LE BEPOS 2.0 SERA (SURTOUT) UN BATIMENT A ENERGIE ET PUISSANCE OPTIMISEES ET SOLIDAIRE !

Le groupe de réflexion RBR 2020 a très justement mis sur un même pied d'égalité, dans ses récentes conclusions[1], le service rendu par le bâtiment à ses utilisateurs, l'impact environnemental (dont carbone) du bâtiment et enfin le bâtiment comme *brique intelligente du système énergétique global du futur*. Cette note se propose de développer ce dernier point dans ses aspects les plus opérationnels.

La réglementation européenne[2] nous emmène vers le « NZEB » ou bâtiment à bilan énergétique presque nul à un horizon 2020[3]. La feuille de route française est encore à écrire et préciser, des jalons importants ayant été franchis récemment : l'adoption de la RT2012, l'apparition de la traduction française en « BEPOS » dans la loi Grenelle et une première définition prototype proposée par le collectif EFFINERGIE dès 2013.

Toutefois, si le socle réglementaire ne traite qu'une fraction des consommations du bâtiment, qualifiant ainsi la performance énergétique du bâti et les systèmes, *le dimensionnement technique comme économique des installations passe en revanche nécessairement par la connaissance et la maîtrise des consommations réelles, axe fondamental des développements de l'IFPEB*[4]. Là est le véritable lien entre énergétique et l'économie du projet, lien qui ne peut être ignoré dans la définition qui nous occupe.

D'autres éléments de contexte, comme l'utilisation positive du gisement de flexibilité énergétique dans les bâtiments, montrent qu'il est nécessaire donc de penser le bâtiment comme brique intelligente du système énergétique global.

Dès lors, toute définition du bâtiment « NZEB » doit se penser en lien avec un écosystème qui comprend les échelons à maille supérieure (quartier, ville, région, national, etc.) afin de maximiser la pénétration et l'intégration d'une énergie la plus renouvelable possible à moindre coût.

Les entreprises de l'IFPEB se sont basés sur les retours d'expérience sur les bâtiments RT2012 et BEPOS qu'ils ont mis en œuvre pour proposer à suivre des éléments méthodologiques et quantitatifs afin d'équiper, en indicateurs simples, la réflexion RBR 2020 et « BEPOS » avec un objectif d'une définition :

1. Efficace,
2. Opérationnelle,
3. Ancrée dans la réalité économique.

Cet ensemble de propositions forment le « BEPOS 2.0 » : un Bâtiment à Energie et Puissance Optimisées, Solidaire et Connecté.

[1] Groupe RBR 2020 – 2050 – « Cap sur le futur bâtiment responsable », septembre 2014.
[2] Directive sur le Performance Energétique des Bâtiments EPBD 2010/31/UE.
[3] 2018 pour les bâtiments publics.
[4] Guide IFPEB 2014 « consommations énergétiques réelles : comment les prévoir et s'engager ? »

1 UN BATIMENT DU FUTUR… DES AUJOURD'HUI

1.1 L'URGENCE DE REDEFINIR NOTRE CONCEPTION

Quel bâtiment voulons-nous ? Qu'il s'agisse de logement ou de tertiaire, un grand niveau de service rendu, de confort, de bien-être et de santé sont les raisons pour lesquelles nous construisons. Ces qualités du produit fini sont la raison d'être du bâtiment, au cœur de la conception comme de son objectif commercial, *donc non négociables.*

Sur les systèmes énergétiques qui maintiendront ces conditions optimales d'utilisation, en lien avec l'écosystème énergétique global, *il est urgent de savoir de quoi le futur sera fait.*

D'une manière plus générale, la pénétration locale des énergies renouvelables, leur rentabilité croissante, les possibilités techniques de récupérer et échanger de l'énergie permettent l'apparition de systèmes de gestion décentralisés entre l'offre renouvelable et la demande (ou smartgrids énergétiques, électriques et/ou thermiques[5]).

Ils sont une énorme opportunité de répondre à nos objectifs climatiques.

Obsolescence des bâtiments actuellement mise en œuvre ?

On ne peut imaginer qu'en 2015 un investisseur prenne en main un bâtiment déjà obsolète dans les termes mêmes de sa conception, que ces nouveaux principes exposés à suivre et déjà identifiés à cette date ne soient pas pris en compte dès aujourd'hui.

Or aujourd'hui un bâtiment doit pouvoir attester :

1. D'une performance énergétique importante, utilisant au mieux les possibilités de solidarité énergétique du quartier si elles existent,
2. De sa capacité à limiter et moduler son appel de puissance énergétique (thermique et/ou électrique, en gérant la concomitance des besoins et de la production d'ENR) comme décrit ci-dessous, en fonction par exemple de signaux comme la qualité renouvelable de l'énergie qu'il produit localement ou récupère du réseau.

La fin des tarifs régulés de l'énergie pour les consommateurs ayant des puissances souscrites > 42 kW) va favoriser des offres de fournitures qui pourront au mieux marier la disponibilité de l'énergie, notamment renouvelable, avec la demande dans une dimension horo saisonnière, ou mieux gérer son caractère environnemental (contenu CO_2). *Dès lors, il est urgent de passer dès à présent à une conception des bâtiments qui anticipe cette nouvelle réalité.*

[5] Exemple du microgrid HIKARI développé par Bouygues Immobilier à Lyon.

1.2 DEPASSER LES PREMIERES DEFINITIONS

Le collectif EFFINERGIE a proposé en 2013 un cadre de définition du bâtiment à énergie positive comme un bâtiment « qui produit plus d'énergie qu'il en consomme », dans un bilan annuel.

Cette première définition du « NZEB » a eu la vertu de lancer le marché sur des opérations pionnières. Toutefois, posée ainsi, *cette définition donne l'illusion d'une quasi-autonomie du bâtiment*, alors que la dépendance du bâtiment au réseau conventionnel reste très importante comme nous le démontrons à suivre.

De plus, posée en énergie primaire et basée sur un calcul réglementaire, cette expression d'un bâtiment « positif » est également par nature très éloignée de la réalité physique mesurée. Elle ne permet pas rechercher les vrais bénéfices additionnels que peut aller chercher le bâtiment dans son bilan journalier en:

- Consommant lorsque la production d'ENR est importante,
- Réduisant sa consommation lorsqu'elle l'est moins,
- Utilisant les ressources renouvelables à proximité (actuellement non intégrées dans le calcul), à gérer activement afin d'éviter l'utilisation d'énergie non renouvelable.
- Diminuant globalement son impact carbone.

Enfin, cette première définition valorisait la « positivité » principalement via de la production électrique locale alors que d'autres ENR locales peuvent être toutes aussi contributrices.

Retours d'expérience de membres IFPEB

Plusieurs membres de l'IFPEB ont réalisé des tests sur des bâtiments « BEPOS » instrumentés, logement et tertiaire. Nous avons pu quantifier les indicateurs d'autoconsommation et d'autoproduction, deux indicateurs indissociables importants pour l'efficacité du système global:

- Indice d'Autoconsommation IAC = part de l'ENR générée autoconsommée / ENR générée totalement.
- Indice d'Autoproduction IAP= part de l'ENR générée autoconsommée / besoin total du bâtiment.

Ces indicateurs ont été calculés à suivre sur des pas de temps horaires pour évaluer la concomitance des consommations du bâtiment à la production ENR et ainsi estimer plus finement la réelle « positivité » du bâtiment.

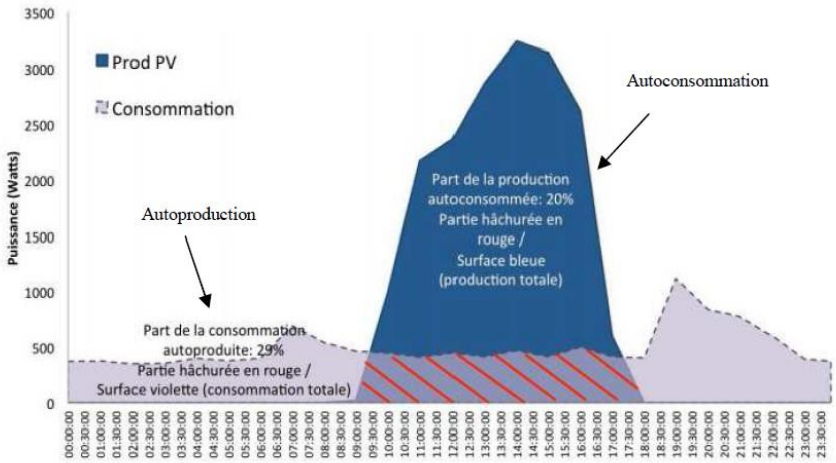


Illustration de l'autoconsommation et de l'autoproduction (Source : HESPUL)

Ces deux indicateurs sont d'ailleurs développés dans l'excellent rapport de la DGEC sur l'autoconsommation[6] qui explore les meilleurs modalités de l'action publique en faveur du photovoltaïque, dans une logique de meilleure intégration des ENR dans leur écosystème local mais également national.

Il est intéressant de regarder le même graphique sur un pas de temps journalier mais mensuel. La complémentarité de la production et des besoins qui s'en dégage est un élément d'appréciation du service rendu au bâtiment par la génération d'ENR, notamment par le photovoltaïque dans cet exemple.

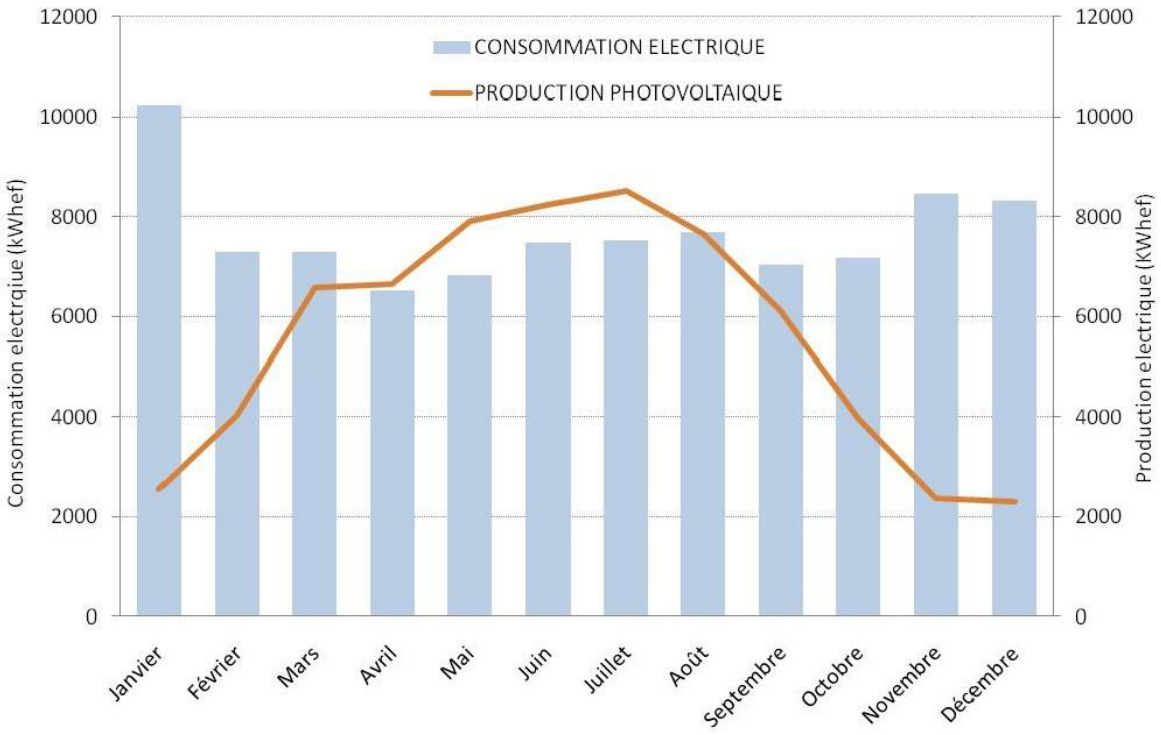


FIGURE 1 - CONSOMMATION ET PRODUCTION D'UN IMMEUBLE TRES PERFORMANT (CEP - 50%)

Présentation d'étude de cas sur deux logements

Dans le cas d'une maison individuelle BEPOS Effinergie (solution chauffage et ECS tout-électrique) qui obtient l'énergie positive par une production photovoltaïque (20m^2 de panneaux, sans stockage électrique), nous avons tenté d'optimiser ensemble les chiffres IAC et IAP par un plan d'expérience important portant sur :

- sur le pilotage actif des charges (piloter l'ECS, le chauffage)
- des « stress tests » sur l'orientation (PV à l'est, ouest, sud, etc.)

<u>Principales conclusions :</u>

- IAC ne dépasse jamais 50%, c'est-à-dire que la maison n'autoconsomme au mieux que 50% de l'énergie produite par le système photovoltaïque (ce résultat nécessitant un pilotage actif de la demande),
- IAP ne dépasse pas 35% : les consommations du bâtiment ne sont couvertes qu'à 35% maximum par la production locale, et donc 65% d'appels au réseau sont nécessaires.
- Le cumul d'énergie primaire des énergies renouvelables mises en jeu, entre PV et part d'ENR thermique liée aux PAC : 50%.

[6] DGEC / Direction de l'énergie, « Rapport sur l'autoconsommation et l'autoproduction de l'électricité renouvelable », décembre 2014.

- *Redondance : l'approvisionnement d'énergie conventionnelle (réseau) doit être maintenu intégralement en cas d'absence de production locale.*

La faible utilité réelle de la génération locale pour les logements (nécessité de recours aux énergies conventionnelles à 70% en moyenne, à 100% à plusieurs moments de la journée) impose de trouver un moyen de développer un approvisionnement renouvelable davantage en phase avec le besoin dynamique, pour davantage d'« utilité » de la génération renouvelable du point de vue du bâtiment.

Dans le cas contraire, on fait simplement porter par le secteur du logement l'investissement dans les énergies renouvelables distribuées. Nous démontrons à suivre qu'il est possible de mieux allier maîtrise de l'énergie, pénétration des énergies renouvelables et service rendu au bâtiment.

Présentation de cas tertiaire

1) Un premier exemple concerne des tests effectués sur un cas de « petit bureau » (PME, env. 2000m^2), également tout électrique et doté de PV, l'IAC est compris entre 40 et 50 % et IAP entre 50 et 60%. Il y a une meilleure concomitance naturelle des consommations et des productions, *sauf le week-end.*

2) En second exemple, nous produisons un calcul issu d'un bâtiment à énergie positive pionnier dont la définition « BEPOS » repose sur 90% des besoins énergétiques immobiliers et mobiliers, doté d'une cogénération de chaleur mixte avec de l'huile de colza et 610 kWc de surface photovoltaïque. Résultats :
    - Une production d'électricité d'origine photovoltaïque de 448,7 MWh et d'origine biomasse (partie électrique seule) de 398,5 MWh en année pleine pour une consommation énergétique du site totale (tous usages) de 2011,8 MWh,
    - Une surproduction annuelle photovoltaïque (cumul annuel de la production photovoltaïque venant en excès des besoins de fourniture constaté au pas de 15 minutes) de 47,0 MWh
    - Le premier coefficient est très bon I**AC = 94%,**
    - **IAP = 42%** sur la production électrique, malgré un excellent IAC, cet IAP est très représentatif du tertiaire.

Il y a un coefficient d'autoconsommation exceptionnelle, liée surtout au fait que le process sur site est très élecrointensif.

Malgré cela le dimensionnement réseau (approvisionnement électrique notamment) est conventionnel par rapport à un bâtiment équivalent, *c'est-à-dire que la production additionnelle réalisant le caractère « BEPOS » ne participe pas à une économie de puissance installée.*

Sur un IGH, on tendra logiquement vers un IAC de 100%, étant donné la faiblesse des puissances productibles par rapport à la consommation, mais avec un IAP plutôt faible.

En synthèse, les usages tertiaires de type bureaux sont d'avantage favorables à l'autoconsommation et l'autoproduction les jours ouvrés de la semaine, en particulier dans le cas de production photovoltaïque, grâce à la concomitance du CVC et des usages conventionnels, diurnes. Toutefois, la production peut être quasiment totalement réinjectée les jours de fermeture (week-ends, jours fériés), ce qui impacte le bilan économique. Nous verrons par la suite que ces indicateurs doivent absolument participer, par un dimensionnement bien compris, *d'une économie globale plus vertueuse grâce à la concomitance temporelle des usages et des productions renouvelables et la diminution de l'appel de puissance.*

1.3 UNE DEFINITION GENERALE POUR DES REPONSES CONTEXTUELLES

La réponse énergétique aux besoins du bâtiment est toujours contextuelle.

C'est là la difficulté : l'opportunité d'une forme bioclimatique, l'accès aux énergies renouvelables en général ou au rayonnement solaire en particulier sont très variables en fonction de sa situation et son orientation (y compris vis-à-vis des ombres portées des voisins).

Cette opportunité dépend également des dispositions issues de l'aménagement (réseau de chaleur renouvelable, solidarité énergétique sur la chaleur ou microgrid électrique, etc.)

Il s'agit surtout de s'inscrire dans une équation économique soutenable pour assurer que ses qualités liées au développement durable puissent être massifiées et pérennes.

Le consensus des opérateurs économiques de l'IFPEB est que le bilan « positif annuel » ne peut être acquis de manière économiquement viable qu'en intégrant la plupart du temps l'échelle du quartier et au-delà, c'est-à-dire grâce à des circonstances d'aménagement favorables.

IMAGE 1 - CREDIT BOUYGUES IMMOBILIER – DENT CREUSE A PARIS – BATIMENT ALPHA, SUR SA PARCELLE A GRENOBLE.

Nous déclinons à suivre le BEPOS 2.0 : Un Bâtiment à Energie et Puissance Optimisées et Solidaire, un BEPOS connecté en anticipation d'un « futur énergétique » extrêmement proche. L'optimisation proposée peut être mise en œuvre dès aujourd'hui sur tous les projets en cours.

2 BEPOS 2.0 : UN BATIMENT A ENERGIE OPTIMISEE...

Bien sûr, le bâtiment optimisé en énergie a un très faible besoin intrinsèque, une enveloppe performante, généralement au-delà du bâtiment réglementaire.

Cette première optimisation nécessite la mise en œuvre d'une Simulation Energétique Dynamique (SED). La grande nouveauté sera d'utiliser à suivre le bilan des consommations et des productions d'énergie dans leur dimension dynamique. A l'opposé, les méthodes statiques de détermination des besoins portent généralement au surdimensionnement et ne sont pas qualifiées pour disposer d'une évaluation réaliste de la performance énergétique de ce système.

Ce calcul de SED est à la base de l'intégration de toutes les optimisations proposées dans cet article. Seul un outil de SED peut rendre compte de la réalité des échanges énergétiques et de la complexité qui la sous-tend (usages prévisionnels, modèle physique) à un pas de temps suffisant pour toutes les optimisations proposées à suivre.

2.1 QUELLES CONSOMMATIONS D'ENERGIE TRAITE-T-ON, ET COMMENT?

Nécessairement, il est question de prendre en compte tous les postes de consommation décrits dans le « potentiel d'usage[7]» du bâtiment, c'est-à-dire pouvoir alimenter de manière satisfaisante toutes les consommations du bâtiment au maximum de son utilisation programmée.

Techniquement, on évalue les consommations de tous les postes énergétiques connus lors de la programmation (dont les 5 usages réglementaires), intégrant la prévision des usages réels dans leur plage minimale et maximale d'intensité d'usage. La figure ci-dessous représente, pour un bâtiment tertiaire optimisé :

1. la consommation des postes réglementaires calculés par le logiciel RT,
2. La consommation prévisionnelle des postes réglementaires calculée avec un logiciel de SED, utilisant les hypothèses d'usages au plus proche de la programmation,
3. La consommation prévisionnelle de tous les postes de consommation.

Le calcul du BEPOS 2.0 se situe bien dans la troisième hypothèse en prévoyant le comportement énergétique nominal et maximal du bâtiment dans son intégralité, dans leur dimension temporelle.

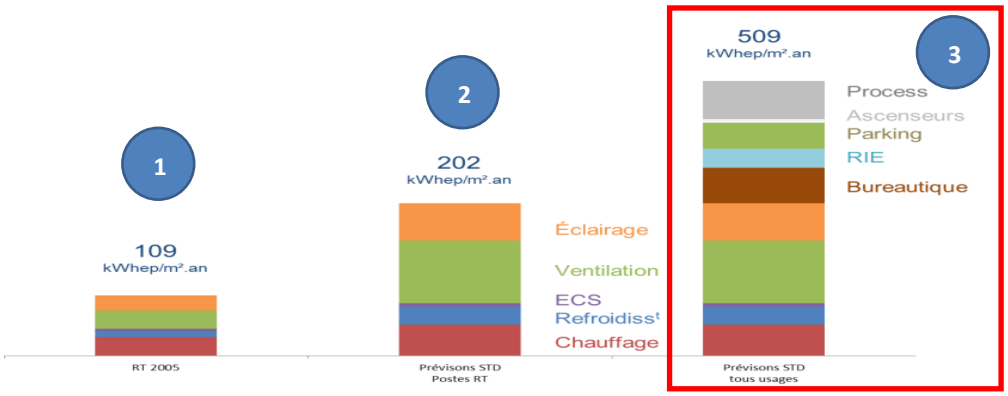


FIGURE 2
1. CONSOMMATION DES POSTES REGLEMENTAIRES CALCULES PAR LA RT2005,
2. CONSOMMATION DES POSTES REGLEMENTAIRES CALCULES EN SED AVEC LES HYPOTHESES REELLES,
3. CONSOMMATIONS NOMINALES DE TOUS LES POSTES CALCULES PAR SED.

[7] Intensité d'usage et Potentiel d'Usage : Cf. documents IFPEB auprès du Plan Bâtiment Durable

Pour les besoins de la simulation et la prise en compte des nouvelles dimensions à considérer de ce bâtiment acteur du système énergétique global notamment électrique, la modélisation en puissance est incontournable, intégrant les points suivants :

- Un pas de 10 minutes est au moins recommandé, certaines optimisations liées au smartgrids demandant un pas plus fin,
- Il est important de simuler des consommations aux limites :
  - De climat (hiver rigoureux, normal, intersaison, été normal et caniculaire),
  - D'usage :
    - Densité d'utilisation (personnes / m^2)
    - Températures de consigne,
    - Horaires (distinction semaine / week-end, vacances et jours fériés.)
    - De puissance d'électricité spécifique.
- Il sera difficile d'intégrer de manière dynamique le process spécifique et RIE,

Il est à noter que le calcul SED préconisé est analogue à celui développé pour une Garantie de Résultats Energétique (GRE[8]) ainsi que les dispositions de commissioning élargi. Il faut absolument utiliser des méthodes dynamiques, et non statiques.

2.2 EXPRESSION DE LA QUALITE DE L'ENVELOPPE ET DES SYSTEMES

Un BEPOS 2.0 est d'abord un bâtiment extrêmement sobre et optimisé, garantissant de manière non négociable les paramètres de confort et santé (dont qualité de l'air).

La définition du label EFFINERGIE + est un excellent fondement de la définition d'une qualité intrinsèque importante, qui en plus explore les consommations mobilières et regarde de plus près la part d'autoconsommation.

D'une manière plus générale, l'expression d'une qualité du bâti et des systèmes peut éventuellement passer par le calcul du coefficient de la RT2012, un coefficient C_{EP} avec une performance additionnelle (-20 à -40%), hors compensation annuelle (par exemple liée au photovoltaïque, qui sera traité dans les aspects dynamiques). Il est bien clair d'ailleurs que le C_{EP} *n'exprime pas véritablement une consommation d'énergie mesurable et doit être considéré comme un « coefficient de qualité du bâti et des systèmes»*[9].

Dans la même optique de progrès, il est dommage que des labels réglementaires pour qualifier des bâtiments meilleurs que la RT2012, de type HPE ou THPE initialement envisagées et auxquels les membres IFPEB souscrivent pour le tertiaire notamment, aient été abandonnés.

IMAGE 2- BATIMENT BIOCLIMATIQUE

[8] Guide IFPEB sur la GRE : « Consommations Energétiques Réelles : comment les prévoir et s'engager ? – Démarche pour la maîtrise des objectifs énergétiques et prémices du smartgrid ».
[9] Cf. Documents IFPEB – CSTB « Consommations prévisionnelles des bâtiments neufs. Proposition d'une étude préalable à la mise au point des outils d'évaluation des performances énergétiques en lien avec les usages »

2.3 CARACTERISATION DE L'ENERGIE A FINS D'OPTIMISATION

Lorsque l'enveloppe est très optimisée du point de vue énergétique, l'objectif du BEPOS est bien sûr de maximiser *la qualité renouvelable de l'énergie consommée*, ce qui s'exprime par deux variables:

1. Taux d'énergies renouvelables dans la consommation d'énergie, à maximiser, ou son inverse (quantité d'énergies non renouvelables consommées) à minimiser,
2. Emissions de gaz à effet de serre générées.

Ce qui sous-tend la définition d'un BEPOS 2.0 est d'aller rechercher l'énergie renouvelable à l'échelle adéquate en fonction des ressources locales, de la production disponible et des besoins, au niveau de la production du bâtiment, du quartier voire au-delà, en fonction d'un optimum économique. C'est donc d'une « intelligence globale » qu'il est question : le bâtiment est la brique intelligente d'un écosystème énergétique global.

Ainsi, pour compléter, les variables suivantes sont alors essentielles pour cadrer les contraintes du système global:

3. La sécurité énergétique. Ce dernier critère n'a que peu d'expression en France, hormis la Bretagne et PACA, mais le « smartgrid », notamment aux Etats-Unis, vise à gérer les productions intermittentes, stockages et consommateurs dans l'optique de sécuriser le réseau électrique beaucoup moins qualitatif qu'en France / Europe. Aujourd'hui, il faut veiller à conserver ce haut niveau de sécurité tout en développant de nouvelles sources d'énergie.
4. Le coût global énergétique du système (y compris les coûts et investissements réseau).

2.4 ENERGIE : DU BEPOS AU TEPOS

Lorsque les conditions et moyens sont réunis, le bâtiment intelligent échange de l'énergie, sous plusieurs formes, de manière opportuniste avec ses voisins, afin de créer un écosystème à basse consommation. Dès lors, il doit être flexible énergétiquement pour adapter, tant que faire se peut, sa consommation aux énergies disponibles sur les réseaux et à leurs tarifications.

L'exploration des opportunités de mutualisation énergétique sur la chaleur

Dans l'aménagement d'un quartier, des complémentarités évidentes apparaissent dans les besoins dynamiques d'énergie, notamment en cas de mixité d'usage : tertiaire, logement et commerces.

Un exemple sur la chaleur. La courbe ci-contre représente les besoins globaux d'une ZAC en chaud, froid et ECS (cas réel), les besoins en ECS étant essentiellement liés au logement et le froid lié au rafraichissement d'un tertiaire très élecrointensif.

On remarque la complémentarité des besoins qui a permis dans cette ZAC la mise en œuvre d'un échange de chaleur entre les bâtiments, afin que la chaleur fatale (issue du rafraichissement) puisse être récupérée pour contribuer au besoin en chaud.

Une géothermie de très bon rendement alimente le réseau de chaleur et le taux d'énergies renouvelables annuel pour les bâtiments est de plus de 75%.

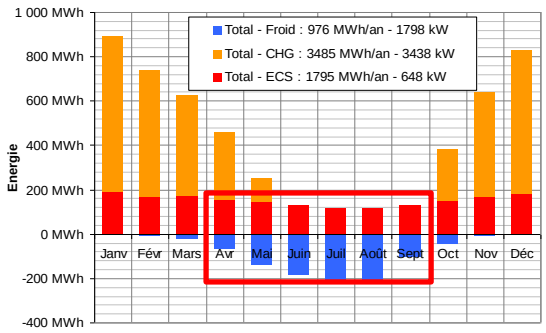


FIGURE 3 - BESOINS DE CHAUFFAGE ET RAFFRAICHISSEMENT DES BATIMENTS D'UNE ZAC (300 000M2) AVEC SOLIDARITE ENERGETIQUE DES BATIMENTS.

Exemple sur l'électricité

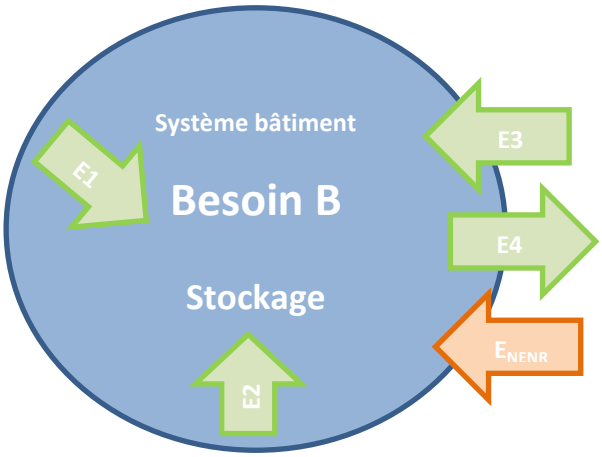
Les démonstrateurs Smartgrids ISSYGRID et NICE GRID en particulier démontrent la possibilité de consommation locale d'une génération renouvelable répartie dans la zone :

- Stimulation à consommer de l'énergie électrique photovoltaïque disponible par des « heures creuses solaires » annoncées aux consommateurs de la zone (NICE GRID),
- Simulation de vente directe d'électricité entre les consommateurs de tous types (logement, tertiaire) et les producteurs répartis (ISSY GRID).

2.5 MISES EN EQUATION DES ENERGIES

Dans le cas général, on peut retenir les termes suivant sur les flux d'énergie consommée de manière instantanée par le bâtiment, sur pas de dix minutes par exemple[10]:

- B, Besoin d'énergie du bâtiment, B
- E1, Energie ENR produite et utilisée issue du bâtiment,
- E2, Energie déstockée utilisée (batteries, thermique ou autre),
- E3, Energie ENR utilisée externe (issue de l'extérieur, « locale » ou pas) ou énergie fatale récupérée localement,
- E4, Energie ENR redistribuée à l'extérieur du bâtiment,
- E_{NENR}, Energie non renouvelable venant de l'extérieur.



Dans tous les cas, sur un intervalle de temps donné, avec les variables de confort et d'utilisation satisfaites dans les intervalles programmés, l'équation suivante est respectée :

$$\mathbf{B = E1 + E2 + E3 + E_{NENR} - E4}$$

Dans tous les cas, il ne s'agit pas d'un raisonnement en puissance instantanée, qui peut être différent, mais la condition d'un équilibre énergétique sur un intervalle de temps. Nous définissons l'efficacité du pilotage des systèmes renouvelables, internes, externes et stockage, l'indicateur de couverture ENR ***Cenr*** qu'il s'agit de maximiser :

$$\textbf{\textit{Cenr}} = \frac{E1 + E2 + E3}{B}$$

[10] En cohérence avec la métrologie de comptage et la simulation énergétique dynamique SED

Comportement de ***Cenr*** aux limites :

1) Vaut 0 pour un bâtiment 100% sur des énergies conventionnelles (même si on pourrait dire qu'en France, puisqu'il y a des ENR dans le mix énergétique, il n'est jamais complètement zéro),
2) Tend vers 1 pour un bâtiment qui est autonome en ENR ou un bâtiment qui est alimenté 100% en ENR externes (cas d'une île 100% ENR), en tout cas il se maximise par un pilotage intelligent sur :
    - L'autoconsommation de ses ENR,
    - Leur stockage /déstockage,
    - L'utilisation du réseau en injection quand il a un fort taux d'ENR.

Pourquoi E4 n'est pas comptabilisée dans cet indicateur ?

Parce qu'il ne s'agit pas d'un bénéfice pour le système « bâtiment », le E4 (ENR exportée par le système) est le « E3 » des bâtiments adjacents. E4 rentre donc dans un bilan économique de mutualisation quartier qui est un plus par rapport à l'exigence de ce bâtiment.

Quel est l'intérêt de **Cenr** ?

1) Il suffirait de le borner et d'imposer une condition sur le bâtiment pour que, sur toute l'année, déterminé par une SED, par exemple :

$$\textit{Cenr} \geq 0{,}3 \text{ ou } 0{,}4...$$

En fonction des typologies de bâtiment, les localisations et les opportunités du site aménagé, un seuil de Cenr pourrait être défini. *D'ailleurs, avant même de définir des seuils, ce coefficient pourrait être considéré comme un indicateur de performance à optimiser. Il s'agit in fine de rendre plus « intelligente » l'utilisation des énergies renouvelables exploitées localement.*

2) Mais son intérêt est surtout d'être compatible avec la réalité économique : l'opérateur immobilier peut aller chercher le plus optimal économiquement sur E1, E2 et E3, E4! Notamment :
    - Par de la production internalisée,
    - Par toutes les formes de stockage possible avec une optimisation économique à considérer,
    - Le bâtiment sur un réseau de chaleur renouvelable à plus de 50%,
    - La tour à la Défense qui achète de l'énergie verte pour compenser,
    - La part des énergies renouvelables non locales,
    - Etc.

Ce coefficient qui permet de rendre compte de la réalité physique des échanges énergétiques du bâtiment, comme de l'utilité réelle de la production ENR pour le bâtiment.

2.6 UN EXEMPLE

L'exemple concerne un aménagement dans le Nord de la France de 46000 m² dont un tiers tertiaire. L'aménagement comprend des immeubles à 5 voire 7 niveaux, avec une densité urbaine assez conséquente (densité énergétique assez importante). La densité d'habitation et la densité énergétique qui permet physiquement peu de place pour le PV. Les bâtiments sont au moins RT2012.

Une boucle d'eau tempérée permet l'échange thermique, elle est régulée grâce à une géothermie peu profonde de bon rendement.

Calcul des besoins (tous usages) :

- B= 7000 MWh,
- E1=300 MWh de photovoltaïque,
- Pas d'E2 car PV toujours en dessous de la consommation de l'écoquartier et pas (encore) de mise en œuvre de stockage THERMIQUE prévu,
- E3= 1612 MWh dont 780 proviennent de la géothermie et le reste de rejets d'autres bâtiments dans la boucle (échanges permettant la récupération d'énergies fatales).

Soit un Cenr de 27% calculé au niveau de la zone.

Le résultat, lié aux échanges intelligents d'énergies fatales sur la zone et l'exploitation d'une géothermie en régulation de la boucle, est du même ordre que le résultat d'une maison individuelle BEPOS Effinergie à base exclusive de photovoltaïque.

Le chiffre peut être amélioré sensiblement en introduisant un pilotage actif lié aux flexibilités d'usage (stockage d'énergie thermique, pilotage des charges électriques, etc.) sur les vecteurs chaleurs et électricité.

2.7 CONCLUSIONS SUR L'ENERGIE

Un bâtiment BEPOS 2.0 ne réalise pas nécessairement l'équation « énergie positive annuelle», mais interagit de manière intelligente avec les autres consommateurs et producteurs de sa zone.

Dès que la gestion active de la consommation et des productions le permettent, peuvent s'intégrer dans un écosystème local qui rend l'ensemble plus économe en énergie, améliore la qualité renouvelable de l'énergie utilisée et en maîtrise le coût.

Il permet enfin de faire coïncider l'optimum économique et environnemental.

3 BATIMENT A ENERGIE ET PUISSANCE OPTIMISEES…

La nouveauté par rapport aux pratiques actuelle est simplement de… gérer la puissance appelée sur les différents réseaux disponibles (électricité, gaz, chaleur) ! C'est un premier grand progrès à demander au marché. Une grande partie de l'économie globale du BEPOS 2.0 repose sur ce principe : quand on sait essentialiser les équipements du bâtiment, les installations techniques, on peut considérer que l'« intelligence et le pilotage remplace la puissance ».

Grâce à la SED, la conception et le dimensionnement peuvent reposer sur un calcul dynamique et non statique, ce qui est une source d'économies importante : les équipements sont dimensionnés au plus juste.

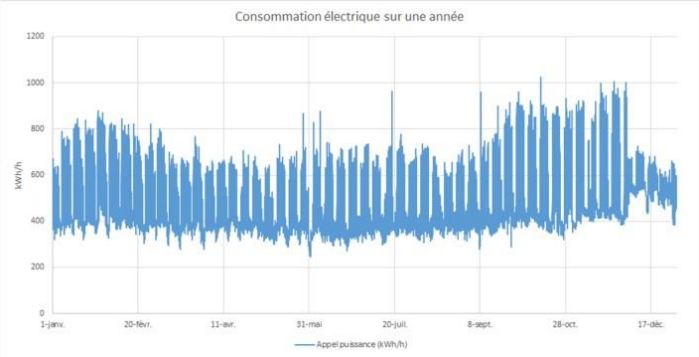


FIGURE 4- SIMULATION DYNAMIQUE D'UN BATIMENT – SOURCE SETEC – CONSOMMATION ANNUELLE.

Les coûts de mise en œuvre d'une SED se remboursent très largement dans l'économie de dimensionnement.

<u>Quatre niveaux d'optimisations se dégagent :</u>

1. **Premier niveau :** un gain sur la puissance installée dans le bâtiment, mieux dimensionnée, en connaissance des réseaux disponibles et des coûts et disponibilités de raccordement (y compris réinjection),
2. **Deuxième niveau :** un gain sur la puissance installée et souscrite au réseau électrique et éventuellement sur d'autres réseaux si existants (par exemple des dispositions d'écrêtage, de limitation de la puissance, autoconsommation de l'énergie produite, stockages thermiques, électriques, etc.), permettent de diminuer l'appel de puissance, ou le recours à d'autres solutions (gaz, chaleur ou cogénération) pour baisser la puissance d'alimentation nécessaire,
3. **Troisième niveau :** intégration de la gestion active liée aux ENR, en complément des mesures prises en (2), mobilisant toutes les ressources du bâtiment,
4. **Quatrième niveau:** un pilotage dynamique de l'appel de puissance en fonction de signaux externes (Demand-Response en consommation, en effacement ou en production décentralisée), en fonction de signaux à préciser (CO_2, présence d'énergies renouvelables, sécurité, prix).

3.1 PREMIER NIVEAU : MIEUX DIMENSIONNER

La première optimisation est une économie nette : ne plus sur dimensionner les installations ! Les marges de dimensionnement interviennent à tous les niveaux : dans les normes, dans les calculs statiques (maintenant inadaptés), dans les puissances installées.

3.1.1 LE SURDIMENSIONNEMENT : UNE PRATIQUE GENERALISEE

Le résultat est un surdimensionnement patent illustré par le graphique ci-dessous, retour d'expérience obtenu sur 14 bâtiments réels mis en œuvre dans les dernières 5 années: la puissance électrique installée moyenne est de 167 VA/m^2, la puissance appelée mesurée est de 66 VA/m^2 !

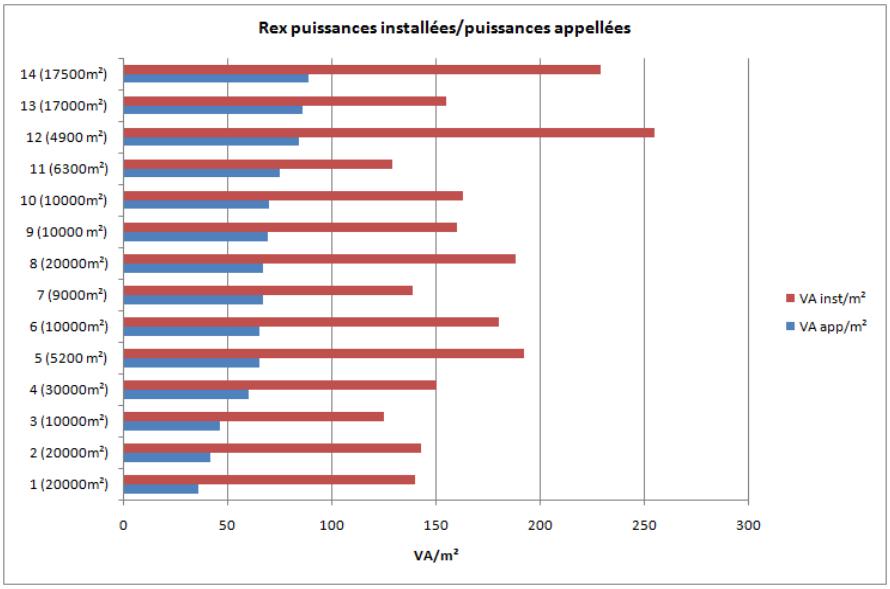


FIGURE 5 - SOURCE EDF - PROJETS TERTIAIRES REELS.

En conclusion, la première opportunité, en gérant la puissance, *est de mieux dimensionner la puissance installée.*

Dans l'exemple suivant, un bâtiment tertiaire de bureaux de 9400m^2 très optimisé sur l'enveloppe, tout-électrique, est mis en œuvre avec une gestion active des consommateurs. Nous donnons à suivre quelques données dimensionnantes.

Sur ce bâtiment, grâce à une SED, le choix d'une puissance installée divisée par deux a permis d'économiser 25% des travaux sur une partie du lot courants forts (transformateur, TGBT, câbles, armoires de distribution notamment), tout en respectant la réserve de puissance pour les preneurs.

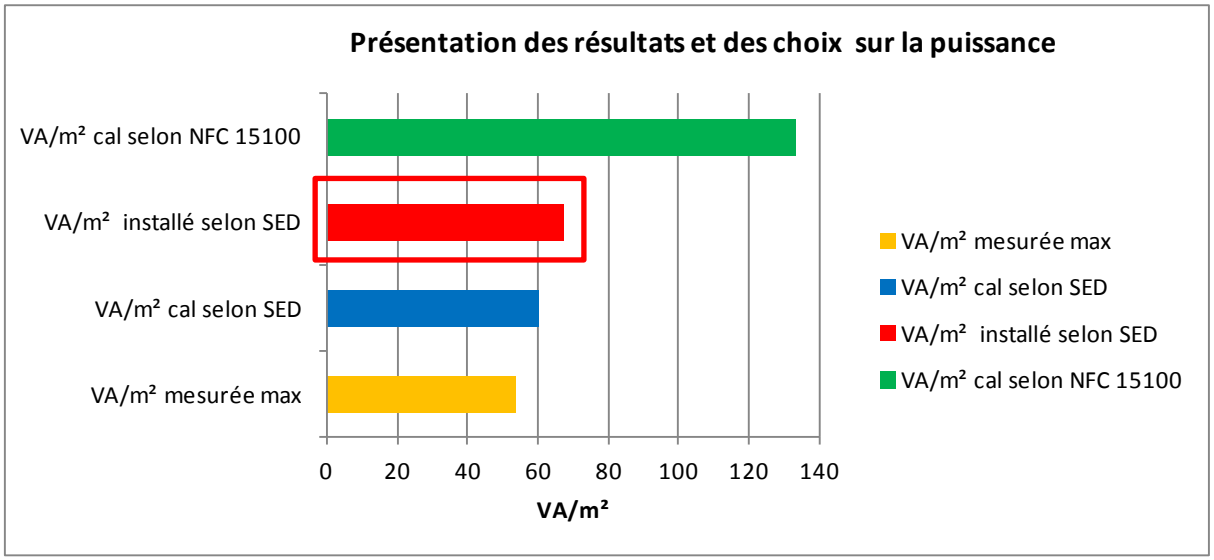


FIGURE 6 – DIMENSIONNEMENT ET PUISSANCE MAXIMALE APPELLEE SELON LA NORME C1500 (VERT), LA PUISSANCE INSTALLEE REELLE (ROUGE), LA PUISSANCE MAXIMALE CALCULEE PAR LA SED (BLEU), LA PUISSANCE MAXIMALE MESUREE (JAUNE).

Le raisonnement peut être appliqué dans toutes les configurations de bâtiments: les appels de puissances peuvent être dimensionnés au plus juste grâce à l'établissement des consommations totales par un calcul dynamique.

Quatre considérations importantes :

- Nota : ce « retour à la physique » et à une économie de projet « rationalisée » doit encore s'affranchir de normes qui doivent évoluer, à l'instar de la C15100 dans l'exemple ci-dessus,

- Sur les raccordements, notamment en cas de configuration envisagée d'un microgrid, le niveau de disponibilité des réseaux existant doit être explicité : aisée ou critique (exemple-type d'une réponse fournie par un opérateur de distribution à un client : « la réserve de puissance disponible au poste de distribution est supérieure à 15x la puissance à laquelle le bâtiment souhaite souscrire : excellente disponibilité de l'énergie de réseau»). Cela suppose une communication de cette donnée de la part des opérateurs de distribution à effets d'optimisation des énergies en disponibilité plus faible,

- En distribution par vecteur eau chaude, les appels de puissance sur le réseau de distribution résultent de la puissance nominale installée et du régime de température en phase de relance. On peut avoir un surdimensionnement apparent sur les émetteurs (lié au choix mobilier d'un émetteur par trame ou toutes les deux trames), mais on ne surdimensionne pas la production : elle compense les besoins thermiques globaux du bâtiment. Idem en eau glacée, où la production prend en compte le foisonnement des appels de puissance des émetteurs (par façades).

- Les coûts de raccordement en injection peuvent être extrêmement importants. En Languedoc-Roussillon, par exemple, pour le coût pour du raccordement d'ENR électriques dans le cadre de objectifs du SRCAE sont, pour 2288 MW à accueillir, d'une quote-part s'établie à **35,63 k€/MW (kilo Euros).**

3.1.2 EXEMPLE DE DIMENSIONNEMENT DES EQUIPEMENTS DE PRODUCTION ENERGETIQUE POUR LES LOGEMENTS

La figure suivante représente la courbe monotone de besoins de chauffage + ECS par accumulation qui permet de visualiser le nombre d'heures par an pendant lesquels un niveau de puissance appelé est atteint.

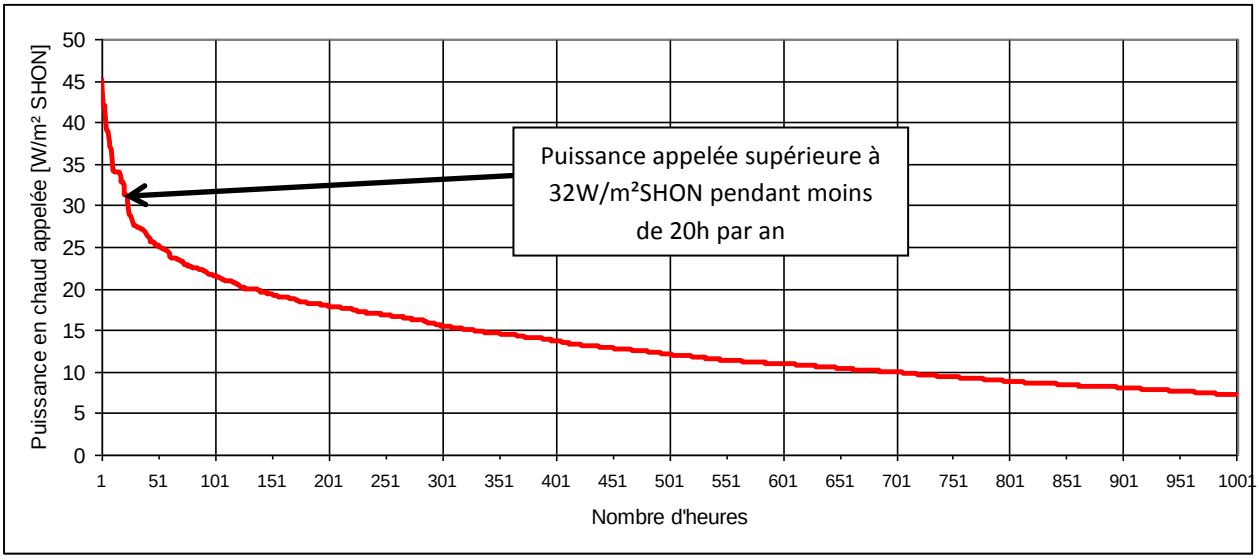


FIGURE 7 : COURBE MONOTONE DE CHAUFFAGE DE LOGEMENT RT2005 BBC A MARSEILLE- SOURCE : SETEC BATIMENT

Le dimensionnement classique d'une installation de production de chaleur (chauffage + ECS) correspondrait à 45W/m²SHON.

On constate sur cette courbe qu'une puissance supérieure à 32W/m²SHON est appelée pendant moins de 20 heures par an. En dimensionnant les équipements à 32W/m²SHON, il suffit de travailler sur la régulation des appels de puissance pour l'ECS pour ne pas dépasser cette valeur de dimensionnement.

Ce dimensionnement permet de réduire de 30% la puissance installée.

3.1.3 DIMENSIONNEMENT DES EQUIPEMENTS DE PRODUCTION ENERGETIQUE POUR LES BUREAUX

La figure suivante représente la courbe monotone de chauffage et de rafraîchissement qui permet de visualiser le nombre de jours annuels pendant lesquels les différents niveaux de puissance d'une installation sont atteints. Nous précisons que la simulation thermique dynamique est réalisée pour un immeuble de bureaux muni de protections solaires extérieures mobiles et intègre le free-cooling, mais pas la décharge énergétique nocturne.

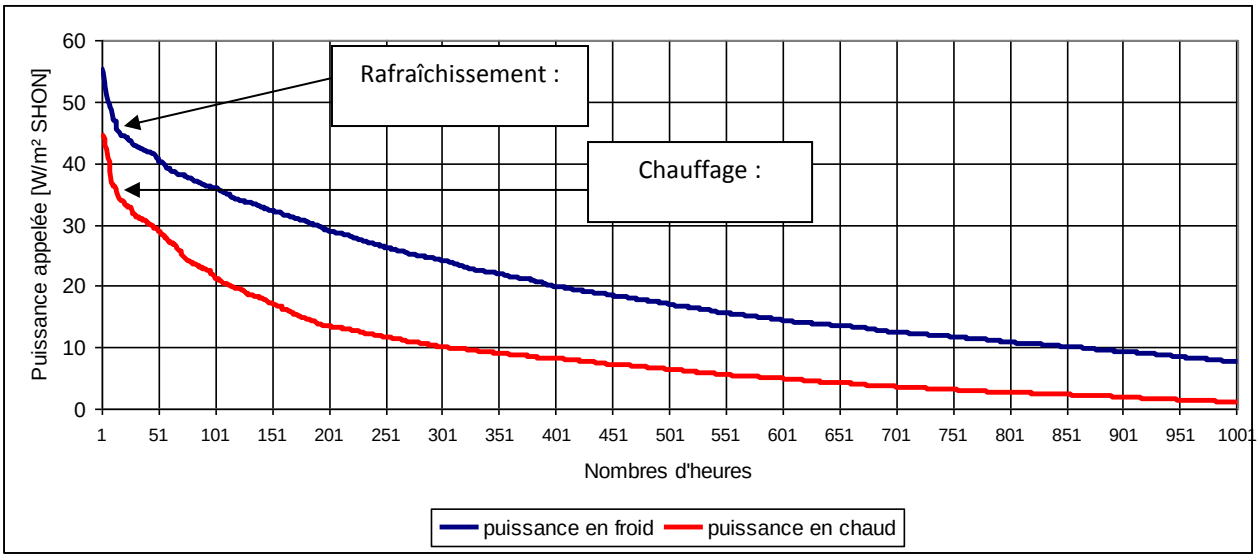


FIGURE 8 : COURBE MONOTONE DES PUISSANCES POUR UN IMMEUBLE DE BUREAUX BBC RT2005 A MARSEILLE

SOURCE : SETEC BATIMENT

En prenant une puissance installée de **45W/m²SHON pour le rafraîchissement**, la température de consigne de 26°C n'est pas atteinte 16h par an seulement, ce qui est très inférieur aux critères de confort classiques. La puissance installée retenue pour le chauffage est de **35W/m²SHON en chaud**, ce qui représente seulement 14h pendant lesquelles la régulation devra être optimisée, notamment le temps de relance du chauffage avant l'occupation des bureaux.

Ce dimensionnement permet de réduire de 20% la puissance installée en froid et en chaud.

Conclusions de ce paragraphe : en plus d'un dimensionnement effectué par SED, il est envisageable d'avoir des installations de production équipées de stockages de chaud et de froid afin de limiter les puissances mises en jeu. C'est là tout l'enjeu économique du BEPOS 2.0.

3.2 DEUXIEME NIVEAU : GERER LES PUISSANCES APPELEES

Au deuxième niveau, deux cas se distinguent :

1. Le bâtiment est mis en œuvre sans solidarité énergétique avec son voisinage,
2. Le bâtiment est mis en œuvre avec des échanges énergétiques avec son voisinage.

3.2.1 CAS DU BATIMENT MIS EN ŒUVRE INDIVIDUELLEMENT (PAS DE SOLIDARITE ENERGETIQUE)

Un gain évident consiste à souscrire le meilleur contrat au réseau électrique en travaillant à la réduction de la puissance souscrite. Des dispositions d'écrêtage, de limitation de la puissance, de décalage de consommation permettent un management actif de la consommation.

Un exemple est développé sur un bâtiment dont le chauffage électrique occasionne un pic de consommation le lundi matin à la relance du bâtiment. Un travail de gestion permet une relance optimisée et une diminution de 40% de la puissance maximale appelée.

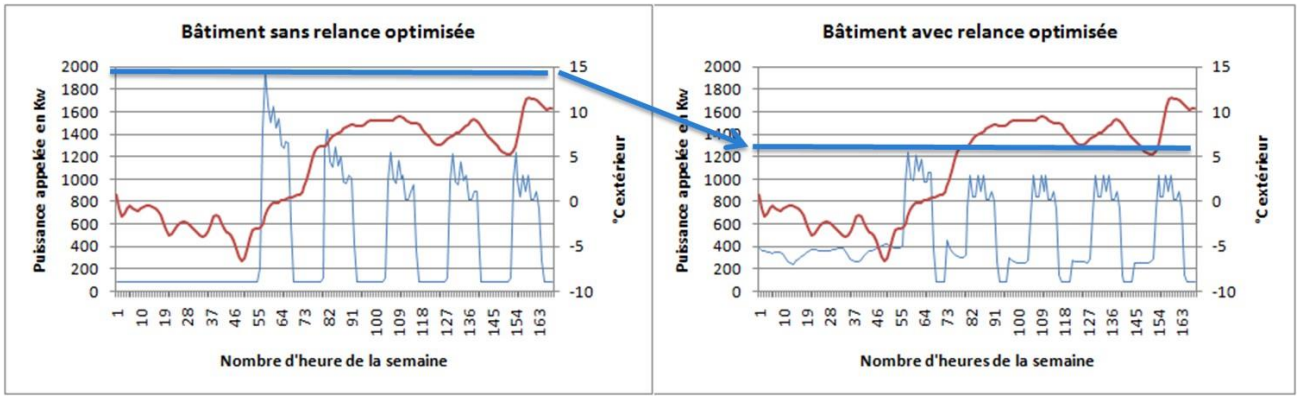


IMAGE 3 - LIMITATION DE LA PUISSANCE APPELEE - SOURCE EDF

Des inégalités peuvent facilement exprimer ce facteur de dimensionnement, sur l'électricité, par le coefficient p1:

- Pinst, la puissance installée dans le bâtiment (dimensionnement TGBT et émetteurs),
- Psous, la puissance souscrite par le bâtiment.

On définit un rapport de puissance soutirée, p1 = $\frac{Psous}{Pinst}$.

Un bâtiment serait optimisé si p1 = $\frac{Psous}{Pinst} < 0{,}2$ (chiffre à caler, par typologies).

C'est-à-dire que la mise en œuvre d'énergies renouvelables internes, de stockage et de tous les moyens possibles qui concourent à ce dimensionnement raisonnés sont évalués dans cette équation.

Cette équation peut avoir un pendant non électrique : on peut effet très bien imaginer un besoin d'optimisation par rapport à un réseau de chauffage urbain.

De même pour la puissance injectée sur le réseau électrique:

- Penr, la puissance installée dans le bâtiment,
- Pinj, la puissance maximale injectée sur le réseau par le bâtiment.

On définit un rapport de puissance injectée, p2 = $\frac{Pinj}{Pinst}$.

Un bâtiment serait optimisé si p2 = $\frac{Pinj}{Penr} < 0{,}2$ (chiffre à caler, par typologies)

Conclusion :

Ces deux équations, maîtrisées, permettent d'entraîner des économies substantielles de dimensionnement, tant côté bâtiment (dimensionnement des installations techniques) que du côté réseau.

3.2.2 Cas du batiment dans un systeme energetique local (microgrid)

L'équation développée au paragraphe précédent s'applique alors au niveau du quartier concerné, c'est-à-dire que la frontière du système énergétique concerné est plus grande que le simple bâtiment.

Dès lors:

- La complémentarité dynamique des structures de production et consommation ont été vérifiés au niveau de l'aménagement de cet ensemble de bâtiments,
- Les échanges entre bâtiment peuvent être importants à un instant donné (l'un produit, l'autre stocke, un troisième utilise),
- Le réseau électrique doit être localement dimensionné pour ces échanges (il s'agit notamment de penser un « TURPE local »).

On pourra alors ne pas limiter l'appel de puissance pour bénéficier des opportunités locales.

3.3 Troisieme niveau: ajustement de la consommation et de la production decentralisee.

Cette optimisation permet d'améliorer sensiblement les indicateurs IAC et IAP. Elle se base sur une série de moyens de pilotage et de stockage.

Le recours à un management actif des charges (en délestage ou surconsommation opportuniste) ou à un stockage (électrochimique, thermique y compris eau chaude, etc.) peut être nécessaire, lorsque la capacité de production est supérieure aux besoins (ex. toiture bien orientée, gestion de la production les jours de fermeture en tertiaire, etc.).

Une nomenclature importante permet de répondre à la question posée, tant en vecteur thermique (stockage inertiel du bâtiment, eau chaude, glace, etc.) ou électrique (pilotage des charges, etc.) ou mixte (cogénérations, etc.)

3.4 Quatrieme niveau : possibilite de demand-response

Le quatrième niveau correspond à la possibilité de mettre en œuvre une flexibilité (le pilotage d'une diminution ou augmentation de consommation) en fonction d'un signal :

- Sécurité du réseau électrique,
- Opportunité et intégration des ENR intermittentes,
- CO_2,
- Prix,
- Autre...

Cette possibilité est mise en œuvre grâce à une gestion globale de l'écosystème énergétique, déjà mise en place au niveau national (RTE), expérimental à l'échelle régionale (Nice, Bretagne) et local (GREENLYS, ISSYGRID, NICE GRID).

Un indicateur à développer autour de la flexibilité: le FLEX, capacité d'un bâtiment (à un intervalle horaire déterminé, exemple 18-20h, en Watts) à répondre à un signal en s'effaçant (négatif) ou consommant (positif).

Exemple : capacité d'effacement de 300 kW entre 19 et 20h :

FLEX - (19 – 20h) = -300 kW.

Utilisation :

- On pourrait définir plusieurs indicateurs liés aux contraintes horaires de la courbe nationale, exemple en semaine : FLEX (18h-20h) ;
- Ou lié à une contrainte locale, exemple de la pointe de midi à La Défense : FLEX (10h-12h)...
- On pourrait également par exemple relever la puissance énergétique et électrique maximale[11], qui est appelée par le bâtiment le jour le plus froid (ou le plus chaud).

Exprimé à J-1, cet indicateur pourrait être exprimé soit en puissance pour une durée fixe, soit en durée pour une puissance fixe pour les marchés capacitaires soit en énergie mixant les deux grandeurs pour les marchés en énergie. Le BEPOS 2.0, s'il est capable de fournir une prévision de flexibilité à J+1, est la définition d'un bâtiment "SMART GRID READY[12] ».

Sa valorisation est réalisée tant pour des contraintes réseaux (pointes ou creux local ou national) que pour les contraintes des responsables d'équilibre, elle peut avoir lieu à différents horaires sous des contraintes d'exploitation diverses.

Cet indicateur reporte des qualités structurelles du bâtiment de possibilités de flexibilité du bâtiment sous contrainte de garantie de qualité des services énergétiques rendus.

Compléments sur les optimisations :

Pour répondre à ces différents cas de figures le choix devrait pouvoir être laissé à un exploitant de choisir son mode d'optimisation entre 4 grandeurs de mesure des énergies :

- Optimisation économique / prix, en utilisant des flexibilités liés à l'utilisation de grille temporelles tarifaires ou à la revente d'effacement,
- Optimisation en contribution CO_2 en utilisant les flexibilités développées dans le bâtiment liées à l'utilisation de grilles temporelles carbonées. A noter que certains acteurs immobiliers en France et en Europe sont demandeurs de faire une optimisation de leur trace carbone et seraient favorables à l'utilisation d'une grille temporelle de carbone pour l'électricité. cette grille serait relativement facile à faire par exemple à partir d'ecomix2 soit en prévisionnel annuel, soit en prévisionnel J+1. Ce système serait aussi vertueux sinon plus que des grilles tarifaires ou un TURPE horosaisonnier,
- Sécurité énergétique réseau (signal opérateur du réseau),
- Signal de disponibilité ENR dans le mix énergétique (thermique, électrique).

[11] Exemple : dans le futur quartier développé par Bouygues Immobilier à Nanterre, la question se pose avec intérêt concernant un appel de puissance sur le réseau d'eau chaude qui desservira le quartier – sa maîtrise évitera de recourir à un appoint par chaudière gaz, dans le cadre d'un engagement pris face à la collectivité.

[12] Définition apportée par les opérateurs du projet démonstrateur GREENLYS

4 BATIMENT A ENERGIE ET PUISSANCE OPTIMISEE ET **SOLIDAIRE…**

La solidarité s'exprime à plusieurs niveaux, dans ce qui a été exposé ci-dessus :

- **Dans les échanges locaux**, lorsqu'il est avéré la complémentarité des bâtiments et la possibilité technique de ces transactions (organisation de mutualisation et solidarité énergétique, mixité d'usage à la maille du quartier),
- **Dans la maximisation des énergies renouvelables** et la **limitation des gaz à effets de serre**,
- Dans la **solidarité avec les réseaux** de transport et de distribution électrique,
- Dans **l'optimisation des investissements** faits antérieurement par la collectivité dans des réseaux existants de toute nature,
- Dans **la valorisation du potentiel renouvelable des territoires** (vent, soleil, géothermie, biomasse, biogaz),
- Dans le **coût responsable** de ces solutions (investissement, exploitation),
- Dans l'augmentation de la résilience du territoire face à des aléas techniques (ou climatiques, par exemple.)

<u>Développement du sujet de résilience du territoire :</u>

Lors d'un alea violent le territoire et plus encore s'il s'agit d'un microgrid peut se trouver sous contrainte forte, non prévisible de déséquilibre de production/consommation amenant à des délestages d'urgence pour éviter l'écroulement du réseau.

La participation solidaire à ces délestages d'urgence pourrait se planifier sur un bâtiment en prévoyant des délestages sélectifs sur différents niveaux d'appel, sur des consommations dont les services sont considérés comme moins prioritaires pour éviter de délester des consommateurs plus prioritaires. Un indicateur très simple en pourcentage est tout trouvé pour décrire cette aptitude au délestage d'urgence, en résilience : puissance délestable/puissance souscrite.

Exemple : couper la climatisation des bureaux et commerces pour sauver l'approvisionnement de l'hôpital et des écoles.

5 POURQUOI CE BEPOS EST « 2.0 » ?

Le bâtiment est la brique intelligente d'un écosystème énergétique optimisé économiquement, il est par conséquent capable de réguler son appel de puissance électrique en fonction de signaux extérieurs :

- Il relie plus intelligemment les informations de production et les informations d'usage,
- C'est un bâtiment qui échange des informations et données avec l'extérieur, dans son environnement direct ou à d'autres niveaux,
- Il est capable de dialoguer en protocole ouvert avec d'autres installations liées à l'énergie,
- Il se régule en fonction d'une algorithmique qui, selon l'utilisateur, optimise les échanges, basé sur 4 paramètres : sécurité énergétique, caractère renouvelable de l'énergie, quantité de GES émises et prix.

6 RECHERCHE DE L' « ENERGIE POSITIVE »

Le BEPOS 2.0 est une prédisposition générale du bâtiment à l'énergie positive. Celle-ci peut être confirmée dans la conduite postérieure du bâtiment, en calculant le recours aux énergies non renouvelables puisées en dehors du système bâtimentaire.

Le bon indicateur de l'énergie positive n'est donc pas une inégalité sur des quantités annuelles d'énergie, mais bien la détermination de la quantité d'énergie non renouvelable consommée par le bâtiment sur la somme des énergies, de manière dynamique :

Consommation d'énergie non renouvelable $C_{NENR} = \sum_{Sources} \int \ (1 - \ tauxENR(t)) \times consommation(t)dt$

Le caractère dynamique de ce calcul ne le rend possible que par un calcul temps réel.

Toutes les informations convergent à ce qu'il soit effectué, par un pilotage énergétique :

- Communication de données, notamment connaissance du mix énergétique national à 15 minutes près (source RTE),
- Connaissance des impacts des autres énergies,
- Système de mesure et vérification nécessaire.

Cette vérification a posteriori participe d'un vrai mouvement vers une véritable culture de résultat, tant dans les charges pour les utilisateurs que pour la collectivité.

7 L'ECONOMIE GLOBALE DES PROJETS BEPOS 2.0

Il convient de faire plus finement à l'avenir le bilan économique pour un bâtiment, en voici une première liste :

Coûts évités	**Coûts additionnels**
(Etudes d'optimisations a posteriori.)	Etudes de conception augmentées des aspects dynamiques.
Gains d'investissements : diminution de l'appel de puissance : diminution de la puissance installée et souscrite.	Moyens de pilotage intelligent, Stockage, autoconsommation, etc. Pilotage, Coûts de maintenance et production lors de la vie en œuvre.
Fin de la génération systématique en « compensation RT2012 » sans réflexion objective sur les besoins et la production.	Eventuelle solidarité énergétique.

<u>Conclusion partielles sur les coûts :</u>

En tertiaire, selon les membres IFPEB, le « coût du BEPOS 5 usages EFFINERGIE » actuel serait, sur quelques retours d'expériences, de l'ordre de 5 à 15% plus élevé qu'un bâtiment RT2012, chiffre baissant évidemment en fonction de la courbe d'expérience.

Pour le BEPOS 2.0 proposé ici, les gains d'investissements ne sont pas quantifiés à ce stade (ou seulement partiellement), mais seront vraisemblablement compensés par les surcoûts d'exploitation. On est donc à coûts maîtrisés équivalents à un bâtiment conventionnel. Les gains sont, à budget constant, à exprimer en termes environnementaux ou de service rendu.

8 CARTE D'IDENTITE / CADRAGE D'UN BATIMENT BEPOS 2.0

Variable	**Dimensionnement/exemple**
Coefficient de qualité du bâti et des systèmes	Exemples : EFFINERGIE +, C_{EP} de la RT2012 avec une marge de progrès (en pourcentage), calculé sans compensation ENR. Le Bbio représentatif de la qualité du bâti.
Emission de Gaz à Effets de Serre (GES)	GES en Kg_{CO2Eq} / unité fonctionnelle / an Capé par une valeur annuelle moyenne.
Taux d'énergies renouvelables utilisées OU Quantité d'énergie non renouvelable utilisée C_{NENR}	En kWh non renouvelables / unité fonctionnelle (poste de travail, etc.) / an. Variable à minimiser.
Coût de l'énergie	Coût global du système énergétique, rendu à l'utilisateur, et ses décompositions (investissement / coût du kWh par énergie).
Couverture renouvelable de l'énergie	$\boldsymbol{Cenr} = \frac{E1+E2+E3}{B}$ Au-dessus de 0,30 ?
Coefficient de dimensionnement P1 de la puissance souscrite, Coefficient de dimensionnement P2 de la puissance injectée.	p1 = $\frac{Psous}{Pinst} < 0{,}2$ (ou 0,3, 0,4 ? par typologies ?) p2 = $\frac{Pinj}{Penr} < 0{,}2$ (idem, à caler en fonction des typologies)
Indicateur FLEX : le bon indicateur pour l'aptitude au Demand – Response ? Coefficient FLEX - < 0 : effacement Coefficient FLEX + > 0 : possibilité de surconsommer. Il s'agit du MAX de la puissance appelée sur un intervalle de temps donné. On pourrait introduire un dénominateur pour normer le FLEX en fonction de la puissance installée.	En puissance, Watts ou kW. Exemples tertiaires : FLEX - (19 – 20h) = - 330 kW FLEX + (9 – 11h) = 220 kW Etc.
Participation à la résilience du territoire / sécurité énergétique.	% de puissance effaçable par rapport à la puissance totale souscrite sur chaque vecteur énergétique.

9 CONTRIBUTEURS

Les entreprises suivantes, via leurs départements développement durable, développement ou markéting stratégique, techniques, chiffrage, études, recherche et développement, ont contribué à cette note :

- BNP PARIBAS Real Estate,
- Bouygues Construction,
- Bouygues Immobilier,
- Bureau Veritas,
- CBRE France,
- CIAT,
- EDF,
- EIFFAGE Construction,
- EIFFAGE Energie,
- ENGIE,
- SCHNEIDER Electric,
- SETEC Bâtiment,
- VERSPIEREN.

Il est à noter que cette contribution est portée par un panel d'entreprises, dont l'inventaire des métiers est ici rappelé:

- Investisseur,
- Promoteur,
- Constructeur,
- Entreprise de contrôle technique et d'audit,
- Installateur systèmes énergétiques,
- Bureau d'étude,
- Exploitant,
- Industriels des systèmes énergétiques,
- Energéticiens,
- Courtier d'assurance.