autoconsommation. Le constat est le même pour d'autres leviers tels que le Vehicule to Grid (V2G) ou Vehicule to Building (V2B) ou tout autre système de stockage sur site (stockage électrique comme thermique).

L'analyse de la flexibilité permet d'optimiser les puissances installées, et de mieux contrôler les appels de puissance. Un travail de maîtrise de la demande de puissance (MDP) est possible. Sans maîtrise, la puissance n'est rien.

La volonté de faire de la flexibilité oblige à obtenir une instrumentation aussi complète que pour de la maîtrise de l'énergie, mais avec une réactivité supplémentaire.

La flexibilité permet de consommer aux moments où le réseau est composé en majorité d'énergies renouvelables, et peut créer une baisse supplémentaire des émissions CO₂ du bâtiment.

**Les productions d'énergies renouvelables locales sont mieux optimisées avec de la flexibilité.
L'autoconsommation peut être maximisée.**

5.5 DANS LE FUTUR, UN SITE OPTIMISE PAR LA MDE AURA-T-IL TOUJOURS DES GISEMENTS DE FLEXIBILITE ?

La flexibilité dépend des puissances électriques installées en soutirage et en injection, dans un cas de maison passive ou de bureaux passifs sans besoins de chauffage et/ou de climatisation, la flexibilité est potentiellement faible voire inexistante, même si nos études de cas ont démontré des gisements.

A noter toutefois que c'est un objectif de la PPE dont voici une synthèse et avec les principales mesures suivantes (visibles dans le rapport ADEME E-CUBE sur l'effacement de la consommation électrique [13]) :

- Fixer un objectif de 6,5 GW d'effacement à l'horizon 2028 avec un objectif intermédiaire de 4,5 GW en 2023 ;
- Réaliser des études pour préparer un déploiement possible à plus long terme de l'hydrogène comme solution de flexibilité au service des systèmes électriques et gaziers.

Il faudra donc trouver des leviers rapidement.

5.6 LIEN FLEX MDE, UNE HISTOIRE « SHADOK » ?

Plus les bâtiments font de la MDE, plus leur gisement de flexibilité diminue et plus ils contribuent à diminuer le besoin national en flexibilité. Ainsi, pour un même besoin de flexibilité, le nombre de bâtiment mobilisé (notion de pool) doit être de plus en plus important. Par ailleurs le besoin en flexibilité est susceptible d'évoluer à la hausse ce qui renforce le paradoxe. Ainsi deux options sont possibles.

Option 1 : les bâtiments ne sont pas destinés à contribuer aux besoins de flexibilité nationaux.

Option 2 : les bâtiments doivent y contribuer, et il faut dès à présent entrer dans une logique de massification.

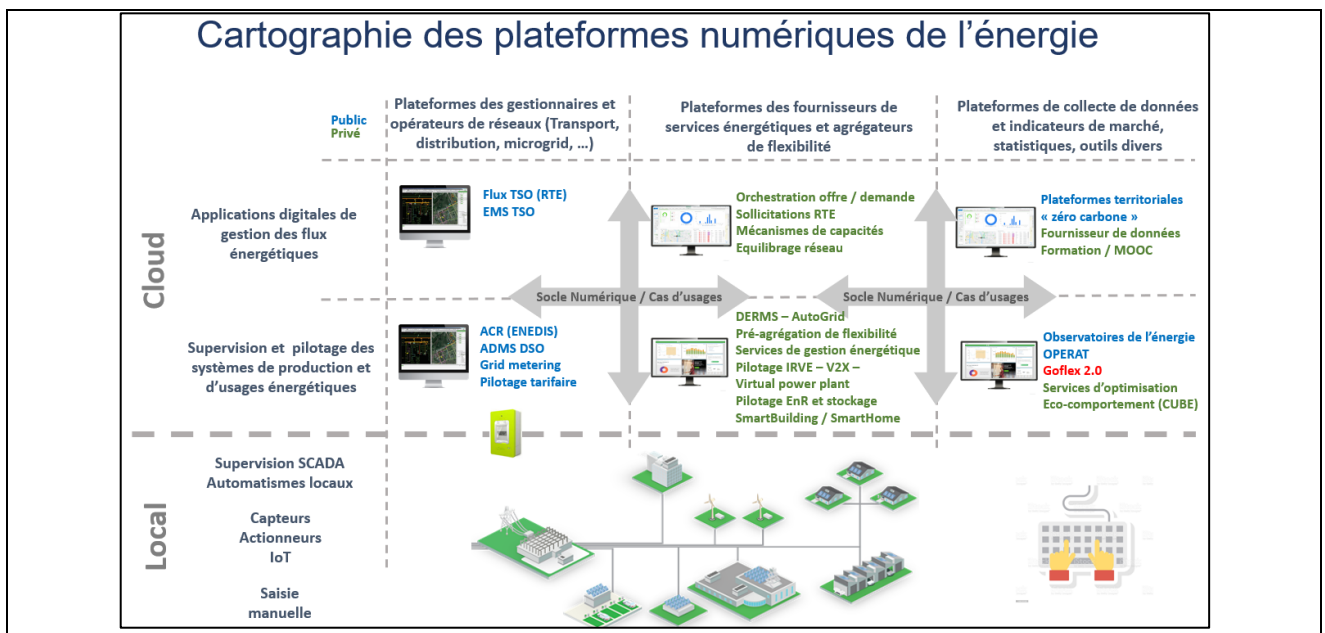
Prenons un exemple qui illustrera la problématique.

Comme mentionné dans l'étude ADEME E-CUBE [13], la prévision pour le secteur tertiaire est de 2,5 GW de flexibilité en 2028. Si nous prenons un gisement de flexibilité par bâtiment de 50 kW actuellement, cela représente un pool de 50 000 bâtiments à mobiliser actuellement. Il faudrait donc entamer des opérations sur ces 50 000 bâtiments. Mais si nous prenons en compte les opérations de MDE réalisées, nous pouvons prédire une diminution du gisement de flexibilité par bâtiment en 2028. Nous le mettrons dans cet exemple à 25 kW, soit une division par 2 du gisement grâce à la MDE. Le potentiel de gisement sur les 50 000 bâtiments initiaux ne sera que de 1,25 GW. Pour atteindre l'objectif, il faudrait donc préparer le double du nombre initial de bâtiments, soit 100 000. **Nous avons ici un problème où pour répondre à l'objectif, il faut fournir un effort bien plus important dès maintenant, sous peine de ne pas avoir les moyens nécessaires dans le futur.**

Si l'on estime que le bâtiment a un rôle à jouer pour la gestion de l'équilibre national offre-demande, il faut donc développer très vite et en masse la flexibilité.

Dans cette optique, il faudra être en logique de pools, donc être capable d'estimer les gisements de flexibilité de chaque bâtiment, et d'être capable de tous les piloter. Il y a donc une nécessité de créer des outils pratiques pour l'identification des gisements de flexibilité et accélérer le décollage du marché, dans le cas où l'on considère que les bâtiments doivent contribuer aux besoins de flexibilité nationaux. Actuellement, le Smart Readiness Indicator (SRI) permet d'évaluer le taux de technologies intelligentes dans le bâtiment, sur tous les domaines (ECS, Chauffage, refroidissement ...) dont la flexibilité et la gestion de la demande. Il permet déjà d'avoir une première idée de la capacité d'un bâtiment à être flexible.

Un autre indicateur plus spécifique à la flexibilité a été créé : l'indicateur GoFlex. Son objectif est de contribuer à faciliter le « scoring » de la flexibilité pour favoriser la connexion entre l'offre et la demande, et aider à développer une meilleure compréhension de la flexibilité électrique par l'ensemble du secteur tertiaire. L'outil a une vocation pédagogique et a pour finalité de permettre à toute personne peu acculturée de comprendre le sujet, de connaître son potentiel de flexibilité et de faciliter la connexion entre l'utilisateur et l'agrégateur. Cet indicateur a d'ailleurs permis de caractériser les volumes de flexibilité dans les études de cas citées. Toutes les informations sur le sujet sont disponibles dans l'étude FLEXENR réalisée par l'IFPEB avec l'ADEME.



Pour que les bâtiments participent et répondent également au besoin, deux options sont possibles.

- 1 – les bâtiments ne sont pas destinés à contribuer aux besoins de flexibilité nationaux. On continue avec les opérations de MDE déjà en place.
- 2 – les bâtiments sont destinés à y contribuer. Il faut donc les équiper maintenant et faire des actions tout de suite pour être capable de générer un potentiel de gisement par un grand nombre de bâtiments.

6 SIMULATIONS : LIEN ENTRE FLEX & MDE ?

6.1 METHODOLOGIE

Pour caractériser les interactions entre flexibilité et maîtrise de l'énergie, des simulations ont été réalisées. Les bâtiments choisis sont du « petit tertiaire » (surface utile inférieure à 1 000 m²), peu performants. Les simulations se basent sur un modèle énergétique du bâtiment créé. Celui-ci est réalisé à l'aide des consommations énergétiques du site, des déperditions et d'autres paramètres fournis. Ce modèle sert ensuite de référence.

Les simulations sont réalisées pour plusieurs configurations :

- Evaluation des dépenses énergétiques et du gisement de flexibilité de la situation de référence,
- Evaluation du gisement de flexibilité avec une régulation optimisée,
- Evaluation du gisement de flexibilité à horizon 2030 avec un scénario suivant le décret éco-énergie tertiaire, qui se décline en 2 configurations :
 - Dimensionnement classique des appareils pour le chauffage et la climatisation,
 - Dimensionnement optimisé des appareils pour le chauffage et la climatisation,
- Evaluation du gisement à horizon 2030 avec un dimensionnement optimisé des appareils pour le chauffage et la climatisation, avec l'ajout stockage thermique, pour :
 - Réaliser des opérations de flexibilité implicite,
 - Réaliser des opérations de flexibilité explicite.

Au travers de ces 4 scénarios, des éléments de réponses seront apportés sur :

- Les gains associés aux actions de MDE et de flexibilité pour plusieurs configurations,
- L'état du potentiel de flexibilité avec une régulation optimisée, puis avec les opérations de MDE réalisées,
- L'impact d'un bon dimensionnement des installations sur la facture énergétique et sur le potentiel de flexibilité.

Des premières conclusions pourront être tirées sur les possibles liens entre la flexibilité et la maîtrise de l'énergie.

L'ensemble des simulations sont détaillées en **Annexe 3** (« 210922_FLEXMDE_Annexe 3_Simulations Energétiques_VF »).

Remarque 1 : Avec les gisements de flexibilité observés, il n'est pas possible de se placer sur les marchés explicites directement. Une agrégation est nécessaire via des pools. Néanmoins les évaluations des gains en flexibilité sur ce marché ont été évalués, mais sont donc théoriques car uniquement accessibles via un agrégateur, et donc avec un potentiel partage des recettes. Ces résultats ne donneront que des ordres de grandeur.

Remarque 2 : des règles spécifiques empêchent le cumul des marchés MA et NEBEF. L'ensemble des gisements ont néanmoins été explorés.

Remarque 3 : sur le cas du siège dans le Morbihan, nous nous sommes concentré sur l'incidence d'un changement de vecteur énergétique. Le basculement d'une chaudière gaz naturel à une solution de type PAC a ainsi été modélisé pour mettre en lumière l'incidence d'une électrification des usages.

6.2 BATIMENTS ETUDIÉS

Bâtiments en Vendée : un siège communautaire et une mairie

Deux des bâtiments choisis ont été proposés par le SyDEV : un siège intercommunalité ainsi qu'une mairie et salle des fêtes en Vendée. L'ensemble des informations fournies sont issues d'audits énergétiques réalisés sur les sites non disponibles car les études sont anonymisées. Nous avons néanmoins détaillé l'ensemble des hypothèses prises.

Pour ces deux bâtiments, l'ensemble des scénarii précédemment présentés ont été simulés.

Bâtiments dans le Morbihan : un siège communautaire et un complexe sportif

Les deux autres bâtiments ont été proposés par Morbihan Energies : un siège communautaire et un complexe sportif dans le Morbihan.

Le siège communautaire est équipée d'une chaufferie au gaz naturel. La simulation s'est ainsi principalement penchée sur les enjeux liés à une électrification des usages (changement de vecteur énergétique).

En ce qui concerne le complexe sportif, le bâtiment est susceptible dans un scénario 2030 d'être chauffé en « tout air ». Nous avons donc souhaité mettre en lumière les enjeux pour activer un gisement de flexibilité dans ce type de cas.

6.3 DIMENSIONNEMENT DES PUISSANCES INSTALLEES

Point important : des infrastructures énergétiques très souvent surdimensionnées

Comme expliqué précédemment, la conception des productions énergétiques est souvent réalisée de façon conventionnelle.

Dans le cas d'une électrification des usages (recours à une PAC), le sujet du surdimensionnement deviendra croissant dans les prochaines années. Nous avons donc intégré cette problématique dans nos simulations.

Le sujet est notamment approfondi dans le cas du siège dans le Morbihan.

6.4 SIEGE INTERCOMMUNALITE EN VENDEE

6.4.1 PRESENTATION DU SITE

Les données générales du site ainsi que des photos sont visible ci-dessous.

Nature du/des bâtiment(s)	Bâtiment de bureaux
Année de construction	1988 avec une première extension en 1996 pour l'étage. En 2007 réhabilitation d'une partie du RDC. En 2013 création de la salle du conseil.
Surface SHON	910.90 m ²
Nombre de niveaux	2 niveaux (RdC + étage)
Occupation	Du lundi au vendredi de 8h à 18h
Nombre d'occupants	35
Confort des usagers	Hormis la zone du SAS d'entrée, les usagers semblent disposer d'un bon confort hivernal et estival.

Tableau 8: Informations générales du bâtiment



Figure 10: photos du site

L'isolation du bâtiment est dans l'ensemble moyenne. Il n'y a qu'une seule salle qui dispose d'une rénovation énergétique performante. En outre, des infiltrations d'air importantes existent au niveau des ouvrants, du faux plafond et des murs. L'audit nous donne des déperditions de 38 kW, impliquant une puissance de chauffage à installer de 46 kW.

Le bâtiment est équipé d'un système de ventilation simple flux. Actuellement, les débits extraits ne permettent pas de respecter le débit réglementaire en occupation.

Le chauffage et la climatisation se fait via une pompe à chaleur et des radiateurs électriques. Le chauffage se fait majoritairement par les émetteurs électriques, et la climatisation via la pompe à chaleur (installation

performante, avec une régulation individuelle). Une régulation centralisée est présente mais ne couvre pas la majorité du bâtiment pour appliquer un réduct de nuit et de weekend sur les émetteurs électriques. La production d'ECS se fait via des accumulateurs électriques, bien dimensionnés pour répondre aux besoins ECS.

L'éclairage se fait majoritairement par des installations anciennes et énergivores (peu de LED), sans gestion de commandes d'allumage optimisée.

A noter, un défaut important d'étanchéité par rapport à l'air extérieur, pratiquement pas de régulation. Température intérieure de consigne retenue, 21°C.

6.4.2 SYNTHÈSE DES SIMULATIONS

Les scénarios suivants ont été simulés :

- Scénario 1 : situation existante, évaluation des gisements de flexibilité
- Scénario 2 : situation existante avec l'installation du GTB performante
- Scénario 3 : situation projetée Eco Energie Tertiaire (-40% d'économies d'énergie)
- Scénario 3bis : ajout d'un ballon de stockage

Nous obtenons en synthèse les résultats suivants :

Désignation	Consommation annuelle en kWh	Coût annuel en € TTC	Gain énergétique annuel en kWh	Gain en coût d'énergie annuel en € TTC	Gain d'exploitation sur les effacements en €
Scénario 1 solution existante de référence	86 899	16 092	4 450 (*)	800 (*)	Capacité : 546
					MA : 152
					NEBEF : 231
Scénario 2 Solution existante avec régulation optimisée	71 311	13 300	15 588	2 792	faible
Scénario n°3 : décret tertiaire	53 956	9 463	32 943	6 629	très faible ou au détriment de la MDE
Scénario n°3bis avec stockage thermique	54 613	9 177	32 286	6 915	Gisement explicite si surdimensionnement de la puissance Sinon la flex est au détriment de la MDE
Solution du scénario n°4 avec ENRR (autoconsommation), stockage thermique (Flex explicite) etc...	non étudié !				

(*) Gain liés aux effacements et donc « implicites »

En synthèse, les bilans économiques sont donc les suivants :

Scénario de référence

- Capex : très faible voire nulle
- Opex :
 - MDE : aucune action menée
 - Flexibilité implicite 5% de la facture énergétique globale de référence
 - Flexibilité explicite d'environ 5% de la facture énergétique globale de référence

Conclusion partielle du scénario 1 : la flexibilité permet des gains avec un très faible capex. Elle se nourrit de gisements potentiels de MDE et les « met en lumière ».

Scénario 2 : régulation optimisée

- Capex : faible
- Opex :
 - MDE : 17% de la facture énergétique globale de référence
 - Flexibilité implicite et explicite faible (non estimé)

Conclusion partielle du scénario 2 : une régulation très optimisée permet des gains plus significatifs. Le gisement de flexibilité devient alors très faible.

Scénario 3 : décret tertiaire

- Capex : élevé
- Opex :
 - MDE : 41% de la facture énergétique globale de référence
 - Flexibilité implicite et explicite très faible ou au détriment de la MDE (non estimé)

Scénario 3bis : décret tertiaire + stockage thermique

- Capex : surcoût très faible par rapport au scénario précédent

- Opex :
 - MDE : 43% de la facture énergétique globale de référence
 - Flexibilité explicite
 - Existante si puissance installée surdimensionnée (non estimée)
 - Très faible ou au détriment de la MDE sinon (non estimée)

Conclusion partielle des scénarii 3 et 3 bis : horizon 2030, un bâtiment très performant présente un gisement de flexibilité très faible. Néanmoins, le bon dimensionnement de la puissance installée devient alors crucial. La mise en place d'un ballon de stockage présente des très nombreux atouts à moindre coûts : optimisation de la puissance installée, optimisation des consommations énergétiques...

6.4.3 CONCLUSION

Une première synthèse montre que **l'effacement diffus permet de générer des économies d'énergies et des gains économiques (ordre de grandeur 8,5%) avec très faible Capex (voire nulle) sur des bâtiments énergivores et mal régulés** (c'est-à-dire n'ayant pas de récupération d'apports internes, sans programmation en fonction de l'occupation, et sans anticipations réalisées par les opérateurs). Si la régulation est en revanche bien faite, l'effacement est moins facile à réaliser.

L'effacement est lié aussi à la performance du bâtiment et à l'aptitude de la régulation à s'adapter (optimisation des relances, anticipation des températures extérieures, bonne récupération des apports internes). En effet, un bâtiment performant thermiquement et bien régulé n'a besoin que de très peu de chauffage. Ce chauffage fonctionne alors pratiquement comme un appoint secours en sus de l'équilibre thermique du bâtiment (déperditions versus apports). Cet appoint secours est difficile à effacer au dernier moment, sans un système de stockage.

Une fois un système de stockage en place, il permet non seulement de profiter de tarifs intéressants (flexibilité implicite) et d'être en dehors des périodes tendues du réseau, mais également de réaliser des opérations de flexibilité explicite, et donc non seulement de limiter les appels de puissance sur le réseau, mais également de le soulager quand celui-ci en a besoin.

6.5 MAIRIE ET SALLE DES FETES EN VENDEE

Ce bâtiment est un jumeau contextuel du site précédent, avec les mêmes pathologies, défauts d'étanchéités.

Les problématiques et résultats sont donc similaires.

6.5.1 PRESENTATION DU SITE

Les données générales du site ainsi que des photos sont visible ci-dessous.

Nature du/des bâtiment(s)	Mairie et salle des fêtes
Année de construction	Ancienne pour la salle des fêtes et extension en 1999
Surface SHON	704 m ²
Nombre de niveaux	2 niveaux (RdC + étage)
Occupation	<p>Mairie : Du lundi au jeudi de 8h30 à 18h Le vendredi de 8h30 à 18h30</p> <p>Salle des fêtes : 3 locations par mois en moyenne</p> <p>Zone réunions : 2 jours par semaine</p>
Nombre d'occupants	<p>Mairie : 8</p> <p>Salle des fêtes : 50 personnes max</p> <p>Zone réunions : 15 personnes</p>
Confort des usagers	Pas d'inconfort durable durant la période estivale.

Tableau 9: Informations générales du site



Figure 11: photos du site

L'isolation de la mairie est dans l'ensemble moyenne. De plus, certains murs et planchers sont dans un état avancé de vétusté. La salle des fêtes ayant subi une rénovation récente (hormis la zone cuisine), sa

performance est relativement correcte (hormis la zone cuisine). La zone réunion a des murs non isolés, un plafond étanche à l'air, et des infiltrations d'air au niveau du plafond. Elle est donc peu performante. Le calcul des déperditions dans l'audit montre une déperdition de 33,7 kW, impliquant une puissance de chauffage à installer de 50,8 kW.

Le système de ventilation est de type simple flux. Actuellement, les débits extraits ne permettent pas de respecter le débit réglementaire en occupation.

Le chauffage se fait via une pompe à chaleur air/eau avec des émetteurs en fonte pour la salle des fêtes et la zone réunion, ainsi qu'un rideau d'air chaud et des panneaux rayonnants pour la mairie. Une régulation permet un démarrage programmé du chauffage via la pompe à chaleur, et une sonde et un thermostat est disponible pour la Mairie. Il n'y a pas de régulation, hormis une sonde intérieure avec une programmation. La consigne intérieure est de 21°C.

La production d'ECS se fait via des accumulateurs électriques, bien dimensionnés pour répondre aux besoins ECS de la salle des fêtes et de la zone réunions. La mairie ne semble pas disposer de production d'ECS.

L'éclairage répond aux besoins mais se fait majoritairement par des installations anciennes et énergivores pour les bureaux de la mairie, et il n'y a pas de commandes d'allumage optimisée pour les sanitaires de la zone réunion.

6.5.1 SYNTHÈSE DES SIMULATIONS

Les scénarios suivants ont été simulés :

- Scénario 1 : situation existante, évaluation des gisements de flexibilité
- Scénario 2 : situation existante avec l'installation du GTB performante
- Scénario 3 : situation projetée Eco Energie Tertiaire (-40% d'économies d'énergie)
- Scénario 3bis : ajout d'un ballon de stockage

Nous obtenons en synthèse les résultats suivants :

Désignation	Consommation annuelle en kWh	Coût annuel en € TTC	Gain énergétique annuel en kWh	Gain en coût d'énergie annuel en € TTC	Gain d'exploitation sur les effacements en €
Scénario 1 solution existante de référence	73 145	13 505	5 340 (*)	960 (*)	Capacité : 390
					MA : 182
					NEBEF : 277
Scénario 2 Solution existante avec régulation optimisée	63 663	11 700	9 482	1 805	faible

Scénario n°3 : décret tertiaire	33 158	5 996	39 987	7 509	très faible ou au détriment de la MDE
Scénario n°3bis avec stockage thermique	34 268	5 616	38 877	7 889	Gisement explicite si surdimensionnement de la puissance Sinon la flex est au détriment de la MDE
Solution du scénario n°4 avec ENRR (autoconsommation), stockage thermique (Flex explicite) etc...	non étudié !				

(*) effacement des consommations (au prorata des consommations de chauffage plus importantes que pour le premier bâtiment étudié (20%) mais avec une puissance appelée inférieure.

En synthèse, les bilans économiques sont les suivants :

Scénario de référence

- Capex : très faible voire nulle
- Opex :
 - MDE : aucune action menée
 - Flexibilité implicite 7% de la facture énergétique globale de référence
 - Flexibilité explicite d'environ 5% de la facture énergétique globale de référence

Conclusion partielle du scénario 1 : la flexibilité permet des gains avec un très faible capex. Elle se nourrit de gisements potentiels de MDE et les met en lumière.

Scénario 2 : régulation optimisée

- Capex : faible
- Opex :
 - MDE : 13,3% de la facture énergétique globale de référence
 - Flexibilité implicite et explicite faible (non estimé)

Conclusion partielle du scénario 2 : une régulation très optimisée permet des gains plus significatifs. Le gisement de flexibilité devient alors très faible.

Scénario 3 : décret tertiaire

- Capex : élevé
- Opex :
 - MDE : 55,6% de la facture énergétique globale de référence
 - Flexibilité implicite et explicite très faible ou au détriment de la MDE (non estimé)

Scénario 3bis : décret tertiaire + stockage thermique

- Capex : surcoût très faible par rapport au scénario précédent
- Opex :
 - MDE : 58,4% de la facture énergétique globale de référence
 - Flexibilité explicite
 - Existante si puissance installée surdimensionnée (non estimée)
 - Très faible ou au détriment de la MDE sinon (non estimée)

Conclusion partielle des scénarii 3 et 3 bis : horizon 2030, un bâtiment très performant présente un gisement de flexibilité très faible. Néanmoins, le bon dimensionnement de la puissance installée devient alors crucial. La mise en place d'un ballon de stockage présente des très nombreux atouts à moindre coûts : optimisation de la puissance installée, optimisation des consommations énergétiques...Le stockage est susceptible d'être utilisé en implicite (optimisation des appels de puissance) et en explicite (effacements, décalage de consommations...).

6.5.2 CONCLUSION

Les conclusions sont les mêmes que le premier site étudié.

6.6 SIEGE DANS LE MORBIHAN

6.6.1 PRESENTATION DU SITE

Les données générales du site ainsi que des photos sont visible ci-dessous.

Nature du/des bâtiment(s)	Siège
Année de construction	2014
Label	Bâtiment RT2012
Surface SHON	911 m ²
Nombre de niveaux	2 niveaux (RdC + étage)
Occupation	Du lundi au vendredi de 8h30 à 12h30 et de 14h à 17h30 Fermé le mardi après-midi, le samedi et le dimanche
Nombre d'occupants	Cf document attaché au rapport « Annexes_Documents_des_batiments_etudies ».

Tableau 10: Informations générales du site



Figure 12: photos du site

Le bâtiment est équipé d'une ventilation double flux, assurée par 3 centrales équipées d'un échangeur haute efficacité (>90%). La ventilation des locaux est gérée par une horloge programmable, et par des clapets de régulation du débit via un taux de CO₂ ou une absence/présence. Le chauffage est réalisé par une chaudière à condensation d'une puissance nominale égale à 60 kW.

Sur ce site, l'étude s'est principalement penchée sur l'incidence d'un changement de vecteur énergétique (basculement en pompe à chaleur). En effet, l'électrification des usages est susceptibles d'impacter les enjeux d'équilibre offre demande nationaux, mais aussi d'apporter potentiellement des solutions si les puissances sont maîtrisées.

6.6.2 SYNTHÈSE DES SIMULATIONS

Deux principaux scénarii ont été étudiés :

- Scénario 1 : basculement en PAC avec une puissance optimisée
- Scénario 2 : basculement en PAC avec puissance surdimensionnée

Les résultats des simulations sont les suivants :

Désignation	Consommation annuelle en kWh	Coût annuel en € TTC	Impact énergétique annuel en kWh	Impact en coût d'énergie annuel en € TTC	Flexibilité
Scénario 1 Deux PAC avec puissance optimisée	56 041	9 979	<i>Sans objet</i>	<i>Sans objet</i>	<i>Sans objet</i>
Scénario 2 Une PAC surdimensionnée	59 762	11 122	3 721	+ 1 143 €	<i>Oui mais non estimé</i>

6.6.3 CONCLUSION

En synthèse :

Si la MDE pousse à changer de vecteur énergétique (gaz naturel → PAC), cela implique alors une légère augmentation du besoin de puissance électrique du site (6 VA/m²).

L'enjeu crucial devient alors le dimensionnement des équipements de puissance.

Si les équipements sont surdimensionnés (malheureusement la pratique courante constatée)

- Capex : surcout équipements
- Opex : surcouts implicite puissance et énergie, mais gains potentiels via des gisements de flexibilité (dûs au surdimensionnement)

Si les équipements sont dimensionnés au plus juste et régulés de façon optimum

- Capex : optimisés
- Opex : optimisés

6.7 COMPLEXE SPORTIF DANS LE MORBIHAN

6.7.1.1 Présentation du bâtiment

Les données générales du site ainsi que des photos sont visible ci-dessous.

Nature du/des bâtiment(s)	Salles omnisport
Année de construction	Salle verte : 1980 Extension salle bleue : 2009 (cf photos ci-dessous)
Label	Bâtiment RT2012
Surface SHON	4 838 m ²
Nombre de niveaux	2 niveaux (RdC + étage)
Occupation	En fonction des zones
Nombre d'occupants	Nombre de salariés : 3 Nombre de visiteurs : variable
Confort des usagers	Confort hivernal et estival perfectibles

Tableau 11: Informations générales du site





Figure 13: photos du site

Les déperditions totales du site sont de 11 kW/°C extérieur. La majorité des déperditions viennent du renouvellement d'air et des vitrages. En additionnant ces postes avec les murs et les plafonds, on obtient 85% des déperditions.

Le système de chauffage est composé d'une chaudière gaz à condensation d'une puissance thermique unitaire entre 400 et 620 kW, possédant une régulation intégrée, en fonction de la température extérieure et d'un planning horaire. La plupart des émetteurs sont des radiateurs hydrauliques en acier, des ventilo-convecteurs et quelques aérothermes. La production d'ECS est assurée par un ballon solaire thermique avec des panneaux solaires et des ballons d'eau chaude liés à la chaudière.

La salle de sport datant de 1980 est ventilée par ventilation naturelle. Aucun système de ventilation n'est présent. La salle de sport de l'extension est ventilée par extraction simple flux et est régulé sur programmation horaire. D'après le technicien elle fonctionnerait 4 heures par jours. La CTA présente dans les salles de réunion n'est pas utilisée car le bruit qu'elle engendre perturbe les usagers. Les vestiaires, les sanitaires et les douches sont ventilé par extraction simple flux fonctionnant en permanence. Le reste des locaux est ventilé naturellement.

Sur ce site, l'étude s'est principalement penchée sur l'incidence d'un changement de vecteur énergétique pour passer sur une solution en « tout air ». En effet, ce type de cas de figure est atypique et a permis de mettre en lumière les leviers et enjeux de flexibilité dans ce type de configuration.

6.7.2 CONCLUSION

Les simulations réalisées aboutissent aux conclusions suivantes :

Si la MDE pousse à changer de vecteur énergétique (gaz naturel → PAC), cela implique alors une augmentation du besoin de puissance électrique du site (13 VA/m²).

Avec un fonctionnement en « tout air » dans un Gymnase, l'effacement est assez difficile à réaliser. Il faut vérifier et maîtriser l'étanchéité du bâtiment et les périodes d'utilisations maximales de novembre à mars peuvent se trouver dans la même période d'effacement que les jours de tension du réseau.

Cette étude d'effacement pourrait être approfondie en fonction de certains paramètres à mettre en œuvre avec l'exploitant du site.

6.8 CONCLUSION DES SIMULATIONS

6.8.1 SYNTHÈSE DES RESULTATS OBTENUS

Nous constatons que les bâtiments tertiaires de type « bureau » ou équivalent peu performants étudiés ici présentent :

- **Un gisement de flexibilité implicite de 5 à 7% en moyenne** par rapport à la facture énergétique du site, gains étant réalisés par l'optimisation des puissances appelées, l'exploitation des tunnels de confort existants sur le site grâce aux apports internes et à l'inertie (avec comme limite l'étanchéité des bâtiments). Il s'agit donc de gains de MDE obtenus grâce à des opérations de flexibilité.
- **Un gisement de flexibilité explicite de 3 à 4% en moyenne** par rapport à la facture énergétique du site. Il est important d'avoir en tête que les prix des garanties de capacités sont très volatiles. Ce résultat ici peut être différent si nous nous basons sur une année où les prix étaient bien plus élevés. Autre point à noter, ces gains sont à répartir entre l'agrégateur et le client.

Ces gains sont réalisables à très faibles Capex, sans aucun achat de système de régulation ou d'appareil en particulier. Ils nécessitent juste d'avoir la connaissance du sujet, d'être capable d'identifier ces gisements et d'appliquer la démarche adaptée pour ces opérations de flexibilité (on/off, changement de la programmation horaire) et de prévoir un système basique de coupure. Les investissements financiers sont donc quasi nuls.

- **Un gain de 15% en moyenne** sur la facture énergétique du site est par ailleurs constaté via **une optimisation de la régulation sur site**. Cette solution est bien plus intéressante que l'exploitation des gisements de flexibilité mais elle nécessitera un Capex.

Dans les scénarios projetés décret tertiaire, les constats sont les suivants :

- **Le gisement de flexibilité devient très faible voire nulle sauf dans certains cas** : soit à cause du surdimensionnement des équipements, soit parce qu'il y a présence d'une énergie renouvelable sur site ou d'un système de stockage utilisés à ces fins. Ces conclusions confirment ce qui a été observé sur les études de cas avec les deux bâtiments performants (Engie et Dalkia) pouvant toujours réaliser des opérations de flexibilité.
- **La mise en place d'un stockage** (même simple et à moindre coût, comme un stockage thermique type ballon d'eau chaude) permet de nombreux bénéfices. En plus de pouvoir **mieux dimensionner la puissance installée des systèmes de chauffage et climatisation** (et donc optimiser les CAPEX), il permet de **réduire les coûts d'opérations** et de **profiter éventuellement de gisement de flexibilité explicite**.
- Les opérations de MDE et l'optimisation de la puissance installée diminue voire réduit à zéro le potentiel de flexibilité. **Néanmoins, tandis que la MDE est réglementée, il n'existe aucun cadre réglementaire limitant les puissances installées.**

Le scénario 2030 optimum semble donc d'avoir une puissance installée optimisée et un système de stockage couplé. Sous cette configuration, le bâtiment aura un faible impact sur les besoins de flexibilité nationaux, et pourra tout de même offrir de la flexibilité à celui-ci et participer à l'équilibre national.

6.8.2 LA MDE PERMET-ELLE DE DIMINUER LE BESOIN NATIONAL EN FLEXIBILITE ?

Les opérations de maîtrise de l'énergie permettent d'optimiser les consommations du site pour maintenir un confort thermique avec le moins d'énergie utilisée. La MDE permet donc bien de réduire le besoin national en flexibilité. En revanche, elle ne résout que partiellement le problème des appels de puissance sur le réseau. En effet, même avec des opérations de MDE poussées, le problème de surdimensionnement des appareils dès la conception n'est pas corrigeable par celles-ci. Bien que les appels sur le réseau soient moins fréquents une fois le bâtiment optimisé, une partie persistera et représente un socle non réductible de besoin en flexibilité du réseau électrique. Hormis avec un système de stockage d'énergie in situ, il ne sera pas possible d'effacer ce besoin.

6.8.3 SUR UN SITE EXPLOITE, LES GAINS VIA LA FLEXIBILITE PEUVENT-ILS POUSSER A SURCONSOMMER ?

A travers les interviews et les simulations, un constat est clair. Il est bien plus intéressant d'économiser de l'énergie que de chercher à réaliser des opérations de flexibilité (quitte à surconsommer). Les opérations de MDE sont bien plus intéressantes financièrement (à court, moyen et long terme) que les opérations de flexibilité. De plus, le cadre réglementaire impose des réductions de consommation d'énergie aux bâtiments. Se concentrer sur la flexibilité électrique n'a pas de sens.

6.8.4 LA FLEXIBILITE GENERE-T-ELLE DES EXTERNALITES POSITIVES A LA MDE ?

Réaliser des opérations de flexibilité permet de s'intéresser au sujet de l'énergie et permet de sensibiliser les acteurs, opérateurs ou autres intervenants dessus (au même titre que la maîtrise de l'énergie). En revanche, la flexibilité permet d'introduire la notion de puissance, et donne des moyens pour mesurer et contrôler ses appels de puissances (ce qui est moins faisable via la maîtrise de l'énergie).

Ensuite, pour être capable de faire de la flexibilité sur un site, celui-ci doit disposer d'appareils de mesure et de moyens pour contrôler ses installations de façon très réactive. Cela se traduit par des systèmes de régulation très basiques et un suivi des appels de puissance. Ces éléments sont justement ceux permettant de réaliser des opérations de maîtrise de l'énergie. **S'équiper pour faire de la flexibilité permet de s'équiper pour faire de la maîtrise de l'énergie.**

En plus de tout cela, réaliser des opérations de flexibilité permet également de réaliser de la maîtrise de l'énergie de façon indirecte. En effet, si l'on garde le confort thermique des usagers comme une contrainte fixée, et qui ne doit pas être changée, une opération de flexibilité demande des arrêts d'équipements durant une certaine période. Et si le confort thermique est maintenu pendant ces arrêts, alors cela peut montrer qu'il n'est pas nécessaire de garder les équipements en marche durant ses périodes. Des économies d'énergies sont donc réalisables, et ce genre de gisements est repérable via la flexibilité. Ceci a été le cas pour Carrefour qui, en essayant de voir jusqu'à combien de temps il était possible de couper ses appareils avant d'impacter le confort, a réussi à caractériser des tunnels de confort, et donc des périodes où il était possible de couper totalement les appareils, et donc réaliser des économies d'énergies. En outre,

ces opérations peuvent également permettre d'observer ses appels de puissances et, via les coupures réalisées, de potentiellement modifier sa puissance souscrite, n'étant plus en accord avec les appels réalisés. Ceci permet de réaliser des économies (financières).

6.8.5 DANS LE FUTUR, UN SITE OPTIMISE PAR LA MDE AURA-T-IL TOUJOURS DES GISEMENTS DE FLEXIBILITE ?

Actuellement, la flexibilité se sert de la non-optimisation des bâtiments pour le chauffage ou de stockages disponibles (ballons...). Il est possible d'utiliser les appareils installés sur sites (d'une grande puissance installée vu que les besoins thermiques sont importants) pour réaliser un certain nombre d'appels et de coupures au cours d'une journée, sur des périodes plus-ou-moins courtes. Plus les opérations de MDE seront avancées, et plus ce gisement de flexibilité diminuera. Dans le futur, celui-ci sera très faible, mais existant.

En revanche, un autre type de gisement de flexibilité est susceptible d'être présent dans le futur. Bien que plus performants, et sauf si les normes et habitudes changent, les bâtiments auront toujours des installations surdimensionnées par rapport à leurs besoins. En utilisant les tunnels de confort, l'inertie et les apports, il sera possible de réaliser des opérations de flexibilité pour soulager le réseau électrique. Et dans un monde où la puissance est rationalisée, les bâtiments pourraient en plus avoir des systèmes de stockages pour totalement s'effacer et consommer qu'aux moments opportuns. La flexibilité change de nature, et devient un levier utilisé à l'aide des équipements sur places, de l'inertie thermique et d'autres moyens pour limiter ses appels et son impact sur le réseau électrique.

La flexibilité ne disparaîtra pas dans un futur où les opérations de MDE sont avancées. Une partie persistera et elle changera de nature.

6.8.6 LIEN ENTRE FLEXIBILITE ET MAITRISE DE L'ENERGIE :

La flexibilité et la maîtrise de l'énergie semblent donc complémentaires. Les deux peuvent être réalisées en même temps ou de façon séparée, et dans ce cas l'un peut servir à l'autre (et inversement). Il est même possible de voir la flexibilité comme un accélérateur pour la MDE et la transition énergétique. En effet, le MDE étant une variable imposée, profiter des bâtiments non-optimisés pour faire de la flexibilité permettra de les équiper plus rapidement et apporte un revenu supplémentaire aux opérations de MDE (qui sont bien plus intéressantes financièrement dans tous les cas). Et dans un futur où les opérations de MDE sont bien avancées, la flexibilité permet de rationaliser ses appels de puissances, et d'utiliser au mieux le site pour cela (via du stockage ou l'inertie thermique du site).

7 CONCLUSION

Dans un contexte où le taux de pénétration des énergies renouvelables dans le réseau électrique est vu à augmenter, être capable de réaliser des opérations de flexibilité électrique permettrait d'aider le réseau électrique afin de respecter l'équilibre offre/demande, et donc la qualité de l'électricité fournie aux usagers.

Au travers de cette étude, plusieurs points ont été identifiés :

- **La flexibilité ne représente en aucun cas un frein à la MDE.** Elle représente au contraire un atout utile et complémentaire pour les opérations de MDE, avec un certain nombre de bénéfices de la flexibilité pour la MDE, à savoir :
 - Une meilleure compréhension des enjeux de puissance des bâtiments,
 - Des gisements d'économies identifiés via de la flexibilité.
- Même si nous sommes dans un scénario où il n'y a pas besoin de flexibilité, il est tout de même possible d'en réaliser via des systèmes de stockage. La flexibilité serait donc ici en complément des opérations de MDE.
- Actuellement, la flexibilité utilise la non-optimisation des bâtiments. Les opérations de MDE vont réduire ce potentiel jusqu'à une valeur minimum. Cependant, une partie persistera et avec une meilleure pilotabilité des systèmes (grâce à la MDE), la flexibilité prendra une autre nature et permettra de mieux contrôler ses appels de puissance, et limiter les sollicitations au réseau électrique (phénomène amplifié si le site dispose d'un système de stockage).

Il apparaît donc que la flexibilité est complémentaire à la MDE et peut ne pas être sollicitée si les conditions citées ci-dessus (MDE réalisée, dimensionnement adapté, mix énergétique prévu) sont réunies. Cela ne veut pas en revanche dire qu'il est pertinent de ne pas s'y intéresser maintenant. Elle peut être vue comme un « filet de sécurité » à la trajectoire actuelle que la France suit, pour soulager le réseau électrique français si les conditions ne sont pas remplies, et permet d'obtenir des avantages immédiats, sans gêner la MDE. Elle permet également de se questionner et de soulever d'autres problèmes, en particulier celui de la gestion de la puissance et du dimensionnement actuel des systèmes, qui donne des appareils bien trop puissants pour les besoins actuels. Il y a donc un réel intérêt pour réaliser les opérations de MDE et de flexibilité de façon conjointe.

8 BIBLIOGRAPHIE

- [1] RTE-IFPEB – « Mécanismes-de-valorisation-des effacements », Présentation du 23 Juin 2017.
- [2] RTE - « Bilan prévisionnel de l'équilibre offre-demande d'électricité en France » Edition 2015. https://www.connaissancedesenergies.org/sites/default/files/pdf-actualites/bilan_previsionnel_2015.pdf
- [3] « 20200422 Programmation pluriannuelle de l'énergie.pdf ». <https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/20200422%20Programmation%20pluriannuelle%20de%20l%27e%CC%81nergie.pdf>
- [4] « Le gaz dans le mix énergétique français ». <https://www.grdf.fr/entreprises/gaz-energie-mix-energetique-francais>
- [5] « Enjeux de la flexibilité pour le réseau électrique et opportunités pour les bâtiments tertiaires » Christallan Briend, RTE. Présentation du 14 Janvier 2020. Version précédente disponible ici : <https://www.ifpeb.fr/wp-content/uploads/2019/03/1-RTE-Flexibilites-tertiaires-2019-03-27.pdf>
- [6] Présentation d'Agregio sur ses offres et accompagnements. Mars 2018.
- [7] « Retrouvez ici tous nos dossiers techniques thématiques », *Le site de WOOPA, le premier bâtiment tertiaire véritablement à énergie positive et zéro carbone*. <http://www.woopa.coop/dossiers/>
- [8] Etude RTE/IFPEB, « Recherche des flexibilités énergétiques », Démarches et tendances. Pierre PICARD – Alexandre DANJOU, Décembre 2016.
- [9] Etude Dalkia IFPEB, « Recherche des flexibilités énergétiques des bâtiments tertiaires performants », Mars 2017.
- [10] « Evaluation de scénarios possibles pour décarboner le chauffage dans le secteur du bâtiment à l'horizon 2035 », RTE. <https://www.rte-france.com/actualites/evaluation-de-scenarios-possibles-pour-decarboner-le-chauffage-dans-le-secteur-du>
- [11] Etude ADEME & CSTB – « L'effacement diffus », Septembre 2014.
- [12] EDF & IFPEB – « Calcul des consommations réelles pour l'optimisation des puissances appelées », Christian GERARD – 2016. https://www.ifpeb.fr/wp-content/uploads/2016/03/EDF_Calcul-des-consommations-r%C3%A9elles.pdf
- [13] « L'évolution des différents prix du carbone », *EnergiesDev Consulting*, août 10, 2020. <https://energiesdev.fr/prix-carbone-co2/>
- [14] « Futures », EEX. <https://www.eex.com/en/market-data/power/futures#%7B%22snippetpicker%22%3A%22EEX%20French%20Power%20Futures%22%7D>
- [15] D. Désveaux, « Le dispositif des Certificats d'Economie d'Energie (CEE) », *OMNEGY*, nov. 04, 2020. <https://omnegy.com/le-dispositif-des-certificats-deconomie-denergie-cee/>
- [16] « Le TURPE 6 est mis en œuvre au 1er août 2021. L'acheminement HTA/BT évolue à cette date en moyenne de +0,91 % HT », *EDF France*, juin 12, 2018. <https://www.edf.fr/collectivites/le-mag/le-mag-collectivites/decryptage-du-marche-de-l-energie/le-turpe-6-est-mis-en-oeuvre-au-1er-aout-2021>

- [17] « TURPE 6 HTA/BT, Tarifs d'Utilisation des Réseaux Publics de distribution d'Electricité, en vigueur au 1er août 2021 », ENEDIS. <https://www.enedis.fr/sites/default/files/documents/pdf/enedis-brochure-tarifaire-turpe6.pdf>
- [18] « Enchères de capacité - les résultats de mars 2021 », *Eqinov*. <https://www.eqinov.com/eqilibreblogenergie/encheres-de-capacite-les-resultats-de-mars-2021/>
- [19] « Mécanismes de marché – Mécanisme d'ajustement : RTE Bilan électrique 2020 ». <https://bilan-electrique-2020.rte-france.com/mecanismes-marches-mecanisme-dajustement/> (consulté le sept. 01, 2021).
- [20] « Barèmes du versement du modèle régulé - RTE Portail Services », *Portail Services RTE*. <https://www.services-rte.com/fr/decouvrez-nos-offres-de-services/baremes-versement-nebef.html>
- [21] « Participer au mécanisme de capacité - RTE Portail Services », *Portail Services RTE*. <https://www.services-rte.com/fr/decouvrez-nos-offres-de-services/participez-au-mecanisme-de-capacite.html>
- [22] « Mieux comprendre le mécanisme de capacité en 3 questions clés », EDF France, juin 12, 2018. <https://www.edf.fr/entreprises/le-mag/le-mag-entreprises/decryptage-du-marche-de-l-energie/mieux-comprendre-le-mecanisme-de-capacite-en-3-questions-cles>
- [23] « Réserves rapide et complémentaire : résultats de l'appel d'offres 2021 - RTE Portail Services », *Portail Services RTE*. <https://www.services-rte.com/fr/actualites/reserves-rapide-et-complementaire-resultats-de-l-appel-d-offres-2021.html>
- [24] « Services système et mécanisme d'ajustement ». <https://www.cre.fr/Electricite/Reseaux-d-electricite/services-systeme-et-mecanisme-d-ajustement>
- [25] « L'appel d'offres interruptibilité - RTE Portail Services », *Portail Services RTE*. <https://www.services-rte.com/fr/decouvrez-nos-offres-de-services/l-appel-d-offres-interruptibilite.html>
- [26] « Contrat d'effacement- Conditions générales » RTE. <https://www.services-rte.com/files/live/sites/services-rte/files/pdf/effacements/AOE-2021-Modele-de-contrat-v2.pdf>
- [27] « Rapport-synthese-AOE-2020.pdf ». <https://www.services-rte.com/files/live/sites/services-rte/files/pdf/effacements/Rapport-synthese-AOE-2020.pdf>
- [28] « Volumes annuels d'électricité activés sur le mécanisme d'ajustement (2004 à 2020) ».
- [29] « Valoriser des effacements sur le marché NEBEF - RTE Portail Services », *Portail Services RTE*. <https://www.services-rte.com/fr/decouvrez-nos-offres-de-services/valorisez-des-effacements-nebef.html>
- [30] « Mécanismes de marché – Effacements : RTE Bilan électrique 2020 ». <https://bilan-electrique-2020.rte-france.com/mecanisme-marches-effacements/#>

9 REDACTEURS & REMERCIEMENTS

Remerciements

Nous souhaitons tout d'abord mentionner que cette étude a été financée par le programme ACTEE, sous le pilotage de la FNCCR, nous remercions à ce titre :



- Guillaume Perrin Coordinateur national du programme ACTE
- Lionel Guy Chef de service ENR & MDE



L'IFPEB remercie les acteurs ayant fourni les données nécessaires pour réaliser l'étude, à savoir :



- Le SyDEV, en la personne de Yann DANDEVILLE, chef de service Développement Innovation à la direction pour la transition énergétique,



- Morbihan Energies, en la personne d'Edouard CEREUIL, responsable du pôle énergie.

Ensuite, l'IFPEB remercie l'ensemble des participants présents aux COPILs, qui ont apportés leurs connaissances et remarques pour l'élaboration de cette étude, à savoir :



- Le GIMELEC, en la personne de :
 - Delphine EYRAUD-GALANT, Déléguée Smart Up bâtiments,
 - Joël Vormus, Directeur des affaires publiques et délégué Smart UP IT Power.
 - Thierry DJAHEL, Directeur du développement et de la prospection Schneider Electric,
 - Sébastien Meunier, VP relations institutionnelles ABB France.

Nous remercions l'ensemble des acteurs du domaine qui ont accepté de nous accorder du temps pour réaliser des interviews sur le sujet :

- Eqinov, en la personne de Natacha HAKWIK, Co-fondatrice et Directrice Générale,
- Voltalis, en la personne de Mathieu BINEAU, CEO,
- Dalkia, en la personne de Romain DROUART, Ingénieur études/chef de projets,
- Carrefour, en la personne de Lionel GEORGES, Expert en gestion immobilière et technique,
- Agregio, en la personne de Geoffroy TURLAIS, Directeur Optimisation et Marchés.

L'IFPEB remercie également l'ensemble de son équipe et de ses membres pour leur contribution.

Merci également aux relecteurs qui ont apporté leurs remarques pour cette étude, à savoir :

- Thierry DJAHEL Schneider Electric
- Jean-Baptiste PAQUIEN IFPEB
- Siham GHALEM TANI IFPEB

Rédacteurs

Christophe Rodriguez – Directeur Général Adjoint – IFPEB

Mehdi Miftah – Consultant Energie et Carbone – IFPEB

Christian Gérard – Expert Energie – EDF