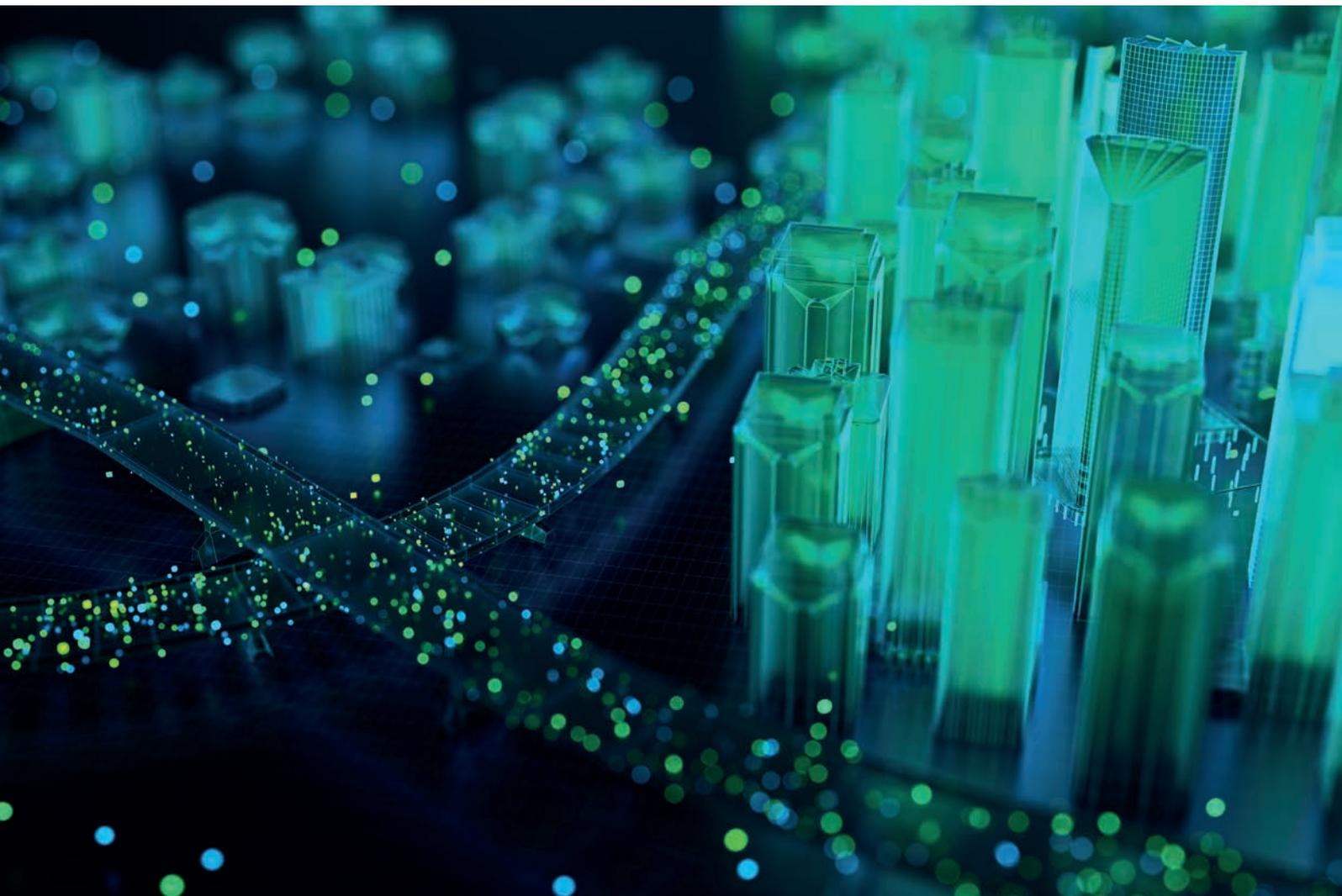


LIVRE BLANC

VERS UNE **PERFORMANCE GLOBALE** **ET DURABLE** DU **BÂTIMENT**



Préface

L'humanité est créatrice. Elle cherche à améliorer ses conditions de vie, à créer des lieux d'échanges, d'habitat et d'activités conformes à ses exigences. En cela, l'humanité est également destructrice. Elle doit dompter et modifier son environnement pour l'adapter à ses besoins. Reste à trouver un équilibre. Les millénaires qui ont précédé notre époque ont amené leurs lots de grandes innovations techniques et technologiques qui ont conduit à croître et intensifier dans le même temps l'urbanisation de nos sociétés et les déséquilibres de nos écosystèmes.

Nous arrivons aujourd'hui à l'ère de la recherche de ce nécessaire équilibre : la maîtrise d'un réchauffement climatique désormais inévitable nous l'impose. Ainsi, soutenue par l'ère du numérique, l'indispensable transition énergétique entre dans nos schémas de pensée et de développement. Elle nous contraint à bouleverser nos modèles antérieurs.

Elle invite à les réinventer.

Face à ces enjeux climatiques et aux grands défis de l'évolution de nos sociétés, le bâtiment est au cœur des préoccupations. Sans nécessairement conduire à un renversement Copernicien complet, il est essentiel d'anticiper au plus tôt un nouveau paradigme afin de **concevoir une trajectoire durable**.

La prise en compte des nouveaux paradigmes énergétiques du bâtiment, tel que nous le développons dans ce livre blanc, impose d'envisager les évolutions de demain selon une **approche globale** pour être robustes et durables.

Ainsi, tout ensemble urbain - à l'instar de toute entreprise - n'est pérenne que si l'on y trouve un équilibre entre les **quatre axes clés de la RSE**, à savoir : le développement économique, l'équilibre social, sociétal et, bien entendu, environnemental. C'est une première raison pour considérer le caractère nécessairement global de l'approche du bâtiment de demain.

En deuxième lieu, le bâtiment s'inscrit dans un écosystème énergétique et numérique de plus en plus maillé et complexe, en symbiose avec son environnement. Le bâtiment devient **un acteur énergétique à part entière**. Cela supposera de le penser dès sa conception, en intégrant ces nouvelles opportunités technologiques, mais aussi en créant l'ensemble des outils juridiques et cadres contractuels qui porteront les solutions à venir.

Dans les décennies à venir, la sobriété énergétique ira également de pair avec la **maîtrise de l'eau**, aussi bien dans sa consommation que dans sa valorisation énergétique. Une fois encore ce sont autant des champs de contraintes que d'opportunités.

Tout ceci conduit à **cesser de considérer un projet de bâtiment de façon isolée et figée**. Il s'agit de l'envisager dans un périmètre élargi, avec une vision systémique, évolutive et en profondeur, tout en s'appuyant sur l'opportunité de la transition numérique comme un levier indispensable pour relever ces ambitieux challenges.

Une nouvelle ère énergétique

Le changement climatique est aujourd'hui inévitable. Maintenir celui-ci à un niveau acceptable reste cependant possible à condition de réussir une transition énergétique aussi drastique que rapide. Les tendances actuelles laissent entrevoir que mener à bien cette transition repose sur un véritable changement de paradigme où la performance énergétique résulte d'une optimisation systémique, globale et durable.

Changement climatique

La maîtrise du changement climatique est probablement **le défi actuel le plus important** auquel l'humanité doit se confronter. Afin de lutter contre ce changement, les émissions de gaz à effet de serre issues des activités humaines doivent être drastiquement réduites en assurant une **transition vers des énergies décarbonées et dont l'usage est maîtrisé**. Bien qu'il soit aujourd'hui impossible d'éviter ce réchauffement, les objectifs fixés par les accords de Paris entendent le limiter à 2 degrés (voire même 1,5 degré) d'ici 2100, niveau de sécurité au-delà duquel les conséquences du changement climatique deviendraient catastrophiques. Afin de mieux évaluer la difficulté d'atteindre cet objectif, il est utile d'avoir recours au concept de **budget carbone global**. Un budget carbone global identifie les émissions cumulées de carbone ajoutées à l'atmosphère pour une probabilité raisonnable de maintenir les températures moyennes sous un certain plafond. Les simulations du GIEC indiquent qu'un objectif de 2°C avec une probabilité de 66% revient à un budget carbone de 2900 Gt CO₂ ou, autrement dit, 20 ans d'émissions aux niveaux actuels¹.

Le bâtiment énergivore

Pour autant, relever ce défi reste possible et le bâtiment constitue un **levier d'action essentiel**. Il est en effet le premier poste de consommation énergétique en France, comptant pour près de 45% de la consommation d'énergie finale et 17% des gaz à effet de serre (GES)². En conséquence, une réglementation toujours plus stricte a été mise en place pour aboutir d'ici 2020 à des bâtiments neufs à énergie positive (nouvelle norme RT2020).

Cependant, le secteur du bâtiment est l'un des postes en France (avec le transport) dont les réductions des émissions de GES sont encore **très mitigées**. En effet, en 2016, le bilan de la stratégie nationale Bas-Carbone (SNBC) indique que ses émissions ont connu une hausse de 11%³ par rapport au plafond indicatif, contribuant fortement au dépassement par la France de son premier budget carbone (période 2015-2018). De plus, compte tenu des effets inévitables d'inertie, la France dépassera également son deuxième budget carbone, pour la période 2019-2023, à minima de 24 Mt/an. Bien qu'en parallèle nous pouvons observer une baisse de la consommation énergétique, cette baisse reste insuffisante et **s'écarte de façon préoccupante** du scénario de référence pour le résidentiel.

¹ "Global Carbon Budget"
<http://www.globalcarbonproject.org/>

² Les chiffres clés du climat – France, Europe et Monde – Edition 2018

³ <https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/suivi-strategie-nationale-bas-carbone#e6>

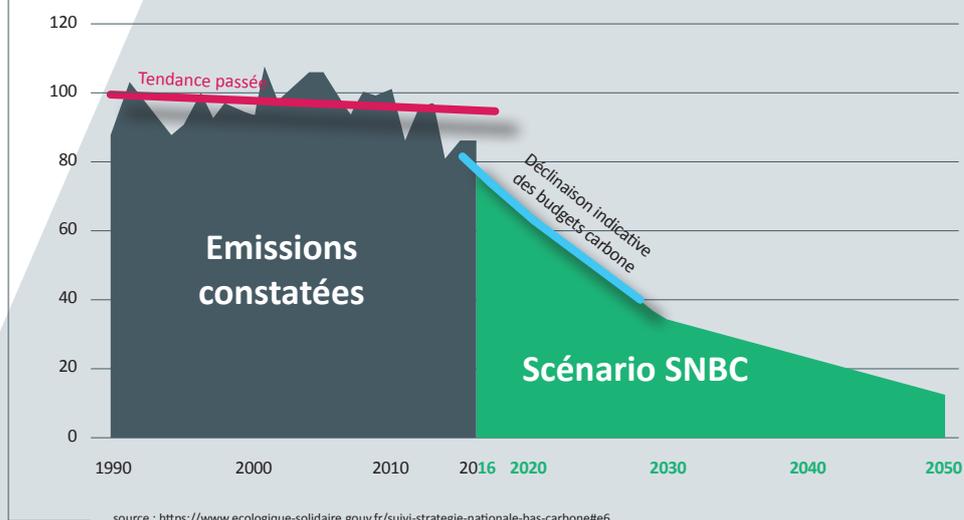


Nouveaux paradigmes

Face à ces constats, il est essentiel que le bâtiment s'intègre pleinement dans la transition énergétique à venir. Celle-ci est cependant basée sur le développement d'un **ensemble de nouveaux systèmes énergétiques** dont les caractéristiques se distinguent nettement des approches traditionnelles.

D'un point de vue technique tout d'abord, le mix énergétique anticipé aura pour conséquence de **penser l'interconnexion** entre systèmes pilotables et décentralisés, dont la flexibilité est un enjeu crucial. Les techniques de **stockage de l'énergie** notamment auront un rôle majeur à jouer, que ce soit sous forme d'électricité, de gaz ou d'eau. Dans cette optique, les réseaux de chaleur et de gaz, par le biais du *power-to-gas* ou *power-to-heat*, formeront de **nouvelles complémentarités** avec les réseaux électriques.

Evolution des **émissions de gaz à effet de serre** dans le secteur « bâtiments » et objectifs de la stratégie nationale Bas-Carbone (en Mt CO₂ éq)



En parallèle à l'éolien et au photovoltaïque, des marchés en pleine croissance comme la **pompe à chaleur** et des technologies de plus en plus matures comme la **micro-cogénération** pourront également jouer un rôle significatif dans le *mix* énergétique, notamment avec la nouvelle norme RT2020. Selon le service des statistiques du ministère de la Transition écologique et solidaire, les biocarburants, les pompes à chaleur et l'éolien sont les filières d'énergies renouvelables qui ont le plus progressé ces 20 dernières années. Si les incertitudes techniques sont évidemment de mise, les **tendances aux énergies renouvelables et à la décentralisation** restent des principes inhérents à la neutralité carbone.

Le numérique, un levier essentiel

Néanmoins, ces nouveaux systèmes techniques ne sauraient fonctionner sans la flexibilité nécessaire afin de constamment **optimiser la demande** au plus près des besoins et **l'équilibrer avec les capacités de production**. C'est ici qu'entre en ligne de compte le numérique et ses nouvelles possibilités de **collecte et d'analyse des données** afin de former, avec le stockage, les réseaux intelligents (*smart grids*). Le numérique participe ainsi pleinement à l'interconnexion du local avec le global et à l'équilibre offre/demande en permettant une **meilleure gestion des ressources et des comportements** de consommation. En parallèle, il est également le soutien des nouveaux modes de coordination du secteur avec des outils comme le BIM (*Building Information Modeling*) ou la blockchain. La transition numérique est ainsi une composante nécessaire de la transition énergétique.

La raréfaction de l'eau

La maîtrise énergétique en tant que telle n'est cependant pas le seul domaine à considérer. En effet, en raison du changement climatique et de l'évolution démographique, la raréfaction de l'eau devient également un sujet d'inquiétude majeur. Selon le World Water Development Report 2015 de l'*United Nations Water*, si rien n'est fait, le monde pourrait faire face à une **pénurie de 40% d'eau potable** d'ici 2030. De plus, si l'augmentation de la consommation d'eau douce continue sur cette même tendance, l'Homme pourrait en avoir utilisé plus de 90% d'ici 25 ans. L'enjeu est d'autant plus vital que l'eau est, comme nous allons le voir, une **ressource énergétique** de premier plan. →



L'eau, un vecteur énergétique clé

Généralement traités séparément, l'eau et l'énergie entretiennent pourtant une relation intime dont la considération est essentielle dans une perspective d'optimisation. **L'eau a besoin d'énergie et l'énergie a besoin d'eau**, depuis les centrales hydrauliques jusqu'aux stations de traitement et d'assainissement en passant par les pompes à chaleur et les échangeurs.

L'eau est un vecteur énergétique indispensable pour la production de chaleur et de froid comme le chauffage urbain, la géothermie positive (ou négative) pour la production naturelle de chaleur (ou de refroidissement), les boucles d'eau tempérées, les systèmes basés sur l'évaporation (tours aéroréfrigérantes et condenseurs), etc. Dans l'ensemble du cycle de l'eau, les effluents constituent aussi bien une source de **récupération** d'énergie fatale que de **création** d'énergie renouvelable (biogaz). C'est enfin un système de **stockage** énergétique tel que les stations de transfert d'énergie par pompage.

Il existe ainsi un enjeu important sur les **synergies** entre l'eau et l'énergie, notamment si l'on considère le contexte d'interconnexion des réseaux énergétiques qui se dessine.

Repenser la performance énergétique

Finalement, cet ensemble de tendances et de perspectives sur les systèmes énergétiques de demain pose une autre question fondamentale : comment **penser l'efficacité énergétique** des bâtiments au sein de cette nouvelle chaîne énergétique ? En effet, de manière paradoxale, alors que les réseaux étaient globaux et centralisés, l'efficacité énergétique était pensée de manière non systémique, à l'échelle d'un bâtiment ou d'un équipement et sans grande considération pour les facteurs non techniques (économique, sociologique, psychologique, etc.). Il apparaît cependant extrêmement difficile, voire impossible, de développer des systèmes bas-carbone sans avoir une **approche systémique** et tenant compte de l'interconnexion de multiples sous-systèmes. L'analyse des usages énergétique quitte alors nécessairement le bâtiment pour s'étendre à l'échelle d'un quartier, d'une ville ou d'un territoire. Ainsi, c'est dans cette perspective que nous devons repenser les fondamentaux de la performance énergétique.

Des scénarii prévisionnels

Face à la nécessité d'une transition énergétique globale, un certain nombre de scénarii de transition ont été développés par les organismes et institutions de l'énergie (AIE, Négawatt, ADEME, RTE, ANCRE, etc.). En 2013, le Conseil National du Débat sur la Transition Énergétique (CNDTE) avait ainsi pu identifier 4 grandes catégories de scénarii se différenciant principalement par leurs hypothèses sur le degré de recours au nucléaire, le niveau d'intégration des énergies renouvelables et le degré d'évolution de la demande énergétique.

Depuis, si des mises à jour ont été réalisées (notamment par l'ADEME, Négawatt, RTE et l'ANCRE), les grands principes restent identiques. Atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050 demandera de supprimer le recours aux énergies fossiles, une gestion énergétique optimale et des changements de comportement.

À retenir

Le bâtiment est un acteur essentiel des nouveaux paradigmes énergétiques.

La ressource eau est **indissociable** de l'énergie.

Nous devons **repenser** la performance énergétique des bâtiments.

La dimension globale

La transition énergétique à venir et l'émergence associée de nouveaux systèmes énergétiques amènent à repenser en profondeur les notions de performance et d'efficacité. Les énergies renouvelables, l'interconnexion des systèmes, les smart grids, les comportements des consommateurs, l'agrégation et l'effacement, l'économie circulaire ou encore le numérique sont autant de facteurs qui ne peuvent pas être pensés de manière indépendante les uns des autres. L'efficacité repose au contraire sur une symbiose entre le bâtiment et son environnement énergétique.

La notion de performance énergétique

Les termes et notions liés à la bonne gestion de l'énergie, et notamment le concept de performance, tendent à accueillir plusieurs interprétations. La performance peut être entendue comme un **rendement** (rapport entre l'énergie utile et l'énergie dépensée) ou du point de vue de l'efficacité, c'est-à-dire la minimisation de l'énergie dépensée pour un service rendu identique. Dans le cadre du bâtiment, le terme de performance énergétique apparaît essentiellement au regard de certifications, de réglementations ou de labels couplés à des plans de mesure et des résultats à atteindre (par le biais de diagnostics ou de contrats de performance énergétique). Sur le plan plus général des organisations, la performance énergétique est notamment abordée sous la récente norme ISO 50 001 avec une forte dimension managériale et d'amélioration continue.

Il s'agit cependant toujours de réduire la notion de performance énergétique à une prescription d'efficacité énergétique. De plus, de manière implicite, ces approches considèrent une **entité unique** voire un équipement unique, de manière isolée et sous un angle technique fortement dominant. Or, si cette approche peut convenir aux systèmes énergétiques traditionnels, très centralisés et sans circularité, elle n'est plus adaptée aux paradigmes énergétiques à venir.

Changer de paradigme

L'évolution des normes et réglementations régissant la performance énergétique des bâtiments a donné lieu à plusieurs catégorisations ou typologies comme les bâtiments à zéro énergie, les bâtiments à énergie positive (BEPOS) ou encore les bâtiments passifs ou neutres. Cependant, ces typologies restent sur une notion d'efficacité énergétique liée au bâtiment seul. Or, **les tendances et systèmes émergents sont antagonistes de cette vision**. Un bâtiment BEPOS aujourd'hui, par exemple, n'est pas constamment positif ou autosuffisant. Il doit pouvoir s'intégrer dans un **écosystème d'échange énergétique** et passer de l'échelle du bâtiment à celui du quartier, de la ville voire du territoire. En outre, le rapport entre énergie grise et énergie liée à l'exploitation tend à augmenter, ce qui pose d'autant plus la question du périmètre énergétique du bâtiment.

De manière plus générale, il est possible de ramener les nouveaux systèmes énergétiques à trois grands principes différenciateurs des systèmes traditionnels :

- la **décentralisation** de la transformation énergétique,
- la **valorisation** de l'énergie fatale et, plus généralement, la prise en compte de l'**économie circulaire**,
- le **couplage** et l'**interconnexion** des systèmes.

Ces caractéristiques proviennent de trois éléments fondamentaux des stratégies d'efficacité énergétique : le recours aux énergies renouvelables, l'augmentation des rendements par des approches de valorisation de l'énergie fatale et l'usage du numérique afin de réguler les systèmes. Cet ensemble conduit à une **approche systémique** formée d'une part de réseaux intelligents (*smart grids*) et d'autre part de circularité énergétique. →



Energies renouvelables et réseaux intelligents

Si les énergies renouvelables ouvrent la voie à la production décentralisée d'énergie, elles se différencient fondamentalement des systèmes traditionnels par leur intermittence, une diffusion sur tout le territoire, la quasi-absence de pilotage et une prévisibilité délicate. Ces caractéristiques amènent à devoir gérer un **mix** énergétique très varié et de **nouvelles problématiques de résilience** des réseaux impliquant des arbitrages inédits de **dimensionnement** et d'**équilibre offre/demande**.

Gérer ces nouveaux réseaux nécessite le développement des « *smart grids* ». Le *smart grid* est ici à comprendre **toutes énergies confondues**, incluant aussi bien les réseaux électriques que gaziers et thermiques. Ainsi, c'est un ensemble de réseaux intelligents plus ou moins étendus et interconnectés qu'il sera nécessaire d'optimiser afin de gérer l'intermittence des sources renouvelables, garantir leur résilience et optimiser le réseau global.

Trois éléments clés constituent un *smart grid* : les capacités de **stockage** énergétique, les outils numériques de **régulation** offre/demande et une **maille variable** bâtiment-quartier-ville-territoire. Ces *smart grids* peuvent être pensés pour intégrer massivement les énergies renouvelables avec le réseau public de distribution ou des situations d'ilotage (déconnexion du réseau public).

Dans le premier cas, le fonctionnement du système dépend des **flux d'import/export d'énergie**. Par exemple, sur un quartier, il y a généralement des flux d'importation d'énergie liés à l'éclairage public, à la consommation des transports, aux infrastructures de transport (revêtement routier, caniveaux, trottoirs...), et aux flux des déchets. Dans le second cas, la capacité d'une zone ou d'un territoire à pouvoir se déconnecter de l'infrastructure nationale grâce aux technologies de stockage, et fonctionner sur un mode dégradé grâce à sa production d'énergie locale confère une résilience d'alimentation de secours dans le cas par exemple de catastrophes naturelles.

Valorisation et circularité énergétique

Cette notion d'assemblage de systèmes énergétiques amène à penser en termes de valorisation et circularité. En effet, la valorisation de la chaleur fatale, les réseaux de chaleur, le *power to gas*, la cogénération et la méthanisation sont autant de possibilités qui permettent de développer la circularité des usages énergétiques par le biais d'une valorisation de l'**énergie fatale**, du stockage de l'**énergie excédentaire** et de la valorisation des **effluents**. Ainsi, optimiser correctement ces systèmes demande de créer les bons couplages de sources, vecteurs et usages énergétiques. Ce bon couplage dépend d'un ensemble de facteurs comme la distance, le rapport production/consommation énergétique, les conditions climatiques, etc.

La valorisation tend également à distribuer des **rôles énergétiques** au sein du réseau. En effet, alors que l'industrie est une source importante de chaleur fatale, le bâtiment sera plutôt un consommateur de chaleur. En revanche, il pourra être une source d'électricité excédentaire. Finalement, chaque composant du système aura potentiellement un rôle différent selon la situation énergétique dans laquelle il se trouve.

Le bâtiment, acteur énergétique

Le bâtiment devient ainsi un acteur énergétique et non plus simplement un consommateur passif en bout de chaîne. Il entre en **symbiose énergétique avec son environnement** et s'associe à un écosystème où l'équilibre entre le global, le local et les différents usages énergétiques doit pouvoir être maintenu. Par exemple, il peut s'intégrer aux systèmes de mobilité électrique et constituer une source d'énergie mais également échanger de l'énergie avec d'autres bâtiments. Le bon usage et la bonne exploitation du bâtiment seront ici essentiels afin de jouer les bonnes répliques au bon moment.

Autoconsommation collective à l'échelle du bourg de la commune de Langouet

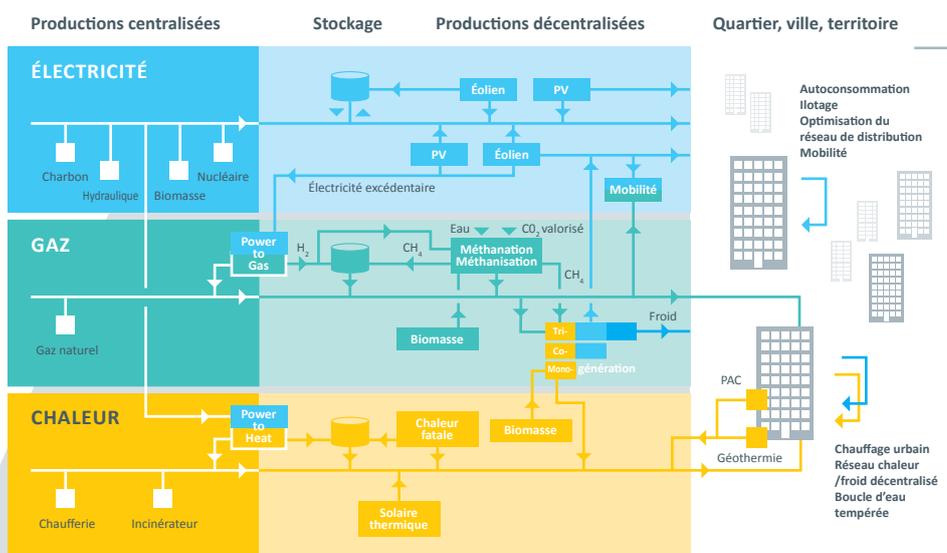
Dans le cadre d'un projet ADEME « urbanisme et économie circulaire » et du programme SMILE, H3C Energies/ Polenn participe sur l'ensemble du bourg de la commune de Langouet (35) à un projet d'autoconsommation qui vise à imaginer et à mettre en action les thématiques d'urbanisation, de construction, de mobilité et d'écosystème global dans une démarche C2C (Cradle to Cradle – du berceau au berceau – économie circulaire à impact positif).

Il est notamment prévu de développer deux boucles d'autoconsommation collective à l'échelle du bourg de Langouet en tirant parti pour l'une des productions photovoltaïques (au sol ou en toiture) de la commune et pour l'autre des productions privées. Des modules de stockage collectif pourront également être mis en place sur les boucles pour optimiser le taux d'autoproduction. Ces installations sont prévues dans un objectif multiusage à la fois pour les logements et bâtiments publics de la commune et pour alimenter des bornes de recharges de véhicules électriques. Afin d'organiser ces échanges, un nouveau dispositif contractuel sous forme de blockchain et d'une nouvelle personne morale, la Personne Morale Organisatrice (PMO), vont également être testés.

Ainsi, de par ses ambitions au niveau de l'ensemble du bourg, ce projet est parfaitement représentatif d'une approche globale de la performance énergétique et, plus largement, écologique.



Décentralisation et interconnexion des réseaux énergétiques



Les nouveaux réseaux énergétiques sont à la fois décentralisés et interconnectés. Ils reposent sur les énergies renouvelables, la valorisation de l'énergie fatale et des couplages innovants. Les systèmes de stockage sont centraux afin de réguler l'offre et la demande. Dans ce contexte, le système énergétique n'est plus considéré à l'échelle du bâtiment mais d'un quartier, d'une ville ou d'un territoire avec un mix énergétique varié (gaz, électricité, chaleur) entre le local et le global.

Une vision systémique

C'est ainsi une vision systémique que ces nouveaux paradigmes invitent à développer. La première conséquence est que l'on ne pense plus un projet d'amélioration des performances par une démarche segmentée, conduite indépendamment, sans considération d'ensemble au niveau du bâtiment et de son environnement. Les systèmes énergétiques de demain seront **interconnectés** pour plus d'efficacité : *smart grid* et cycle de l'eau, réseaux de chaleur et panachage des sources énergétiques comme la biomasse, la méthanisation, la géothermie, le solaire thermique, etc.

La deuxième conséquence fondamentale concerne la forme de l'interaction entre ces systèmes. En effet, jusqu'à présent, c'est la centralisation de la production d'énergie (électricité, réseau de chaleur, etc.) qui a dominé, au prix cependant d'importants coûts de distribution. Plus on centralise, plus le coût de production est réduit mais le coût de distribution

devient, à l'inverse, élevé. Il s'agit ainsi de définir la **taille de réseau pour être autosuffisant et résilient** et la manière dont sont régulées les interactions avec le réseau pilotable. Cela amène de nouveaux arbitrages en termes de dimensionnement des réseaux, de leur résilience, de leur rendement et de leur coût.

Enfin une vision systémique s'intègre pleinement dans une **approche circulaire** de l'énergie : valorisation de l'énergie fatale, réseau de chaleur, biogaz, matériau, bâtiment multi-activité (optimisation de la gestion des parkings, réservation des salles de réunion, etc.) et cycle de l'eau.

Vers une approche globale

Comme nous venons de le voir, il est nécessaire de développer une approche systémique prenant en compte l'ensemble des interactions et interdépendances des systèmes énergétiques.

Ces interdépendances ne se limitent cependant pas au seul aspect technique. Le bâtiment est en effet au coeur d'un **tissu d'interactions socioéconomiques** composé d'acteurs hétérogènes et dont les problèmes de coordination, d'incitations et de divergences d'intérêts, doivent être dépassés, aussi bien au niveau de la filière que d'un point de vue sociétal.

Autrement dit, penser global revient à intégrer les **axes clés de tout projet durable** : économique, social, sociétal et environnemental. C'est seulement dans cette perspective que le bâtiment, entendu comme un acteur énergétique à part entière, pourra rentrer en symbiose énergétique avec son écosystème.

**NiceGrid, le futur
des réseaux électriques**



**Stockage d'énergie
au poste source**
*Ecrêtage des
consommations (Hiver)*

**Stockage d'énergie
au poste HTA/BT**
*Ecrêtage des
consommations (Hiver)*
Intégration PV (Été)
Ilotage

**Stockage d'énergie sur le réseau BT
et au niveau résidentiel**
Ecrêtage des consommations (Hiver)
Intégration d'énergie PV (Été)

Nice grid, l'un des six démonstrateurs GRID4EU, avait pour objectif d'expérimenter autour des futurs réseaux intelligents en intégrant une forte production photovoltaïque, des unités de stockage et des équipements communicants. 10 partenaires, dont Socomec, ont participé à ce projet. En chiffres, cette expérimentation représente 300 clients dont 12 industriels, 2350 compteurs Linky, 2,5 MWc solaire, 1,5 MW de capacité de stockage et + de 5h d'ilotage.

Parmi l'ensemble des expérimentations, une réussite particulièrement innovante porte sur l'ilotage. En effet, un quartier industriel de 8 clients tertiaires et 3 producteurs photovoltaïques a pu être totalement coupé du réseau pendant 8 heures grâce au système de stockage qui, pour la première fois, a pu garantir, sur un réseau de distribution public, une alimentation sans machine tournante (sans



alternateur), uniquement grâce à l'usage d'électronique de puissance. Cette technologie ouvre de nouvelles perspectives par sa capacité de gestion beaucoup plus rapide, ce qui a permis de gérer sur cette partie de réseau une intégration massive de production photovoltaïque avec en période de pointe de production une intégration de 400% de production PV par rapport à la consommation locale. De manière notable, durant la phase de déconnexion et de synchronisation au réseau principal, aucune coupure n'a pu être observée.

Les autres expérimentations ont porté sur l'optimisation et la flexibilité du réseau de distribution électrique par l'usage du photovoltaïque. Cela a notamment donné lieu à la création de 5 offres afin d'engager les clients résidentiels et industriels dans des comportements spécifiques de consommation et d'effacement.

À retenir

Les réseaux intelligents sont caractérisés par la **décentralisation**, la **valorisation** et l'**économie circulaire**.

Le bâtiment devient un acteur énergétique **en symbiose** avec son environnement.

La performance énergétique doit se repenser sur un **plan systémique et global**.

Intégrer pleinement l'eau dans le raisonnement

L'eau et l'énergie entretiennent des rapports intimes, l'eau ayant besoin d'énergie pour être exploitée (traitement initial, épuration finale) et l'énergie d'eau pour être produite et, bien souvent, distribuée. Considérant la croissance des énergies renouvelables intégrant l'eau, la convergence des réseaux et les prévisions de pénurie, cette relation va d'autant plus s'accroître et la recherche de synergies devenir vitale. Intégrer l'eau dans la quête d'efficacité énergétique est ainsi indispensable.

La relation eau-énergie

L'eau et l'énergie entretiennent un rapport intime. Bien que ce lien soit inhérent à nos systèmes énergétiques et ceux à venir, il est paradoxal de constater que les deux sont souvent traités séparément. L'un des axes essentiels de la notion de performance globale est d'intégrer pleinement l'eau dans la réflexion afin d'appréhender dans un même schéma méthodologique la chaîne énergétique et le cycle de l'eau complet.

L'eau est impliquée dans un grand nombre de systèmes énergétiques (réseau de chaleur, hydroélectricité, refroidissement des centrales thermoélectriques, station de transfert d'énergie par pompage, géothermie, climatiseurs, méthanisation ou encore pompe à chaleur) au même titre que l'eau a besoin de l'énergie pour son traitement, son transport et ses usages. La relation eau - énergie est néanmoins restée longtemps limitée à l'énergie hydraulique, du fait notamment de différences fondamentalement antagonistes de production et de transport. En effet, **l'eau se stocke très bien mais se transporte mal alors que l'électricité se stocke très mal mais se transporte aisément**. Aujourd'hui, l'importance des enjeux autour de l'eau et l'énergie rend nécessaire les réflexions autour de leurs synergies.

À titre d'exemple, dans plusieurs régions du monde la consommation d'eau est trop élevée par rapport à la capacité des systèmes à se régénérer. Cela implique de puiser l'eau plus profondément, de dessaler de l'eau de mer, de recycler les eaux usées ou encore de considérer des transferts interbassins, ce qui a une influence d'autant plus importante sur la demande en énergie et donc les gaz à effet de serre.

Récupération des potentiels de chaleur fatale dans les industries de la Région Bretagne

Utilities Performance en partenariat avec l'ADEME a réalisé une étude d'opportunité sur la récupération de la chaleur fatale des industries de la Région Bretagne et ses valorisations potentielles. L'un des enjeux était d'analyser les potentialités d'utilisation par les industries et collectivités voisines via une redistribution par un réseau de chaleur. Après avoir identifié, localisé et cartographié les différents gisements de chaleurs fatales, les établissements externes potentiellement utilisateurs ont été identifiés et répartis selon les résultats d'une enquête nationale sur les réseaux de chaleur et de froid (réalisée par le Syndicat National de Chauffage urbain). Les bâtiments tertiaires en particulier étaient répartis entre les hôpitaux, les bâtiments d'enseignements, les bâtiments de loisirs communaux et les piscines. Pour le résidentiel, une cartographie de la densité de population au niveau communal a été utilisée.

En compilant l'ensemble des données, il a été possible de cartographier localement les émetteurs et les utilisateurs potentiels de chaleurs fatales. Plusieurs avantages ont été notés dont des sources d'économie pour les entreprises émettrices ou encore des sources de bénéfices potentiels dans le cadre de revente et la mise en réseau en partenariat avec des Unités d'Incinération d'Ordures Ménagères (UOM) permettant une intégration d'énergies considérées à 50% renouvelables.



La ressource eau en chiffres

Dotée de propriétés physiques et chimiques uniques, l'eau est au cœur d'un cycle fragile dont l'équilibre est aujourd'hui menacé par les usages humains. Les deux principaux réservoirs d'eau sont les océans (97,2%) et les calottes polaires (2,15%).

Les océans, mers, lacs, calottes polaires, rivières et glaciers, qui recouvrent plus de 70 % des 510 millions de km² que compte la Terre, se résument à **une sphère de seulement 1385 km de diamètre**, et l'eau douce aisément disponible pour la vie terrestre à **60 km de diamètre**.

La France dispose environ de 2 000 milliards de m³ d'eau en stock (nappes souterraines) et, chaque année, ce sont 33,5 milliards de m³ qui sont prélevés dans cette ressource (soit environ 1,6%) :

- 6 milliards pour l'eau potable (soit **moins de 20%** des prélèvements),
- 3,6 milliards pour l'industrie,
- 4,8 milliards pour l'irrigation,
- 19,1 milliards pour l'énergie.

Depuis 50 ans, on observe une diminution de l'eau potable disponible par personne. Si l'augmentation de la consommation d'eau douce continue sur cette même tendance, l'Homme pourrait avoir utilisé plus de 90% d'eau douce d'ici 25 ans. Par ailleurs, le World Water Development Report 2015 de l'United Nations Water prévoit 40% de déficit d'eau potable dans le monde d'ici 2030.

Cycle de l'eau et bâtiment

La première consommation d'énergie des services d'eau potable et d'assainissement est la **production d'eau chaude**. De 30% à 50% de l'eau consommée est chauffée, ce qui représente en moyenne 10 à 15%⁴ de la consommation énergétique d'un ménage. Cette part est cependant très variable selon la condition énergétique du bâtiment (RT2012, BEPOS, passoire énergétique, etc.). Pour un bâtiment RT2012 par exemple, cette consommation monte à 25% de la consommation énergétique totale.

Souvent négligée et méconnue, la **consommation énergétique de production d'eau potable et de l'assainissement** est également un poste de consommation à prendre compte, d'autant plus dans un contexte d'optimisation globale et de valorisation de l'énergie fatale.

Il existe en outre un enjeu fort sur les usages eau dégradée - eau potable. Par exemple, environ 1% de l'eau consommée est destinée à notre corps tandis que les 99% restants sont rejetés à l'égout. Parmi cette part d'eau rejetée :

- 20% concernent les sanitaires,
- 80% sont hors sanitaires.

Ainsi, doit-on nécessairement utiliser de l'eau potable pour l'ensemble de nos usages ? Cela nécessiterait de penser en termes de doubles canalisations (eau potable / dégradée) mais également en termes d'usages en sortie de station d'épuration. Cependant, il existe aujourd'hui encore de nombreux freins sur ce type de problématiques aussi bien économiques que d'efficacité.

Eau et énergies renouvelables

Sur le plan de la production traditionnelle d'énergie, le nucléaire est **le plus grand utilisateur d'eau** en France (16 milliards de m³). L'hydroélectricité quant à elle, représente 10 % de la production énergétique en France et 90% de l'énergie renouvelable⁵.

Cependant, l'eau tient une place particulière dans les systèmes énergétiques émergents, notamment concernant la valorisation, le stockage et l'économie circulaire. Parmi les tendances évoquées précédemment, elle figure également comme un **fluide caloporteur** pour de nombreuses technologies comme la pompe à chaleur géothermique, les échangeurs, la cogénération et les réseaux de chaleur et de froid. De plus, si l'on intègre l'industrie, l'agriculture, les stations d'épuration et l'ensemble des réseaux énergétiques intégrant l'eau (ou la vapeur d'eau) comme fluide caloporteur, il devient possible de repenser la manière dont l'eau est utilisée, protégée et économisée.

⁴ Les chiffres clés du bâtiment, ADEME, édition 2013

⁵ Les chiffres clés du climat – France, Europe et Monde – Edition 2018



Concevoir en intégrant l'eau

Il est cependant nécessaire de concevoir ces synergies en amont des projets de constructions et dans une vision temporelle. Par exemple, une boucle d'eau tempérée intégrée dès le départ dans le schéma énergétique permet de **mutualiser** de multiples sources d'énergie (récupération sur réseaux d'eaux usées, géothermie, récupération sur groupe froid) et de **distribuer** la récupération des calories produites pour le refroidissement de certains bâtiments (tertiaires notamment).

La mise à disposition d'échangeurs de chaleur et de circuits d'eau dès la conception est ainsi une ouverture à un ensemble de **synergies** eau-énergie.

Les réseaux intelligents, pris dans leur ensemble, tendent à converger (*power to gas, power to heat, etc.*) et des synergies pourront être exploitées, d'autant plus que les bâtiments (immeubles ou lotissements) neufs ou faisant l'objet de travaux de rénovation importants doivent, sous certaines conditions, obligatoirement se raccorder au réseau de chaleur. Il est ainsi nécessaire de **modéliser les flux** et les infrastructures en conséquence et en amont des constructions. Une fois le bâtiment construit, les possibilités deviennent beaucoup plus restreintes même si la connexion avec le réseau informatique (via l'Internet des Objets non intrusif) et les réseaux de chaleur sont possibles.

Performance globale, eau et bâtiment

Ainsi, étant donné l'intime relation qu'entretiennent l'eau et l'énergie, penser la performance énergétique de manière globale implique nécessairement de penser le cycle de l'eau et ses synergies énergétiques avec le bâtiment.

Cela implique notamment :

- la prise en compte des ressources en amont,
- le stockage de la chaleur et les réseaux de chaleur,
- le domaine de la géothermie dans sa dimension chauffage et refroidissement à partir de la nappe phréatique,
- la valorisation aval des effluents avec la récupération de l'énergie basse température (rehausse avec pompe à chaleur) et la valorisation par méthanisation (selon les effluents) dans un schéma collectif,
- le fonctionnement de la station d'épuration et son intégration dans le mix énergétique global. Elle pourrait, via la valorisation de ses effluents, devenir également un véritable acteur énergétique,
- la prise en compte des usages de l'eau dégradée et potable.

La notion de performance globale est ainsi ici aussi essentielle. Le bâtiment analysé comme un élément isolé ne permet pas d'appréhender, dans toutes leurs dimensions, les effets d'interdépendances et de synergies entre l'eau et l'énergie. Plus précisément, c'est justement une vision en termes d'écosystème énergétique qui permet à la fois de mettre à jour ces synergies et les réaliser.

À retenir

L'eau tient une **place significative** dans les systèmes énergétiques.

Il est nécessaire de **penser les synergies** eau-énergie.

La performance globale d'un bâtiment intègre l'eau dans son **cycle** et ses **usages énergétiques**.

Une vision dans la **durée**

Penser global implique de prendre en compte la dimension temporelle de l'exploitation du bâtiment et ses évolutions en termes de besoins, de technologies, de coûts de l'énergie et de normes. Cet aspect est d'autant plus prégnant que l'approche est systémique et dans un contexte de transition énergétique incertain. Cela amène à raisonner sur la base d'un schéma directeur énergie – eau avec une vision stratégique de moyen-long terme.

La dimension temporelle

Dans une perspective systémique, penser l'efficacité énergétique en considérant un unique bâtiment est complexe car cela implique d'intégrer différents acteurs, différentes temporalités, différents besoins, différentes technologies, etc. Par conséquent, une vision systémique et globale ne peut être appréhendée qu'**en amont de la création des nouveaux ensembles immobiliers**, via des études prenant en compte l'écosystème cible et ses évolutions afin de rédiger le cahier des prescriptions adéquat pour les nouveaux promoteurs. C'est une phase fondamentale dont l'objectif est d'**aligner les intérêts, les besoins et les temporalités**.

Un modèle de performance énergétique à un instant **t** ne sera pas forcément valide dans le futur. Il est ainsi primordial d'être en capacité d'identifier les configurations présentes qui seront compatibles ou facilement adaptables avec les besoins futurs afin de ne pas dévier vers une exploitation inefficace. Par conséquent, se contenter de penser un projet d'efficacité énergétique uniquement en fonction du contexte et des besoins actuels est de fait potentiellement inadapté à une performance durable.

Globalité et temporalité

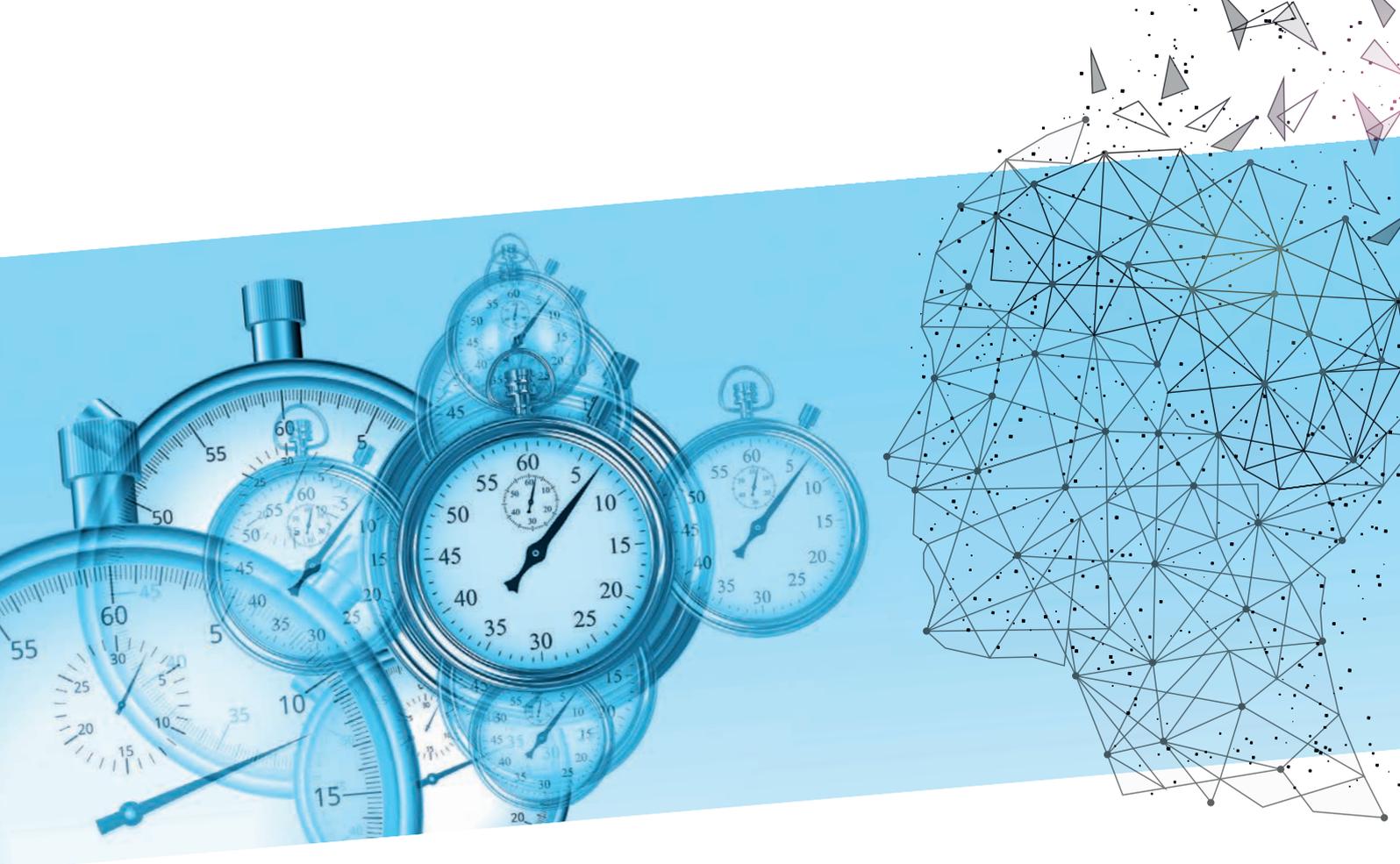
L'enjeu est d'autant plus crucial que l'approche est systémique et intègre donc un ensemble d'interdépendances entre le système et ses composants. En effet, les évolutions de chaque composant ou sous-système ne peuvent être appréhendées de manière isolée. Par exemple, au sein d'un écosystème de bâtiments avec autoconsommation collective, l'évolution de chaque bâtiment peut directement influencer la performance globale qui concerne l'écosystème dans son ensemble.

Globalité et temporalité se rejoignent ainsi dans une vision stratégique de moyen/long terme où les **briques d'aujourd'hui** doivent pouvoir s'agencer parfaitement avec les **projets de demain** et préparer l'efficacité future.

Prendre en compte les évolutions à venir

Un schéma directeur est **nécessairement évolutif**, en raison de normes nouvelles, d'obsolescences ou de nouveaux besoins. Dans la cadre du bâtiment, la transition énergétique amène aussi bien des réglementations et normes toujours plus strictes que des systèmes énergétiques en transition. Il devient ainsi nécessaire d'anticiper au mieux les différents scénarii possibles.

Pour les bâtiments neufs par exemple, la future réglementation RE2020 impose de déployer un ensemble de technologies et d'optimisations dont les équilibres sont encore difficiles à caractériser, d'autant plus que la notion d'énergie grise est de plus en plus intégrée dans les calculs. A ce titre, des recherches actives sont en cours comme l'**expérimentation E+C-** dont l'objectif est de préparer la construction des bâtiments performants de demain en prenant en compte leur poids carbone tout au long du cycle de vie du bâtiment.



Priorisation des actions et tiers-financement

Dans la continuité du Plan de Rénovation Energétique de l'Habitat (PREH), la loi fixe l'objectif de 500 000 rénovations énergétiques de logements par an à partir de 2017, et en particulier les plus énergivores (plus de 330 kWh/EP/m².an) d'ici 2025. À l'horizon 2050, l'ensemble du parc immobilier devra être rénové au niveau « Bâtiment Basse Consommation ».

Ces rénovations demandent une **gestion financière et temporelle** adéquate. La priorisation des actions avait traditionnellement une logique technique justifiée par l'inutilité de travailler sur le système tant que le bâtiment n'est pas techniquement efficace (ou aux normes). Cette approche tend cependant à s'inverser avec une priorisation des actions plus en phase avec les niveaux d'investissement nécessaires et les fonds disponibles. Ainsi, l'idée est de générer des **économies** pouvant être **réinvesties** par la suite.

Autrement dit, il peut être plus pertinent de prioriser plusieurs petites actions modérées sur l'ensemble du spectre de la performance globale (et non uniquement technique) que de cibler de gros investissements techniques ou immobiliers.

Les nouveaux modèles de tiers financement participent à cette priorisation et parmi ceux-ci, l'*intracting* (cf encart) est tout à fait en phase avec cette nouvelle logique.

Le schéma directeur énergie-eau

L'ensemble de ces considérations sont réunies au sein d'un schéma directeur énergie – eau qui s'intègre dans une vision stratégique et d'ingénierie de moyen-long terme. Ainsi, le schéma directeur est réalisé dans une perspective d'évolution du besoin prenant en compte :

- Une temporalité moyen terme (à 3 ou 5 ans) et la bonne anticipation des phénomènes : par exemple, l'intégration d'un nouveau besoin dans le schéma global.
- La notion de phasage des investissements à l'échelle d'un site, d'un parc immobilier, ou d'un quartier avec une approche aléatoire sur les évolutions à venir et une priorisation des actions dans le temps.
- La création dès le départ de scénarii dans une vision d'écosystème, décrivant les interactions présentes et à venir selon une approche globale de la performance énergétique.

Le schéma directeur est ainsi un outil stratégique central d'autant plus important que le bâtiment devient acteur énergétique à part entière et s'insère dans des interactions de long terme avec son environnement. →

Un schéma directeur de transition énergétique pour l'Université de Strasbourg



© C.Schröder/UNISTRA

H3C ENERGIES a réalisé un schéma directeur pour l'Université de Strasbourg concernant **8 sites** et plus de **80 bâtiments** pour une surface totale de 600 000 m². Ce schéma directeur multi-bâtiments inclut aussi bien le **bâti** que les **systèmes**, les **comportements** et une approche **multiusage**. L'un des objectifs essentiels était d'identifier les retours sur investissement les plus rapides possibles (inférieur à 8 ans) avec un plan pluriannuel d'investissements. Ce projet était ainsi dans une logique de priorisation des investissements couplée à une stratégie de financement intracting avec la Caisse de Dépôts et Consignation et la mise en place d'un contrat de performance énergétique. Au final, 64 actions ont été retenues pour un investissement de 2 M€, un budget fluide de 8,4 M€ et des économies de 3800 MWh/an soit 280 000 €TTC (valeur 2018) avec un Temps Brut de retour sur investissement (TBR) de 6 ans.



© C.Schröder/UNISTRA

L'intracting

L'intracting est une démarche interne et une approche transversale qui permet de conduire des travaux d'économie d'énergie avec un temps de retour inférieur à 10 ans. L'objectif est de permettre une meilleure priorisation des actions avec l'idée de financer des rénovations lourdes grâce aux économies réalisées précédemment. La Caisse des Dépôts et Consignations peut, par exemple, assurer le tiers financement à hauteur de 50% des besoins de la ligne budgétaire via des avances remboursables intracting dépendantes des économies prévues.

À retenir

Il est indispensable d'**anticiper** les évolutions techniques et d'usages du bâtiment.

Globalité et temporalité se rejoignent dans une vision stratégique de moyen/long terme.

Un schéma directeur global eau/énergie permet de structurer une **vision stratégique** dans la durée.

La gestion et l'usage, éléments clés de l'efficacité énergétique

Dans un contexte d'énergies renouvelables où les moyens d'actions sur les comportements se multiplient, notamment grâce au numérique, il est indispensable de penser en amont et durant le cycle de vie du bâtiment les mécanismes d'usage et de gestion permettant d'optimiser son efficacité énergétique.

L'usage et la gestion du bâtiment

Si le projet de transition énergétique dans le bâtiment comporte une dimension technique évidente, elle se heurte également aux problématiques d'**appropriation** d'usages, de **comportements** et de **compétences**. La technologie n'est en effet pas en soi porteuse de solutions et il convient d'intégrer dans la démarche les dimensions économique, sociale et sociétale d'une démarche de responsabilité sociétale (RSE). Le logement apparaît ainsi comme une configuration sociotechnique où les acteurs du bâtiment (décideurs, concepteurs, utilisateurs), les institutions, les normes et la technologie tissent des relations d'interdépendance et **s'influencent mutuellement**.

De la même manière, la gestion technique d'un bâtiment renvoie aussi bien à cette dynamique sociale (par le biais notamment de l'arbitrage confort / efficacité énergétique) qu'aux compétences nécessaires afin de suivre correctement la bonne exploitation du bâtiment.

Il s'agit donc de transformer et adapter les usages, cultures et métiers du bâtiment. Cela implique d'intervenir sur l'éducation, la formation et les incitations à adopter des comportements vertueux mais également le **commissionnement / recommissionnement** du bâtiment, les configurations urbaines (par une approche multiusage par exemple) et l'offre d'équipements.

Prendre en compte l'effet rebond

L'effet rebond (ou paradoxe de Jevons) est défini par l'**augmentation de la demande** d'un bien suite à la diminution de ses coûts de production. C'est Stanley Jevons qui a pour la première fois mis en évidence cet effet en l'observant sur la demande de charbon après l'introduction de la machine à vapeur de James Watt. Dans les années 80, l'effet rebond a été appliqué à la consommation énergétique sous le « postulat de Khazzoom-Brookes » : si un progrès technique améliore l'efficacité énergétique d'un bien ou service, alors ses coûts de production baissent et tendent à **augmenter la demande, contrebalançant** ainsi les économies d'énergie initiales.

D'un point de vue social et sociétal, ce paradoxe n'a cependant pas forcément une connotation négative. À titre d'exemple, le dispositif CEE permettant l'isolation des combles à 1 euro pour les « ménages précaires » vise à corriger une injustice sociale provenant du fait que les plus démunis sont les moins isolés et donc ne peuvent pas se chauffer décemment.



Or, ce dispositif qui avait pour objectif de réduire les consommations d'énergies a finalement conduit à plus de consommations car ces ménages modestes ont pu alors assumer le coût raisonnable de ce chauffage. *A contrario*, la croissance de la part de véhicules SUV et de voitures à essence augmente les émissions de CO₂ sans pour autant être vertueux sur le plan social. L'effet rebond est donc à regarder à l'aune de l'équité sociale ou du bénéfice sociétal qu'il procure. →



Adapter les offres

Jusqu'à présent, la segmentation des offres n'allait guère plus loin que les heures pleines – heures creuses. En parallèle, EDF pilotait de manière centralisée les besoins d'effacement via les Tempo et EJP. Aujourd'hui la mise en concurrence rendant impraticable cette gestion centralisée, les **marchés de capacités** ont été créés. Si l'idée est toujours de permettre une flexibilité du réseau afin notamment de gérer les pointes via l'effacement, l'émergence des *smart grids* et du *big data* permet d'aller beaucoup plus loin dans la segmentation des offres.

Ainsi, au-delà de la dimension technique, l'un des enjeux phares des *smart grids* est de pouvoir proposer aux usagers et industriels des offres en synergie avec les **capacités** de stockage, le **mix** énergétique (photovoltaïque, éolien, *power to gas*, *power to heat*, cogénération, etc.) et les différents **profils de consommation**. En parallèle de ces offres, l'accès par le consommateur à ses données de consommation via des instruments de mesure comme les compteurs Linky complète les incitations à un comportement responsable.

Cette participation des usagers à la performance énergétique du bâtiment doit être envisagée dès la conception. Il s'agit d'un prérequis essentiel à la mise en place d'un accompagnement pertinent, permettant de **limiter** au maximum la différence entre performance théorique et performance réelle tout en rendant les bâtiments adaptables aux différents comportements des usagers.

Rendre possible le bâtiment multiusage

Dans une logique de bâtiment « *as a service* », prônée notamment par la Smart Building Alliance (SBA), l'approche multiusage du bâtiment est un axe potentiel d'efficacité énergétique. L'association tertiaire-logement au sein de quartiers mixtes permet par exemple d'optimiser l'efficacité énergétique en lien avec la mobilité. Cependant, le **pilotage** de ce type de quartier reste compliqué en raison des divergences des parties prenantes.

De plus, se dressent également des barrières liées à des **problématiques réglementaires**. Il est en effet, pour le moment, interdit d'échanger de l'électricité d'autoconsommation si on change de boucle Haute Tension/ Basse Tension. L'échange avec une zone industrielle est donc difficile. Il est ainsi nécessaire de disposer d'une réglementation adaptée à l'autoconsommation collective. Comme nous le verrons par la suite, il existe en outre un ensemble d'enjeux autour du cadre contractuel, via la Personne Morale Organisatrice et des usages innovants de la *blockchain*.

Le bâtiment lui-même peut également être rendu flexible aux évolutions des usages. Par exemple CDC Habitat a lancé Ubrick's cube, des immeubles mixtes réversibles, pouvant aussi bien abriter des bureaux que des logements, dans des proportions ajustables en fonction des contextes et de l'évolution des besoins. Toute l'idée est d'exploiter au maximum les espaces vides et les mutualisations.

Le commissionnement global

Une construction RT2012 ou bientôt BEPOS n'a que très peu de valeur si son exploitation n'est pas dans une même démarche d'optimisation. Un projet doit reposer sur une démarche globale depuis sa conception jusqu'à son exploitation. Le commissionnement global fait ici partie des **clés pour la bonne gestion** des futurs bâtiments.

Il est défini comme « l'ensemble des tâches pour mener à terme une installation neuve afin qu'elle atteigne le niveau des performances contractuelles et créer les conditions pour les maintenir »⁶. Autrement dit, c'est maîtriser la performance sur l'ensemble de la durée de vie du bâtiment, en intégrant l'ensemble des parties prenantes et en définissant durant la conception les conditions de maintien et d'exploitation du bâtiment. Ce commissionnement global pourtant essentiel reste malheureusement **très peu développé**. On estime par exemple qu'en France 70% des GTB sont mal utilisées⁷. Dans ce cadre, le recours à un recommissionnement GTB permet de **rétablir les performances** initialement prévues par le biais de mesures correctives sur le réglage des installations techniques.

Le commissionnement implique généralement des contrats longs termes avec engagement du bureau d'étude. Il peut également être réalisé uniquement pendant la conception mais un travail spécifique doit être fourni afin de transmettre les bonnes pratiques et responsabiliser l'exploitant.

Atténuer l'effet rebond

Un des mécanismes utilisés pour limiter l'effet rebond est la mise en place de taxes. L'efficacité de ces taxes dépend cependant de l'élasticité de la demande pour les biens et services taxés. Néanmoins, amoindrir l'effet rebond nécessite surtout de mettre en place les bons mécanismes d'incitation afin de favoriser une consommation plus responsable. Le centre d'analyse stratégique (CAS) a publié en 2013 une note formulant différentes approches comme la mise en place de concours récompensant ceux réalisant les meilleures économies d'énergie et la diffusion d'informations aux habitants (réduction des coûts, consommation moyenne d'un ménage, etc.).

Bien que le volet social soit ici essentiel, il n'en reste pas moins que le signal-prix est au cœur des comportements. Les smart grids et le numérique ont dans ce cadre un rôle important à jouer en offrant la possibilité d'aligner les incitations individuelles avec les intérêts collectifs par un ajustement fin des offres et des prix.

⁶ Mémento du commissionnement, 2008, COSTIC, ADEME, FFB

⁷ Source ADEME

Retour d'expérience du Bâtiment CIL chez Socomec - Benfeld (67)



Avec ses 2 280 m² et une capacité d'accueil de 180 personnes, le nouveau bâtiment de Socomec a été construit en 2013 et accueille les équipes industrielles et logistiques du Groupe. Construit sur trois niveaux, celui-ci a été imaginé pour être le plus efficace possible. Conforme aux normes Bâtiment Basse Consommation (BBC) avec une isolation extérieure, il est 100% électrique y compris pour le chauffage et le rafraîchissement, via une pompe à chaleur réversible été-hiver sur nappe. Cependant, en dépit d'une construction soignée et d'installations de systèmes performants, le bâtiment consommait 2,5 fois la valeur ciblée. Par conséquent, le retour sur investissement (ROI) n'allait pas être atteint et le bâtiment n'allait pas être conforme à la réglementation thermique RT 2012.

La mise en place à la construction de système de monitoring Digiware de Socomec a permis, via une visualisation des profils de consommation par charge, d'engager très rapidement des actions

correctives sur la GTB avec un paramétrage en cohérence avec l'usage du bâtiment. De plus, le système de monitoring Digiware par sa simplicité d'usage permet d'observer les dérives, signe avant-coureur d'un dysfonctionnement à venir plus ou moins grave. Par exemple, la défaillance sur la courroie d'entraînement du système de traitement d'air a été détectée très rapidement, évitant ainsi une dégradation complète de la machine. Enfin, les occupants du bâtiment sont consultés périodiquement pour s'assurer de leur confort et les accompagner vers un usage vertueux de leur environnement de travail.

Ce retour d'expérience illustre parfaitement l'importance d'effectuer un suivi énergétique du bâtiment une fois qu'il est occupé et le rôle clé du manager pour optimiser sa performance énergétique tout en assurant le confort des usagers. La performance énergétique d'un bâtiment peut être atteinte seulement si elle est suivie et pilotée.

Suivi énergétique

L'optimisation de la gestion et l'usage du bâtiment est aujourd'hui grandement soutenue par les possibilités de **collecte** et d'**analyse** des données numériques.

Une exploitation optimale implique ainsi d'avoir accès aux données et outils d'analyse permettant de réaliser le bon suivi des usages du bâtiment et de prendre les bonnes **mesures correctives** si nécessaire.

La notion de suivi énergétique est donc essentielle pour paramétrer de manière optimale les équipements en fonction des usages et garantir la performance du bâtiment durant tout son cycle de vie. Le gestionnaire a ici un rôle clé en pilotant les consommations et en assurant l'**équilibre** entre performance et confort des usagers.

À retenir

L'optimisation de l'usage et la gestion du bâtiment inclut ses dimensions **économique, sociale et sociétale**.

La performance énergétique repose sur des **interdépendances complexes** entre les acteurs, les normes et la technologie.

Les **conditions de performance** d'un bâtiment doivent être maintenues tout au long du cycle de vie.

Les nouveaux outils du numérique, **leviers** de la performance globale

Grâce aux nouvelles capacités de collecte et d'analyse des données, il devient possible d'apporter de l'intelligence aux réseaux mais également de développer les nouveaux outils nécessaires à une coordination globale. La bonne mise en œuvre de ces outils repose cependant sur une transformation en profondeur des métiers du secteur et de leurs relations, ce qui se traduit par de nouvelles approches tant en matière d'organisation que de mise en œuvre des savoir-faire.

Du pilotage centralisé...

Traditionnellement, l'équilibrage entre l'offre et la demande est réalisé par un gestionnaire de réseau de distribution (comme RTE ou Enedis en France) via un mécanisme d'ajustement liant les différents marchés. Il est d'ailleurs possible d'observer sur le site web de RTE l'évolution des **courbes d'offre et de demande** en temps réel⁸. Ainsi, un acteur comme RTE a véritablement un rôle structurant et déploie depuis plusieurs années déjà des solutions intelligentes de collecte et d'exploitation des données afin de traiter les aléas techniques (écarts entre consommation prévue et consommation réalisée, pannes de groupes de production, etc.).

De plus, le mécanisme de capacité permet de **sécuriser** l'approvisionnement électrique pendant les périodes de pointe en incitant financièrement les acteurs du système électrique à investir dans la production, dans les effacements de consommation ou à faire évoluer les comportements des consommateurs.

⁸ <https://www.rte-france.com/fr/eco2mix/eco2mix-consommation>

...aux systèmes intelligents et autorégulés

Néanmoins, la décentralisation de la production énergétique engendre une **perte** de cette capacité de pilotage centralisée et nécessite en plus un besoin accru de **flexibilité**. En effet, il s'agit de pouvoir gérer l'équilibre entre l'offre et la demande potentiellement **à plusieurs niveaux** de maille, entre de multiples usages et sur des temporalités de court et moyen terme (notamment à travers les effets de saisonnalité). Il est ainsi nécessaire de collecter des données très fines afin d'adapter la consommation au plus près des besoins, garantir l'équilibre offre / demande et communiquer l'état de cet équilibre entre les systèmes connectés.

Un *smart grid* ne peut en effet fonctionner correctement qu'avec la mise en place d'outils numériques capables de **sivre, analyser et prédire** correctement l'offre et la demande. Ceci amène, entre autres, l'intégration de nouveaux indicateurs avec accès aux données extérieures et la prise en compte de la variation des flux d'activité. Le bâtiment devient ainsi « intelligent » par l'apprentissage des bons modèles d'usage énergétique.

IoT et smart building

C'est ici que la notion de *smart building* prend tout son sens, d'autant plus dans le cadre des bâtiments anciens. Il faut en effet admettre que l'écart entre le neuf et l'ancien tendra inévitablement à **se creuser**. Un bâtiment neuf BEPOS pensé dans son écosystème global restera bien plus performant qu'un bâtiment rénové, sauf à considérer des niveaux d'investissements très conséquents.

Le *smart building* nourri par des technologies IoT non invasives joue ici un rôle prépondérant afin d'**insérer ces bâtiments anciens** dans des réseaux énergétiques de nouvelle génération et d'améliorer leur performance énergétique d'exploitation.

Dans ce contexte, la Smart Building Alliance (SBA) développe les référentiels Ready2Services (R2S) et Ready to grid afin de pouvoir faciliter l'interopérabilité, les interconnexions et les services des bâtiments.



Un secteur en transformation

Au cœur de la transformation numérique se trouve également une transformation de secteur du bâtiment avec plus de transversalité, de nouvelles compétences et un ensemble de nouveaux acteurs issus de l'informatique et des télécoms. C'est ainsi un écosystème de **compétences transdisciplinaires** qui doit être associé afin de mettre en œuvre l'intelligence du *smart building* et ce, sur l'ensemble de la chaîne de valeur énergétique (audit, ingénierie, maintenance).

Ces nouveaux besoins de coordination sont également soutenus par le numérique. La maquette numérique (ou BIM pour *Building Information Modelling*) est à ce titre au premier plan d'une transformation profonde des relations entre les métiers du secteur. Elle implique de repenser totalement la **manière** dont un ouvrage est conçu et réalisé.

D'un point de vue contractuel, plusieurs expérimentations testent l'usage de la *blockchain* afin de coordonner les échanges au sein d'une situation d'**autoconsommation collective**. Par le caractère immuable, en principe, des données et contrats de la *blockchain*, il s'agit ici d'apporter la flexibilité et la confiance nécessaires aux échanges décentralisés. En outre, la législation a récemment mis en place une nouvelle entité afin d'organiser les échanges liés à l'autoconsommation collective : la Personne Morale Organisatrice (PMO). Celle-ci regroupe le collectif de producteurs – consommateurs local et fait le lien avec le réseau public de distribution. →



Des métiers en évolution

La compétence de *data scientist* figure parmi les évolutions les plus notables. L'exploration des données aussi bien que le développement de nouveaux modèles demandent une maîtrise parfaite des algorithmes à utiliser et une connaissance de l'ensemble des biais et erreurs que de tels algorithmes peuvent engendrer. Le *data scientist* doit ainsi coupler des connaissances en **statistiques, informatique et gestion de l'énergie**.

Des nouveaux métiers apparaissent également, comme le métier d'*Energy Manager*, en charge du pilotage énergétique et de la performance énergétique, potentiellement à la maille d'un quartier.

Enfin, l'IoT est source de compétences nouvelles pour les métiers traditionnels (audit, automaticien, énergéticien) aussi bien sur le plan des architectures réseaux (*edge* et *cloud computing*, nouveaux protocoles, etc.) que des méthodes de travail. En effet, une exploitation efficace des possibilités de l'IoT passe par de la **transversalité** à la fois au sein des grandes fonctions du bâtiment et entre les métiers historiques.

Le numérique comme vecteur d'actions

Les services numériques pouvant être proposés aux habitants d'un immeuble ou au contrôleur d'un procédé, jouent un nouveau rôle d'**initiation** des bonnes actions. D'une part, il est nécessaire pour l'habitant d'avoir les bonnes informations afin d'optimiser ses choix de consommation et d'adapter au mieux ses comportements de vie, d'autre part, les outils de monitoring et d'analyse doivent pouvoir permettre de suivre correctement les différents usages énergétiques du bâtiment afin de s'assurer de sa bonne exploitation.

Jusqu'à présent, la technique et le comportement des usagers étaient complètement étanches. La mise à disposition d'un livret de bonnes pratiques représentait, bien souvent, l'interaction la plus approfondie entre l'exploitant et les usagers du bâtiment, laissant toute place aux effets rebond et usages inefficaces. Avec le bâtiment intelligent et la possibilité d'accéder à un ensemble de services et d'applications d'efficacité énergétique, il existe une multitude de vecteurs possibles d'actions pouvant prendre en compte un **arbitrage fin** entre confort de l'habitant et performance énergétique du bâtiment.

Il s'agit, via le vecteur numérique, d'engager l'usager dans la performance, de le rendre **responsable** et de trouver les bons leviers d'incitations pour favoriser un comportement énergétiquement vertueux.

Les référentiels Ready2Services et Ready to Grid

Ready2Services (R2S) représente un référentiel technique et organisationnel porté par la Smart Building Alliance (SBA) dont le fondement est de permettre au bâtiment de communiquer sans contrainte et de manière sécurisée avec son environnement. Ce socle repose sur une architecture commune à toutes les typologies d'ouvrage (résidentiel, tertiaire, industrie, etc.) basée sur 3 couches : les équipements, le protocole IP et les services web/cloud. En outre, deux conditions sont nécessaires à la bonne réalisation du référentiel : la communication des équipements (capteurs, contrôleurs, actionneurs, chauffage, etc.) en IP et l'indépendance des couches. Ces conditions visent une grande flexibilité et évolutivité des services et équipements avec comme finalité la notion de « building as a service » (BAAS).

En parallèle, la SBA a également mis en place une commission dont l'objectif est de créer le référentiel Ready to Grids (R2G). L'idée est de définir les conditions pour lesquelles un bâtiment peut pleinement s'intégrer dans un réseau intelligent. Le bâtiment R2G est ainsi avant tout un bâtiment communicant qui se veut multi-énergies et multi-fluides. De plus, établir précisément la consommation d'énergie (et avec quelle source d'énergie), les prévisions de charge tous usages confondus, la capacité à délester, à stocker et à produire demande de déployer un protocole de transactions ouvert et sécurisé. Ainsi l'ouverture des systèmes et l'interopérabilité sont des prérequis pour un bâtiment R2G.

BIM à l'échelle du territoire



La maquette numérique (BIM) peut être définie par la rencontre entre une base de données et de la visualisation 3D. Elle représente un avatar virtuel du bâtiment permettant de coordonner les corps de métiers et informer les parties prenantes. Bien qu'elle soit de plus en plus utilisée, elle n'en reste pas moins en phase de transformation d'usages, surtout dans sa phase exploitation. Le potentiel du BIM est potentiellement très vaste s'il est pensé en interaction avec les autres systèmes informatiques du bâtiment, notamment la GTB, la GTC et la GMAO. A ce titre, la SBA a commencé à travailler sur un référentiel BIM avec l'idée à terme d'établir des bâtiments BIM R2S afin de coupler BIM, IoT et plateforme de services dans une vision « building as a service ».

Une ouverture du BIM permettra également de changer d'échelle pour traiter un quartier ou une ville, devenant pour l'occasion CIM (« City Information Modeling »). Cette extension d'échelle permet

de véritablement développer une approche globale et durable en intégrant un plus grand nombre d'acteurs, des données sur les réseaux énergétiques et la mobilité, des données sur l'occupation des sols, des statistiques urbaines, etc.

EPAMARNE, établissement public d'aménagement de Marne-La-Vallée, est très novateur dans le domaine avec trois maquettes CIM « quartier » réalisées sur ces deux dernières années. Ainsi, la mise en place d'une gouvernance énergétique à Noisy-le-Grand avec Enedis a permis d'économiser 10% sur la facture énergétique à l'échelle du quartier. Avec BIM Cities Alliance, EPAMARNE a également initié une plateforme intégratrice de services où chacun peut être tout à la fois producteur, contributeur, consommateur ou tiers de confiance. Passer à plus grande échelle met en évidence la nécessaire cohérence d'ensemble et le besoin de modéliser à une maille suffisante pour développer une performance globale et durable.

À retenir

Réseaux et bâtiments intelligents **prennent naissance** dans les nouveaux outils du numérique.

Le numérique entraîne une **transformation des métiers et modes de travail** du secteur.

Les services numériques jouent un nouveau rôle d'**initiation d'actions responsables**.

Mise en œuvre d'une approche globale dans une PME industrielle

La démarche entreprise par la PME alsacienne Jetlaque est une bonne illustration de l'importance et des enjeux d'une approche globale de la performance industrielle sous l'angle de l'énergie. Ainsi, en phase avec le thème développé dans ce livre blanc, ce cas met en évidence l'incidence d'une démarche énergétique en lien avec la stratégie et le schéma directeur du site, jusqu'aux valeurs fondatrices du projet industriel.

Contexte et enjeux

Jetlaque est une PME Alsacienne spécialisée dans la peinture de carrosseries plastiques avec pour principal client historique le Groupe Mercedes Benz. Monsieur Eckenfelder, Directeur de Jetlaque, a constamment cherché au fil des années des voies de performance tant en termes de **qualité** de sa production que de **maîtrise** de ses coûts. À ce titre, Jetlaque avait déjà commencé à structurer une démarche industrie 4.0 en déployant des applications numériques innovantes, en particulier avec la société de développement informatique ITS Future.

À l'occasion d'une réunion technique réunissant des industriels Alsaciens sur le thème de l'efficacité énergétique, M. Eckenfelder perçoit une nouvelle **opportunité** d'amélioration des performances de son site. JetLaque a alors entrepris de reprendre son projet en profondeur en structurant une nouvelle démarche de performance globale. Dès lors, comment l'organiser ? Comment l'intégrer dans son projet industriel et faire adhérer chacun à ce nouveau challenge ?

Une démarche s'appuyant sur les valeurs de l'entreprise

En premier lieu, la démarche a consisté à prendre un peu de hauteur de vue et à revenir aux fondamentaux de la stratégie de l'entreprise et des valeurs qui la fondent. Il a ainsi été mis en exergue que la qualité est au cœur du projet industriel, avec de nombreuses actions conduites et structurées au fil des années, ainsi qu'une volonté toujours affirmée pour JetLaque d'entrer de plain-pied dans l'industrie 4.0. De nouvelles solutions innovantes furent ainsi créées avec ITS Future pour **digitaliser** le processus d'amélioration continue.

Dès lors que ce constat fut fait, comment utiliser l'angle des économies d'énergies pour redynamiser cette stratégie en englobant tous les aspects de performance « globale et durable » ? La qualité, voire la productivité, étant conditionnée par une maîtrise parfaite et sous toutes ses formes de ses usages de l'énergie, la dimension énergétique fut intégrée non seulement pour dégager des gains directs mais également comme une dimension au service du projet d'ensemble et de tous ses bénéfices indirects. Le déploiement de **capteurs orientés énergie** a ainsi été complété par des **capteurs orientés process** afin d'obtenir une supervision globale. De même, la vision globale de ce projet imposait de réaliser une projection et un phasage dans le temps en parallèle du schéma directeur industriel et des projets d'investissement à venir.



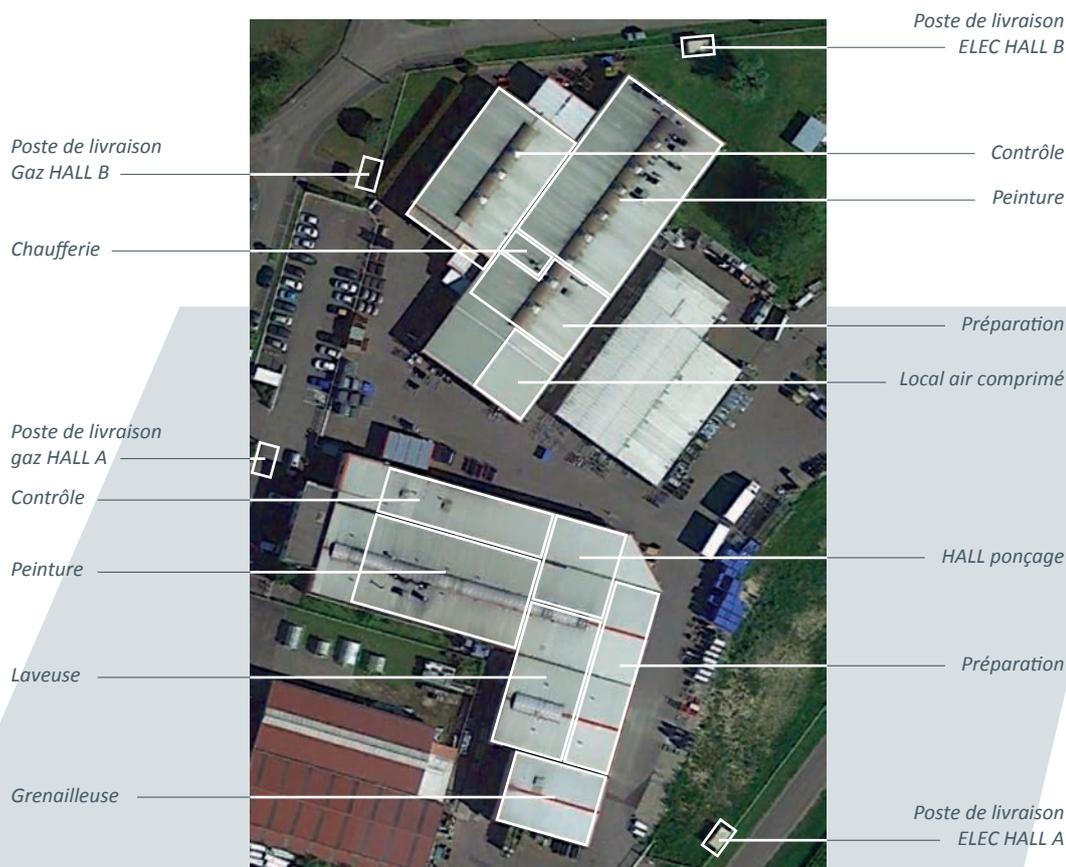
Christophe Eckenfelder,
Directeur industriel de Jetlaque

Audit et plan de mesurage

Le premier jalon de cette action fut ainsi celui de l'**audit énergétique**, tel que le préconise l'ISO 50 001, afin d'établir un état des lieux, de cerner les potentiels et bâtir un plan d'action par priorité. De fait, en ayant mûri cette réflexion en amont, la finalité de cette mission prend alors une nouvelle dimension en contribuant à structurer le projet de performance industrielle globale.

Néanmoins, sans mesures ni indicateurs il est difficile de maîtriser durablement un projet de cette nature. En effet, on ne peut obtenir un résultat optimum en ne raisonnant que par la technologie et l'investissement. Le management est un maillon clé qui nécessite d'être cadré et suivi. Il fut donc décidé de conduire un plan de mesurage afin d'établir une liste de **moyens de mesures** et d'**indicateurs clés** alliant énergies et production.

Un traitement complet du site



Un plan d'action avec des priorités

Cette première mission a permis de mettre en évidence un potentiel d'économie d'énergie de plus de **25%** des 200 k€ dépensés annuellement en gaz et en électricité. Un regard attentif fut aussi porté sur les cabines de peinture qui représentent un Process clé, particulièrement sensible à la maîtrise des conditions d'ambiance, et donc aux apports énergétiques. C'est à ce stade que le **bâtiment industriel** et la gestion énergétique de ce dernier est apparu comme étant un maillon à traiter en priorité.

L'étape suivante fut alors de déployer un système de **monitoring** des consommations énergétiques et une **remise à niveau** du dispositif de GTB des ateliers.

Finalement, l'enjeu global, au sens RSE du terme, fut d'adresser à la fois :

- un challenge **économique**, qui allie consommation d'énergie au plus près du besoin et maîtrise de la qualité des produits,
- l'axe **social**, pour assurer un confort acceptable aux salariés, ainsi que les moyens de les piloter dans cette démarche,
- la problématique **environnementale**, dans la mesure où l'ambition est aussi de réduire l'empreinte carbone du site,
- la dimension **sociétale**, en le maillant aux réflexions « industrie 4.0 » réunissant les Partenaires institutionnels et économiques de la Région Grand Est.

Vers une certification ISO 50 001 ?

Jetlaque a désormais une *roadmap* claire et des moyens qui permettent de l'inscrire dans la durée. Les indicateurs et moyens d'analyse déployés sont ainsi progressivement mêlés aux projets digitaux d'ensemble, et le recrutement d'un apprenti ingénieur en temps partagé avec son fournisseur va permettre de renforcer les liens et la dynamique du projet.

Il appartient désormais à Christophe Eckenfelder de décider s'il souhaite **consolider ces actions** dans le cadre d'une certification ISO 50 001, sachant que l'obtention de cette certification n'est pas indispensable au succès du projet.



Accélérez

votre performance
énergétique,
environnementale
et numérique

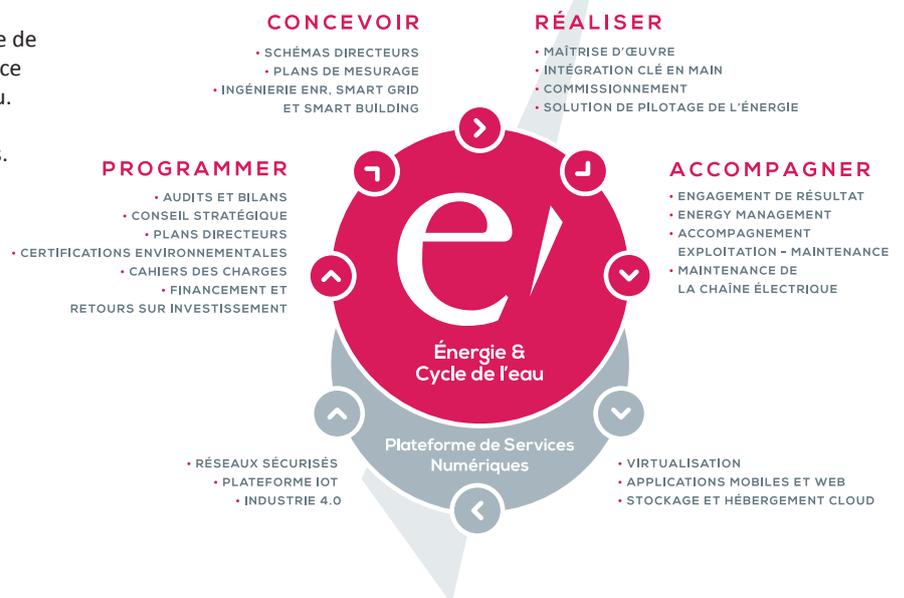
Notre chaîne de valeur

Acteur national de la Performance Globale et Durable, le groupe E'nergys propose une chaîne de valeur complète de services liés à la performance énergétique et à l'optimisation du cycle de l'eau. Il appuie son développement sur les potentiels offerts par l'essor des technologies numériques.

Ses solutions permettent aux industriels, aux gestionnaires de bâtiments et aux collectivités de répondre aux défis posés par le développement durable, la transition énergétique et la transformation numérique.

E'nergys combine la robustesse d'une ETI familiale séculaire et l'agilité des PME qui composent son écosystème. Riche d'un panel de savoir-faire et d'expériences cumulés sans équivalent, le groupe construit une offre globale qui privilégie des partenariats durables avec ses clients et parties prenantes.

www.e-nergys.com



e'nergys
SUSTAINABLE & DIGITAL
SOLUTIONS

