



Août
2021

FLEXENR

06/08/2021

Projet FLEXENR – Note de synthèse

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

Fourniture de la note de synthèse à T+24 de la
convention n° 1904C0002_AT

En partenariat avec :



REMERCIEMENTS

Christophe RODRIGUEZ (IFPEB)
Jérémy ANTUNES (IFPEB)
Cédric BOREL (IFPEB)
Sandrine BEAUBIAT (DALKIA)
Philippe POLART (DALKIA)
Maxime RAYNAUD (CSTB)
Thierry GUIOT (CSTB)
Anthony REY (CSTB)
Stéphanie DEROUINEAU (CSTB)
Olivier MIGEON (SETEC)
Christallan BRIEND (RTE)
Nadine BERTHOMIEU (ADEME)
Frédéric ROSENSTEIN (ADEME)
Etienne LATIMIER (ADEME)
Edouard CEREUIL (MORBIHAN ENERGIES)
Pierrick MANDROU (EDF)
Jérôme LE DREAU (UNIVERSITE LA ROCHELLE)
Simon MARTINEZ (UNIVERSITE LA ROCHELLE)
Romain DROUART (DALKIA)
Rodrigue CORSAIRE (AVELTYS)
Guillaume PARISOT (AVELTYS)
Damien MATHIS (AI ENVIRONNEMENT)
Thomas KUHN (ENEDIS)

CITATION DE CE RAPPORT

Auteur(s) : Jean-Baptiste PAQUIEN, Christophe Rodriguez (IFPEB), Maxime Raynaud (CSTB)

2021. Note de synthèse

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME
20, avenue du Grésillé
BP 90406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : Convention n°1904C0002

Étude réalisée par Jean-Baptiste PAQUIEN (IFPEB) pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : Jean-Baptiste PAQUIEN (IFPEB)

Appel à projet de recherche : Bâtiments Responsables 2018

Coordination technique - ADEME : Nadine BERTHOMIEU
ingénieur Service Réseau Energies Renouvelables



SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1. Enjeux | 4 |
| 2. Objectifs | 4 |
| 3. Contexte du projet | 5 |
| 3.1. <i>Choix des opérations & contexte d'études</i> | 5 |
| 3.2. <i>Méthodes et scénarios</i> | 6 |
| 4. Les enseignements du projet | 8 |
| 4.1. <i>Quelle définition de la flexibilité ?</i> | 8 |
| 4.2. <i>Un besoin de pédagogie</i> | 9 |
| 4.3. <i>Modélisation des gisements de flexibilité</i> | 9 |
| 4.4. <i>Qualification des gisements de flexibilité</i> | 10 |
| 4.5. <i>Valorisation financière</i> | 13 |
| 4.6. <i>Impact sur le confort des utilisateurs</i> | 13 |
| 4.7. <i>Impacts énergétiques et environnemental</i> | 14 |
| 4.8. <i>Flexibilité électrique & Maitrise de la Demande en Energie</i> | 15 |
| 5. Productions complémentaires | 16 |
| 5.1. <i>Cahier des charges flex ready</i> | 16 |
| 5.2. <i>Guide d'analyse des usages</i> | 16 |
| 6. Conclusions | 17 |
| 6.1. <i>Le bâtiment, une brique intelligente du réseau de demain</i> | 17 |
| 6.2. <i>Massifier la flexibilité tertiaire : quels leviers ?</i> | 17 |



1. Enjeux

Le système électrique est exploité de manière à garantir l'équilibre entre l'offre et la demande en adaptant principalement le fonctionnement des moyens de production à la demande en électricité. Le développement du solaire et de l'éolien dans le mix de production électrique devrait entraîner des modifications dans le fonctionnement du système électrique. En effet, la production de ces énergies renouvelables possède la particularité d'être non pilotable et intermittente ce qui induit une variabilité dans la production et plus particulièrement de la demande résiduelle (demande brute diminuée de la production fatale liée aux énergies renouvelables).

Et cette variabilité devant augmenter dans les années à venir avec l'accroissement des parts du solaire et de l'éolien dans le mix, les acteurs du système électrique doivent par conséquent développer des moyens tels que les effacements, le stockage, les interconnexions, pour pouvoir s'adapter.

La **Flexibilité Electrique**, i.e. la modulation de la demande électrique, est un instrument de sécurisation et de régulation du réseau qui favorise l'intégration des énergies renouvelables et apparaît alors comme une des solutions afin de s'adapter à l'évolution du mix électrique français.

Quel rôle le secteur du bâtiment, et plus particulièrement celui du tertiaire de bureaux, pourrait-il jouer dans ces futurs besoins de flexibilité électrique ?

2. Objectifs

FLEXENR (« **Flexibilités Tertiaires pour la Pénétration des Energies Renouvelables** ») est un projet d'étude s'intéressant à la pertinence des flexibilités électriques de bâtiments tertiaires de bureaux dans le cadre de l'augmentation des besoins de flexibilité liée à l'accroissement des énergies renouvelables dans le mix électrique.

Le contexte de production énergétique évolue avec l'intégration croissantes d'énergies non pilotables nécessitant une flexibilité de la demande.

Le contexte de la demande et notamment dans le secteur tertiaire évolue également avec les obligations réglementaires que représentent le dispositif Eco énergie tertiaire (anciennement nommé décret tertiaire) ainsi que le décret BACS.

La maîtrise de la demande est donc un fort enjeu dans le secteur tertiaire avec deux objectifs :

- Atteindre les objectifs du dispositif éco énergie tertiaire¹ dans le cadre d'une démarche de sobriété énergétique s'inscrivant pleinement dans la SNBC. Afin d'atteindre cet objectif établissant une obligation de résultats, il sera alors nécessaire de maîtriser son énergie, connaître ses consommations (ne serait-ce que pour les remonter sur OPERAT), comprendre sa courbe de charge, et déployer les moyens techniques permettant de repérer des dérives énergétiques (leur mise en œuvre peut relever d'une stratégie volontaire ou d'une obligation pour tous les assujettis au décret BACS) ;
- Intégrer les énergies renouvelables dans le réseau grâce à une consommation raisonnée (le consommer moins) et intelligente (le consommer mieux) en utilisant les moyens déployés sur les sites tertiaires. Grâce au dispositif énergie tertiaire, les stratégies de management de l'énergie embarquant des outils d'analyse et pilotage mis en œuvre dans le cadre dispositif éco énergie tertiaire sont également une opportunité pour développer la capacité des bâtiments tertiaire à répondre à des demandes d'effacement provenant du réseau.

¹ Pour rappel les objectifs du dispositif éco énergie tertiaire sont les suivants :

- -40% en 2030
- -50% en 2040
- -60% en 2050

Il est possible de répondre aux objectifs du décret selon deux méthodes : en valeurs relatives ou absolues.

Les partenaires de ce projet d'étude sont :

- L'Institut Français pour la Performance du Bâtiment (IFPEB)
- Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB)
- Dalkia
- Setec

Le projet FLEXENR s'est déroulé sur 2 ans (Janvier 2019 – Février 2021) en ayant pour principal objectif de contribuer à définir un cadre opérationnel de la flexibilité électrique pour les bâtiments tertiaires de bureaux en s'appuyant d'une part, sur la réalisation, par des acteurs extérieurs au consortium, d'études technico-économiques de flexibilité via des simulations énergétiques dynamiques (SED) et d'autre part, le développement d'un guide d'analyse des gisements de flexibilité d'un bâtiment et d'un cahier des charges fonctionnel.

L'étude de projets concrets a permis de constituer une communauté d'acteurs (maîtres d'ouvrages, bureaux d'études, exploitants, agrégateurs, ...) souhaitant développer leur connaissance sur le sujet de la flexibilité électrique dans le tertiaire de bureau. La co-construction des études entre les membres du consortium et cette communauté d'acteurs aura permis de bénéficier de retours terrains, de mieux cerner les freins et les enjeux d'appropriation du sujet par la filière.

3. Contexte du projet

3.1. Choix des opérations & contexte d'études

Le projet avait pour objectif initial d'analyser les flexibilités électriques de 15 bâtiments (10 neufs, 5 existants). Malgré le travail de recrutement fourni, 5 bâtiments récents ou neufs ont finalement pu être étudiés. Il s'agit d'un des enseignements majeurs du projet : la flexibilité est un sujet encore assez méconnu par la profession, perçu comme exploratoire, relevant de la R&D et donc demandant temps et ressources non négligeables. Il fut donc difficile de recruter des projets malgré le réseau des parties prenantes, et malgré la présence de nombreux acteurs intéressés en début de projet.

- Un évènement réunissant beaucoup de participants (cf. photo ci-dessous) a été organisé en mars 2019 dans le but de partager les dernières études sur la flexibilité électrique, présenter le projet FLEXENR et lancer notre appel à candidature pour celui-ci.



- Une présentation, ouverte à tous les intéressés, du cahier des charges des études FLEXENR a été réalisée en juin 2019.
- Nous avons été en discussions avancées avec 19 projets dont 11 jusqu'au stade de la convention.



Au final, 5 équipes ont participé à la réalisation, via des SED, d'études technico-économiques de flexibilité électrique sur un bâtiment de bureaux de leur choix.

| Projet N° | Surface | Typologie | Membres de l'équipe projet |
|-----------|-----------------------|------------------------|---|
| 1 | 2 802 m ² | Bureaux | Pierrick Mandrou, Mathis Derycke (EDF R&D), Edouard Cereuil (Morbihan Energies) |
| 2 | 3 740 m ² | Enseignement & Bureaux | Simon Martinez, Jérôme Le Dréau (Université La Rochelle) |
| 3 | 30 136 m ² | Bureaux | Damien Mathis (AI Environnement) |
| 4 | 24 925 m ² | Bureaux | Romain Drouart (Dalkia), Greenaffair |
| 5 | 32 919 m ² | Bureaux | Rodrigue Corsaire (AveltyS) |

Liste des projets étudiés dans le cadre de FLEXENR

Les points suivants sont à noter sur ces 5 projets :

- Les 5 bâtiments étudiés sont tous des bâtiments récents ou neufs – aucun bâtiment existant n'a été étudié.
- 2 projets sur les 5 ont pu faire l'objet d'analyses complètes et approfondies. Les équipes projets ont rencontrée des difficultés de modélisation, qui n'ont pas rendu possible une analyse finale des tous les projets.

Les freins et difficultés rencontrés par les différentes équipes pour effectuer les études de flexibilité par SED demandées sont un des retours d'expérience de FLEXENR (cf. 4.3). S'agissant des résultats quantitatifs obtenus dans FLEXENR, ceux-ci ne peuvent ainsi être considérés comme représentatifs et sont à prendre comme des tendances qui restent à confirmer.

3.2. Méthodes et scénarios

Les équipes projet ont toutes choisi d'étudier uniquement la flexibilité électrique d'usages thermiques :

- Chauffage pour les 5 projets.
- Climatisation pour 2 projets.

Dans le cadre de FLEXENR, les différentes équipes n'ont étudié que des flexibilités implicites, comme il leur ait été demandé dans le cahier des charges des études qu'il leur a été fourni. Plus précisément dans celui-ci, il leur a été demandé, à partir d'un tarif dynamique élaboré par RTE et ENEDIS pour les années 2012 et 2017 (cf. encadré ci-dessous), de simuler pour ces deux années la mise en œuvre de deux familles de stratégie de flexibilité implicite :

- une appelée « HEBDO » visant à déplacer des consommations sur des journées entières selon une optimisation financière prenant en compte le type tarifaire des jours J-3 à J+3,

- et une autre appelée « HP/HC » visant à déplacer des consommations sur plusieurs heures au sein de la même journée selon une optimisation financière prenant en compte le type tarifaire des heures H-2 à H+2.

Dans le cadre des usages thermiques, ces stratégies de flexibilité se traduisant par des modulations des consignes de chauffage ou de climatisation prévues de ± 2 °C, afin de s'assurer du maintien des conditions intérieures dans un certain tunnel de confort.

Dans le cadre de FLEXENR, RTE et ENEDIS ont élaboré pour les années 2012 et 2017 un tarif dynamique. Celui-ci, inspiré du tarif Tempo, se compose de quatre types de journée en fonction de la tension sur le réseau électrique national :

1. Jour « rouge » (RG) où la tension est forte (niveaux de consommation les plus élevés et situations d'échanges soit en import soit en export parmi les plus faibles), 22 jours par an par construction ;
2. Jour « blanc » (BC) où la tension est élevée (mêmes critères que jour rouge mais jours non retenus comme prioritaires), 43 jours par an par construction ;
3. Jour « bleu » (BE) où la tension est normale, 260 jours par an par construction ;
4. Jour « vert » (VE) où les niveaux de consommations ne sont pas les plus élevés et où la production associée aux EnR est forte, 40 jours par an par construction.

Au sein de ces quatre types de journée, afin de prendre en compte les variations de la tension sur le réseau électrique d'une heure à l'autre, une distinction horaire est également introduite dans le tarif :

1. Heure « de pointe » (PT), 2 heures consécutives placés aux moments les plus critiques pour le réseau lors des jours « rouges » et « blancs » ;
2. Heure « pleine » (HP), heures de référence pour les jours « rouges », « blancs » et « bleus » ;
3. Heure « creuse » (HC), heures où la demande (i.e. consommation) est la plus faible pour les jours « rouges », « blancs » et « bleus » ;
4. Heure « standard » (STD), heures des jours « verts » sans production renouvelable notable ;
5. Heure « d'abondance en EnR » (ENR), heures des jours « verts » présentant un niveau important de production renouvelable.

Le tarif créé se structure ainsi autour de 10 plages tarifaires : VE-ENR, VE-STD, BE-HC, BE-HP, BC-HC, BC-HP, BC-PT, RG-HC, RG-HP et RG-PT.

En association avec la création des calendriers tarifaires pour les années 2012 et 2017, un outil Excel a été développé par RTE et ENEDIS pour permettre d'évaluer une facture globale d'électricité à partir des résultats des SED obtenus (sorties au pas de temps horaire) en intégrant la facturation du fournisseur d'électricité selon le tarif créé (part variable/énergie et part fixe/puissance selon une tarification inspirée du tarif Vert A5 base, ajustée pour la part variable selon les prix SPOT entre 2014 et 2017) ainsi que les tarifs d'utilisation des réseaux publics d'électricité (TURPE) et les différentes taxes (CSPE, CTA et TVA).

RTE et ENEDIS ont également intégré dans cet outil la possibilité d'étudier les impacts sur la facture (part fournisseur et part TURPE) de différentes répartitions de la rémunération entre la part variable et la part fixe (hypothèse : avec l'augmentation de l'autoconsommation de production locale EnR, possibilité d'une augmentation de la rémunération sur la part fixe) :

- 1- répartition actuelle (environ 80 % part variable et 20 % part fixe),
- 2- 80 % part variable, 20 % part fixe,
- 3- 50 % part variable, 50 % part fixe,
- 4- 20 % part variable, 80 % part fixe.



4. Les enseignements du projet

4.1. Quelle définition de la flexibilité ?

La notion même de flexibilité électrique est assez mal connue dans le secteur du bâtiment.

Quelle définition de la flexibilité électrique ?

Notons que la définition même de la flexibilité est très peu connue dans le secteur du bâtiment d'après les échanges que nous avons eu avec différents acteurs au cours du projet.

Nous proposons la définition suivante :

La **Flexibilité Electrique** est la modulation de la demande électrique sur le réseau en vue de sécuriser et de réguler l'équilibre entre la production et la demande sur celui-ci.

Dans la modulation de la demande, nous comptons deux principaux mécanismes :

- L'**effacement** (modulation à la baisse) consistant à diminuer la puissance appelée sur le réseau. Les actions possibles notamment pour un bâtiment sont le décalage de consommation, la baisse de puissance appelée par certains usages (chauffage, ECS par exemple pour bâtiment) ou l'approvisionnement partielle ou totale de l'électricité via une solution de stockage. On diminue la demande lorsque sur le réseau celle-ci dépasse la production.
- La **modulation** à la hausse est une augmentation du soutirage sur le réseau. Pour un bâtiment, en décalant de la consommation, en augmentant la puissance appelée par certains usages ou en ayant recours au chargement de solutions de stockage. On augmente la demande lorsque sur le réseau celle-ci est inférieure à la production.

Il existe deux principaux types de flexibilité :

La Flexibilité implicite : dans ce cadre, le bâtiment est incité via une tarification électrique dynamique, présentant différentes plages tarifaires de coût du kWh et de coût de puissance souscrite (type tarif EJP/TEMPO), à moduler sa puissance en vue d'une optimisation de sa facture. Dans ce cas, le bâtiment ne contractualise qu'avec son fournisseur d'électricité et est rémunéré directement via des économies sur sa facture d'électricité.

La Flexibilité explicite : dans ce cadre, le bâtiment reçoit directement une demande de modulation de sa puissance sur des créneaux donnés, le plus souvent par un agrégateur de flexibilité qui fait l'interface avec les différents mécanismes/marchés (capacité/puissance, énergie) du réseau électrique. Dans ce cas, le bâtiment est engagé de manière contractuelle avec l'agrégateur à mettre en œuvre des flexibilités, il est rémunéré par celui-ci pour celles-ci via une part des rémunérations récupérées sur les différents mécanismes/marchés du réseau. Ceci se fait de manière indépendante de son fournisseur d'électricité et donc de sa facture d'électricité.

Pour rappel, dans le cadre des études de flexibilité menées dans FLEXENR, seule de la flexibilité implicite a été analysée.

4.2. Un besoin de pédagogie

Si le secteur du bâtiment souhaite jouer un rôle dans la gestion de l'équilibre offre demande du réseau national, la « pédagogie de la flexibilité » devra être déployée et mieux maîtrisée par la filière.

- Il en ressort de manière générale que la flexibilité est encore un sujet de niche, peu connu de la profession qui gagnerait à être plus largement partagé et diffusé. La profession a besoin de pédagogie et de partage.
- Dans un but pédagogique, il faudrait simplifier l'approche de ce sujet, le vulgariser et proposer des routines simples sur des usages simples en tests in situ.
- La flexibilité est perçue dans le bâtiment comme une niche, un sujet encore « expérimental ».
- Les différentes possibilités de valorisation économique de la flexibilité d'un bâtiment sont encore méconnues.

La mise en œuvre de la flexibilité doit être une démarche de consommation adaptée au réseau et pensée comme étant la nouvelle norme de consommation : il s'agit en plus de consommer moins de consommer au bon moment, de consommer mieux.

4.3. Modélisation des gisements de flexibilité

Les logiciels de SED couramment utilisés par les sociétés d'ingénierie du bâtiment n'ont pas été pensés pour évaluer les gisements de flexibilité. L'évaluation d'un gisement de flexibilité en passant par une SED est donc longue et potentiellement onéreuse.

- Les logiciels SED ont été conçus pour faire des calculs en énergie et non puissance :
 - La conception même des logiciels SED rend plus simple l'intégration d'entrées d'une *semaine type reproduite tout au long de l'année* (suffisant pour l'énergie) que d'entrées *variables potentiellement sur chaque pas de temps* (par exemple une consigne de chauffage faisant l'objet d'une flexibilisation).
 - Le pas de temps est l'élément revenant le plus souvent lors des discussions. Il est difficile de modéliser sur un pas de temps fin. Même une simulation avec un pas de temps de 10 min intègre par défaut des hypothèses d'apports internes basés sur un pas horaire. Sur le sujet de la puissance, la question du pas de temps devient peut-être encore plus importante que sur la question de l'énergie.
- Les différentes équipes ont fait face à un problème complexe et n'étaient pas familières avec ce type d'études sortant de leurs études habituelles.
- Pour aller plus loin dans une démarche exploratoire R&D, il semble plus adapté de confier les simulations à un seul et même acteur sur un outil adapté afin de lui donner la maîtrise complète des simulations.
- Il faudrait s'orienter de manière générale vers une collecte et analyse de données terrains et utilisation d'outils simple (comme par exemple l'indicateur GOFLEX) dans un objectif de massification notamment sur des bâtiments existants où la pratique de SED est quasiment inexistante aujourd'hui.



4.4. Qualification des gisements de flexibilité

Des gisements de flexibilité du chauffage modestes dans le cas des bâtiments récents analysés.

Rappelons que les bâtiments étudiés étaient récents et présentaient donc des niveaux de consommations de chauffage optimisés par rapports à des bâtiments existants. Sur les deux bâtiments analysés, nous avons pu constater les points suivants :

- Une non-synchronisation entre une majorité des besoins d'effacement du réseau (entre 18h - 20h des jours froids d'hiver ; plages tarifaires aux coûts du kWh les plus élevés dans le tarif dynamique) et les pics d'appels de puissance pour l'usage chauffage (le matin entre 5h – 9h au moment des relances du chauffage) traduisant des puissances appelées par ces bâtiments déjà réduites lors de la plupart des périodes de besoin d'effacement du réseau. Toutefois, nous pouvons noter la présence du pic annuel de consommation sur le réseau national en 2017 sur un créneau du matin à 8h (sur cette heure, effacement de la puissance de chauffage appelée par les deux bâtiments entre 30 % et 50 % avec la stratégie de flexibilité « HP/HC »).
- Des puissances maximales effacées de chauffage représentant en ordre de grandeur environ la moitié des puissances maximales de chauffage appelées.
- Des consommations d'électricité déplacées restant modestes (autour de 5 % de la consommation annuelle au périmètre chauffage et de l'ordre du % à l'échelle tous usages).

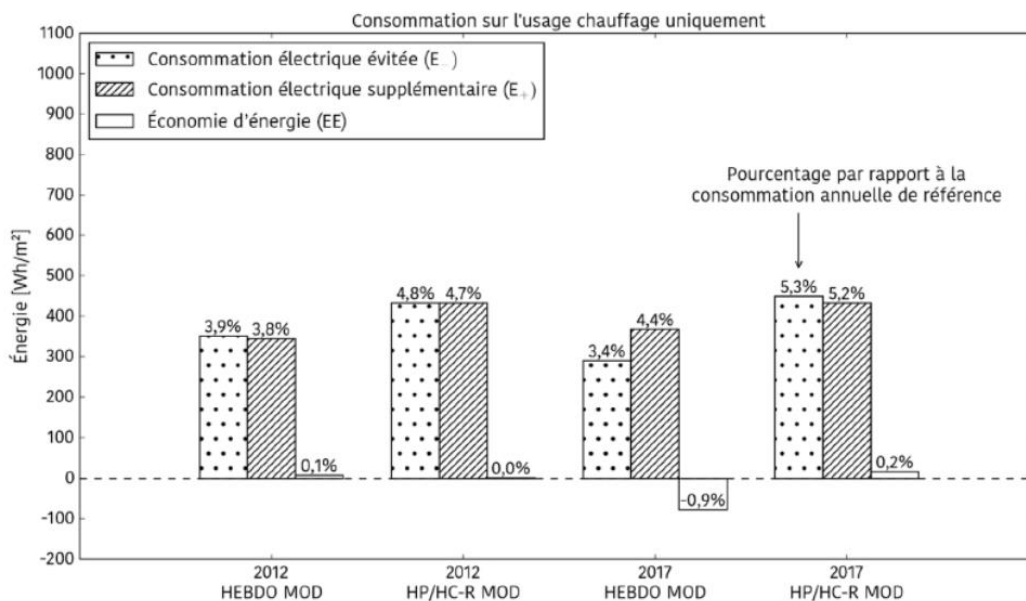


Figure 4-28 – Projet no. 2 – configuration de base : impact au travers des indicateurs énergétiques à l'échelle du chauffage uniquement²⁵

Aide à la lecture du graphique : la stratégie de flexibilité « HP/HC-R MOD » engendre, par rapport à la situation de référence sans flexibilité, au périmètre des consommations de chauffage, pour l'année 2017, 5.3 % de consommation d'électricité évitée et 5.2 % de consommation d'électricité supplémentaire amenant à un bilan de 0.2 % de la consommation annuelle d'électricité économisée.

Sur ces deux bâtiments, les études de flexibilité ont été menées uniquement sur l'usage chauffage. Nous avons néanmoins pu noter que d'autres usages sont très prometteurs comme par exemple la mobilité électrique (vehicle to grid).

L'autoconsommation, en l'absence d'une gestion spécifique des batteries, n'amène pas d'effacements synchrones avec les besoins de flexibilité du réseau.

L'étude d'une variante autoconsommation via un assemblage PV + batteries a montré qu'en l'absence d'une gestion spécifique des batteries, les importantes consommations d'énergie évitées sur le réseau ne le sont pas lors des moments de plus fortes tensions sur le réseau (i.e. de besoin d'effacement, plages tarifaires rouge-pointe (RG-PT) et blanc-pointe (BC-PT)), voire le sont sur des moments où le réseau aurait besoin que le bâtiment consomme plus (vert-ENR (VE-ENR)).

Le graphique ci-dessous montre les économies annuelles d'énergie réalisées dans la plage tarifaire par rapport à la situation de référence sans flex.

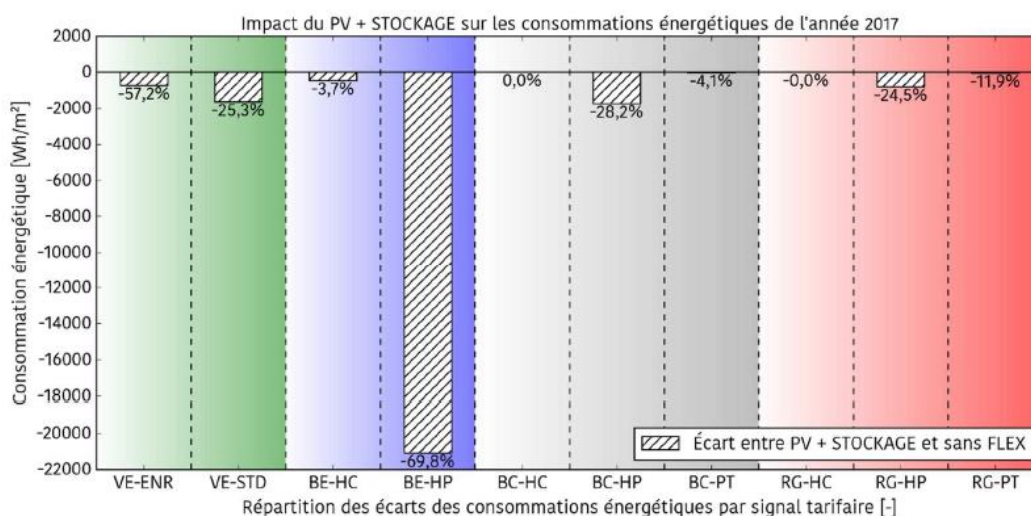


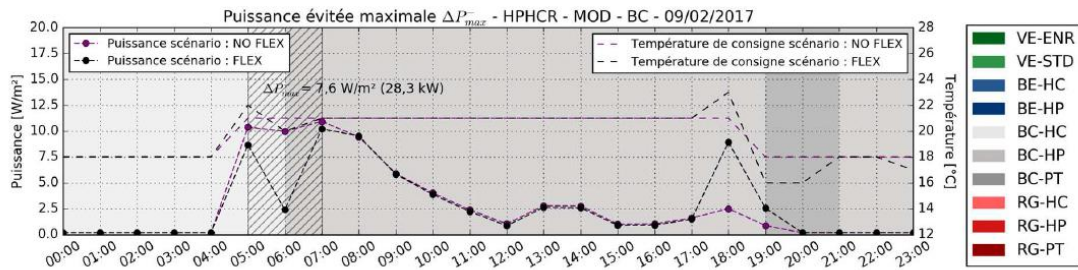
Figure 4-20 – Projet no. 1 – variante avec PV + stockage : visualisation des consommations d'énergie déplacée au sein des 10 plages tarifaires au cours de l'année 2017²¹

Aide à la lecture du graphique : la variante PV+stockage engendre, par rapport à la situation de référence sans flexibilité, au périmètre des consommations tous usages, pour l'année 2017, une baisse de 69.8 % de la consommation dans la plage tarifaire BE-HP et une diminution de 57.2 % de la consommation dans la plage tarifaire VE-ENR.



Les routines de flexibilités étudiées permettent d'effacer des parts significatives des puissances de chauffage appelées : jusqu'à 70 à 75 % de la puissance de chauffage sur les bâtiments récents analysés.

Dans le cadre des deux bâtiments récents analysés, les stratégies de flexibilité implicite « HP/HC » ont permis d'atteindre des effacements jusqu'à 70 % à 75 % de la puissance de chauffage appelée sur 1 heure.



Projet no. 2 – configuration de base : visualisation du jour de puissance évitée maximale de chauffage en 2017 par la stratégie « HP/HC-R MOD »

Aide à la lecture du graphique : la stratégie de flexibilité « HP/HC-R MOD » engendre sur l'année 2017, par rapport à la situation de référence sans flexibilité, son maximum de puissance de chauffage effacée à 6h le 09/02, sur une plage tarifaire BC-HP, avec une puissance effacée de 7.6 W/m² (10.0 W/m² d'appelés dans la situation de référence sans flexibilité contre 2.4 W/m² dans la situation avec flexibilité) au travers un abaissement de la température de consigne de 1 °C (21 °C dans la situation de référence sans flexibilité contre 20 °C dans la situation de référence avec flexibilité).

La flexibilité électrique des bâtiments doit être imaginée en « pool ».

Les gisements de flexibilité à l'échelle d'un unique bâtiment restent modestes en valeur absolue (sur les deux bâtiments récents analysés, maximum de puissance de chauffage effacée d'environ 10 kW pour l'un et d'environ 30 kW pour l'autre). Si les bâtiments de bureaux souhaitent jouer un rôle significatif dans la gestion de l'équilibre offre demande à l'échelle nationale, la flexibilité des bâtiments doit être pensée en « pool » pour mutualiser et ainsi massifier le gisement.

4.5. Valorisation financière

Dans le cadre du tarif dynamique élaboré, les gains financiers obtenus sont de l'ordre de 3 % au maximum de la facture d'électricité sur les bâtiments récents étudiés.

Rappelons qu'il s'agit de gains financiers évalués sur la flexibilité de l'usage chauffage de deux bâtiments récents et en considérant une flexibilité implicite sur la base d'un tarif dynamique construit sur des années historiques (2012 et 2017). Les gains les plus élevés sont obtenus par les stratégies de flexibilité « HP/HC ».

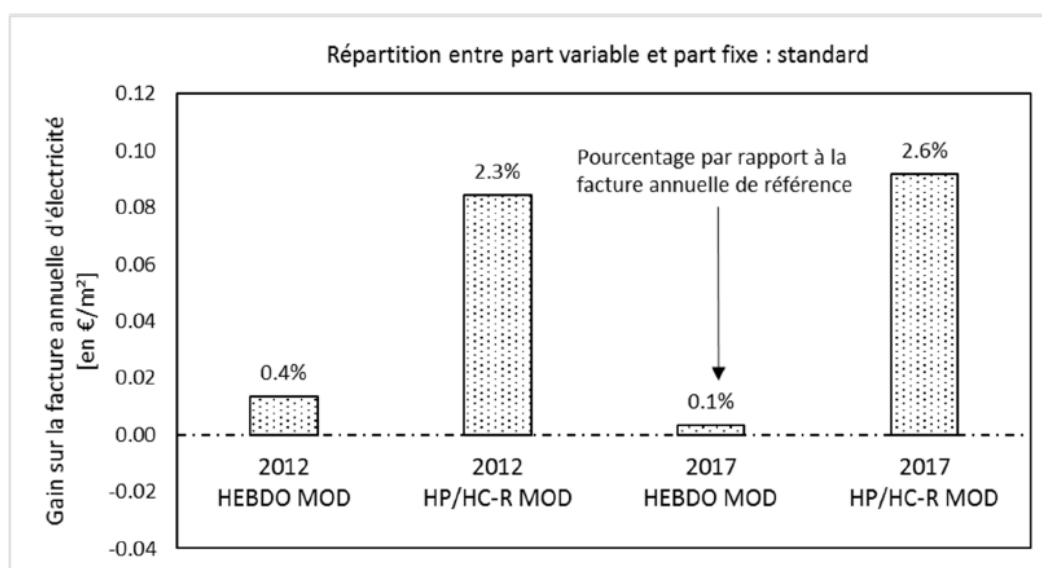


Figure 4-38 – Projet no. 2 – configuration de base : impact au travers des gains sur la facture annuelle d'électricité³⁰

Ces gains restent modestes (sur les deux bâtiments récents analysés, entre 200 à 300 euros sur des factures tous usages de plusieurs dizaines de milliers d'euros) et ne justifient pas de travaux conséquents. Ils peuvent néanmoins justifier l'activation de gisements de flexibilité intrinsèques déjà disponibles sans solutions techniques complémentaires, et donc uniquement via le pilotage et/ou la conduite des installations.

4.6. Impact sur le confort des utilisateurs

Les flexibilités étudiées ont été réalisées sans impacter le confort en restant dans un tunnel ± 2 °C

Par construction, les routines de flexibilité étudiées ont consisté à moduler les consignes de chauffage prévues dans une fenêtre de ± 2 °C amenant de fait un maintien des températures intérieures dans ce tunnel. Par ailleurs, ayant analysé uniquement des bâtiments récents bien isolés, lors des événements d'effacement, les abaissements de température intérieure se font lentement.



4.7. Impacts énergétiques et environnemental

Les flexibilités étudiées ne génèrent ni surconsommation, ni économies d'énergie significatives sur la consommation annuelle d'électricité des bâtiments analysés, elles ne font que déplacer de la consommation.

- Nous n'avons pas observé de phénomènes de « rebond » ou de surconsommations, ni d'économies d'énergie significatives à l'échelle de la consommation annuelle d'électricité des deux bâtiments récents analysés (économies d'énergie de l'ordre du % à l'échelle chauffage et de moins du % à l'échelle tous usages).

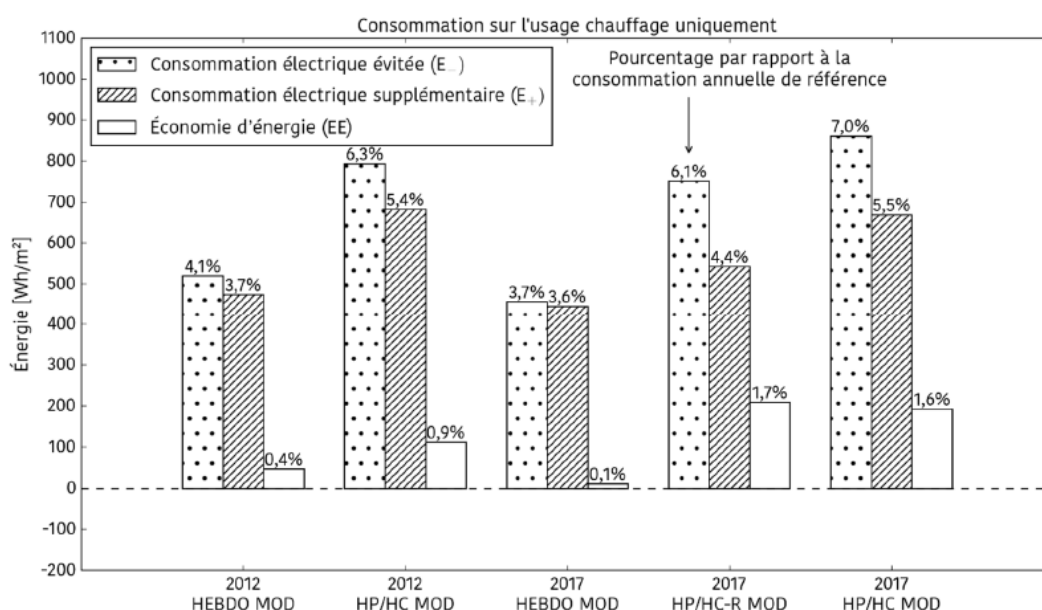


Figure 4-2 – Projet no. 1 – configuration de base : impact au travers des indicateurs énergétiques à l'échelle du chauffage uniquement⁸

Les flexibilités étudiées n'engendrent quasiment pas d'impact en termes d'émissions de GES sur les bâtiments récents analysés.

- Dans le cadre des deux projets étudiés, les émissions évitées de GES par la mise en œuvre de flexibilité sont de l'ordre de grandeur des économies d'énergie engendrées soit très faibles, en raison de l'absence de contenus CO₂ du kWh électrique spécifiquement élevés lors de moments de fortes tensions/pointes sur le réseau.²

Dans le cadre des flexibilités implicites analysées (i.e. ici pas d'infrastructure numérique rajoutée par un agrégateur) et des deux bâtiments étudiés (bâtiments récents équipés en Linky, en GTB, etc.), les modifications d'infrastructure ont été jugés négligeables en termes d'impact environnemental.

² Allocation dynamique (heure par heure) au prorata des consommations du bâtiment des impacts du système électrique national (systèmes de production, transport, distribution ; impacts de mise à disposition et d'exploitation) sur la base d'un statu-quo pour ce dernier (l'implémentation de la flexibilité étudiée n'a aucune conséquence sur la courbe de charge nationale et le mix de production). Source des données utilisées : RTE (éco2mix) et ECOINVENT.

4.8. Flexibilité électrique & Maitrise de la Demande en Energie

Les outils de pilotage et de visualisation nécessaires à la MDE et à la flexibilité peuvent être communs.

Rappelons tout d'abord que nous n'avons pas étudié le lien entre la flexibilité et la MDE dans le projet FLEXENR.

Nous pouvons noter néanmoins les points suivants :

- La MDE vise à consommer moins, la flexibilité vise à consommer mieux c'est à dire au meilleur moment pour le réseau.
- Dans le cadre de flexibilités explicites, les agrégateurs mettent à disposition un suivi énergétique des consommations pouvant s'avérer très utile pour la MDE.
- L'activation des gisements de flexibilité nécessite comme indiqué dans le cahier des charges « Flex ready » produit dans le projet, des outils de visualisation et pilotage communs à la MDE :
 - Soit ces outils sont déjà en place dans une démarche de MDE, ils peuvent alors facilement utilisés pour activer des flexibilités, plutôt aujourd'hui le cas des bâtiments tertiaires neufs.
 - Soit ces outils ne sont pas en place, la valorisation économique de la flexibilité pourrait alors être un levier pour installer ces outils et contribuer à la mise en place d'une démarche MDE, plutôt aujourd'hui le cas des bâtiments tertiaires existants. Nous n'avons néanmoins pas pu étudier ce point dans le cadre de FLEXENR.

Par ailleurs, l'implémentation d'outils de pilotage étant prévu dans de nombreux labels et réglementations, il semble aujourd'hui abordable d'utiliser les outils prévus pour opérer des déplacements d'énergie aussi bien dans les bâtiments tertiaires neufs qu'existants. Par exemple, le déploiement d'outils de pilotage et systèmes de contrôle est prévue dans le cadre du décret BACS (Building Automation & Control Systems) d'ici le 1^{er} Janvier 2025 pour tout bâtiment non résidentiel avec un système de climatisation ou chauffage d'une puissance nominale supérieure à 290 kW. Ces outils sont pour rappel capables :

- D'analyser la consommation énergétique du site mais également de l'ajuster en fonction des besoins du bâtiment.
- De détecter des pertes d'efficacité énergétique, en comparant à des valeurs références
- D'amener une interopérabilité entre les différents systèmes techniques du bâtiment.
- D'arrêter de manière autonome ou manuelle un ou plusieurs systèmes du bâtiment.

Si les bâtiments tertiaires neufs disposent pour beaucoup à leur construction de ces outils de pilotage, en équiper les bâtiments anciens/existants reste bien le principal défi à relever. Rappelons que le parc tertiaire français représente environ 950 millions de mètres carrés. Un ordre de grandeur à mettre en perspective avec le neuf (mise en chantier de 25 millions de mètres carrés de bâtiments tertiaires en 2018, soit 3 % du parc).



5. Productions complémentaires

Il est à noter qu'au-delà des études de flexibilité menées dans le cadre de FLEXENR, des premières briques d'un cadre opérationnel de mise en place de la flexibilité électrique dans un bâtiment tertiaire de bureaux ont été établis au travers la réalisation d'un guide d'analyse des gisements de flexibilité d'un bâtiment existant et d'un cahier des charges fonctionnel visant à aider les acteurs à développer les capacités de flexibilité de leurs projets lors de la phase conception. Ce sont des productions complémentaires et disposées à être utilisés dès à présent dans le cadre de projet réel de flexibilité. Ils ont été conçus dans le but de s'adresser à une majorité des bâtiments tertiaires (les stratégies proposées sont différentes si le bâtiment est neuf ou existant, ou selon la typologie de bâtiment).

5.1. Cahier des charges flex ready

Le cahier des charges flex ready est un document autoporteur ayant pour objectif de proposer une architecture des systèmes permettant d'assurer la flexibilité énergétique dans un bâtiment.

L'impact de la flexibilité tertiaire sera significatif uniquement si le parc tertiaire contribue massivement à la flexibilité énergétique. Au regard des retours d'expériences de FLEXENR il a été pris le parti de fixer des stratégies différentes de flexibilité en fonction de l'état « neuf » ou « existant » du bâtiment.

Le Cahiers de Charges fonctionnel propose donc les architectures et les performances attendues des systèmes pour atteindre le niveau de flexibilité souhaité pour les bâtiments neufs. Le cas des bâtiments existants est également pris en compte dans le cahier des charges par des propositions permettant de mettre en place à minima une capacité d'effacement diffus via un agrégateur.

La première étape de la constitution du cahier des charges a été de faire une synthèse des principes entrant dans la notion de flexibilité, y compris pour les bâtiments existants et de définir les niveaux de flexibilité possibles pour un bâtiment.

Dans cette synthèse a été inclus la contribution des certifications environnementales et des labels ou indicateurs (principalement label R2S et indicateur Go-Flex) à la flexibilité. En effet ces derniers imposent la mise en place d'équipements et de système de régulation/supervision performants qui possèdent intrinsèquement les capacités flexibles requises.

Le cahier des charges s'adresse par son architecture à l'ensemble des usages du bâtiment, et non uniquement au chauffage comme il a été étudié dans l'ensemble des simulations FLEXENR.

5.2. Guide d'analyse des usages

Complémentaire du cahier des charges flex-ready, le guide d'analyse des usages propose une méthode de détermination du potentiel de flexibilité via un prisme analytique et un prisme expérimental. La partie analytique de la méthode consiste à étudier la configuration des installations énergétiques et le profil énergétique. La partie expérimentale consiste à réaliser des « essais terrain » en intervenant dans la programmation des installations suivant un programme proposé.

Le guide permet de faire un véritable état des lieux du projet concerné et présente des hypothèses de départ importantes à considérer pour appliquer la flexibilité et les limites techniques, humaines et réglementaires voire contractuelle de la flexibilité. Il fait ensuite état de l'influence de la régulation et de la connectivité des équipements sur la flexibilité mais aussi l'influence de la typologie de distribution des fluides. Il propose enfin des scénarios de flexibilité ainsi qu'une méthodologie analytique et expérimentale de détermination des gisements de flexibilité sur un bâtiment tertiaire.

6. Conclusions

6.1. Le bâtiment, une brique intelligente du réseau de demain

Afin de préparer le bâtiment à être une brique intelligente dans le réseau de demain, plusieurs composantes et nuances sont essentielles à prendre en compte avant d'effectuer des conclusions définitives sur le sujet de la flexibilité électrique des bâtiments tertiaires de bureaux.

Les bâtiments ayant fait l'objet d'une analyse techno-économique de leur flexibilité sur l'usage chauffage dans FLEXENR sont des bâtiments récents. En se basant sur nos connaissances actuelles de la répartition des usages, nous pouvons établir qu'un bâtiment récent/neuf et efficace possèdera une part usage chauffage plus faible qu'un bâtiment existant dans sa consommation globale d'électricité et dans ses appels de puissance. Ainsi a priori le potentiel de flexibilité électrique sur les usages thermiques (chauffage mais aussi climatisation) d'un bâtiment existant est supérieur à celui d'un bâtiment neuf/récent.

Comme indiqué, seule la flexibilité des usages thermiques a été étudiée. Le potentiel de flexibilité des usages non thermiques électriques reste à évaluer tant sur des bâtiments neufs/récents que sur des bâtiments existants. De plus, des nouveaux usages électriques émergent tel que la mobilité électrique. Des équipes telles que Kergrid (EDF R&D et Morbihan Energies) voient en cet usage un beau potentiel. Dans sa dernière consultation publique pour son bilan prévisionnel 2050, RTE voit également un fort gisement de 16 GW accessible en 2050 uniquement pour le véhicule électrique. Explorer les autres usages nous paraît aujourd'hui nécessaire mais la plus grande familiarité du monde de l'énergétique du bâtiment et de ses outils avec les usages thermiques limitent cette exploration.

Il y a bien deux sujets au regard de la filière que sont le neuf et l'existant :

- Pour les bâtiments neufs, acculturer la profession à concevoir plus avec la notion de puissance et pas uniquement avec la notion d'énergie.
- La rénovation de l'existant doit permettre de déployer efficacement les outils essentiels à rendre son bâtiment flexible et communicant sans nécessairement opposer efficacité énergétique et flexibilité électrique puisque que les outils sont les mêmes.

Les tâches du projet liées à l'élaboration d'un guide d'analyse des gisements de flexibilité d'un bâtiment et d'un cahier des charges Flex Ready nous ont permis de dresser des briques d'une stratégie opérationnelle permettant d'effectuer d'une part, un diagnostic in situ des usages flexibles d'un bâtiment et d'autre part, faire émerger les solutions à mettre en place pour piloter ces usages. La prochaine étape sera alors de tester ces livrables in situ et déployer des stratégies de flexibilités sur des bâtiments réels.

6.2. Massifier la flexibilité tertiaire : quels leviers ?

Les leviers suivants émergent :

- **Adapter les logiciels actuels** afin de modéliser et concevoir par la puissance et non uniquement par l'énergie :
 - o Faciliter notamment l'intégration de chroniques définies au pas de temps de calcul sur l'ensemble de l'année dans les logiciels.
 - o Aller faire des simulations à un pas de temps plus fin des appels de puissance (à minima sur des pas demi-horaire et non horaire) afin de mieux les évaluer.
- Une **acculturation aux sujets de flexibilité** est nécessaire sur l'ensemble de la chaîne jusqu'à l'utilisateur final.
- La capacité d'un bâtiment à piloter ses usages dépend de son **niveau de connectivité**, sans présence d'équipements permettant du contrôle commande sur ses usages, le potentiel de flexibilité sera faible.



- En dehors d'un projet R&D, l'utilisation de modélisations complexes et détaillées telles que celles réalisées dans FLEXENR pour estimer le gisement de flexibilité d'un bâtiment donné ne semble pas envisageable en termes de temps et de coût. Il convient donc d'utiliser des **approches simplifiées pour évaluer rapidement le gisement de flexibilité d'un bâtiment donné**. L'indicateur Goflex pourrait être une des solutions.

Indicateur Goflex

Le GoFlex est un indicateur de flexibilité énergétique et non un label. 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 donc une vocation pédagogique et a pour finalité de lever un verrou de marché en permettant à toute personne peu acculturée avec le concept de flexibilité énergétique de :

- 1 S'approprier le sujet de la flexibilité.
- 2 Obtenir facilement le potentiel de flexibilité de son bâtiment.
- 3 Faciliter la connexion entre l'utilisateur et l'agrégateur.

L'outil, aujourd'hui un outil excel où l'utilisateur renseigne des données permettant de faire un état des lieux de l'ensemble des usages flexibles via notamment les puissances installées des équipements sur site, se veut être simple et rapide d'utilisation. A ce titre, il a vocation à permettre une première évaluation du gisement de flexibilité peu onéreuse.

Le projet GoFlex est une approche empirique s'appuyant majoritairement sur retours d'expérience d'agrégateurs et gestionnaires de sites. L'objectif court terme n'est pas la précision du calcul mais la facilité d'évaluation de gisement pour connecter une offre diffuse, foisonnante, atomisée et très difficile d'accès, avec une demande croissante. Par ailleurs, c'est en connectant l'offre et la demande que nous créerons des retours d'expérience, des chiffres et statistiques qui nous permettront d'améliorer la précision du GoFlex et son expérience utilisateur. L'objectif du GoFlex est donc aussi de massifier les retours d'expériences sur la flexibilité et améliorer de façon continue son évaluation.

En se projetant, le GoFlex a pour philosophie de considérer le bâtiment comme une brique intelligente parmi un tout, qui est le grid. Sur le marché de l'électricité, les effacements sont valorisés par les agrégateurs via des pool d'énergie vendus à RTE. Le principe de pool est ce qui permet à l'agrégateur de fiabiliser les effacements valorisés. Ainsi, pour vendre 1 MW effacé, l'agrégateur agrège de nombreux sites. Dans les faits, certains sites ne vont pas ou pas assez s'effacer pour faire leur part. Cela est compensé par l'effet de pool, l'agrégateur est alors responsable de l'effacement valorisé.

Le GoFlex pourrait être un atout afin de faire émerger le potentiel de flexibilité du secteur tertiaire, de « réveiller » ce gisement : un pool de bâtiments accessibles, prêts à opérer des effacements, avec un scoring GoFlex permettant à l'agrégateur d'obtenir rapidement une première estimation de gisement.