

Le guide des bonnes pratiques du bâtiment bas carbone et numérique

Livrable du groupe de travail piloté par Éric Lerognon (Biméo) et Alexa Lopez (Empreinte Positive), animé par Diane Radix (B2E), Rozenn Massé (B2E) et Romain Marten (NOVABUILD)

Août 2020 – Mars 2022.



Avec la participation de Julien Deboubert (Fluditec), Caroline Derny (Alhyange), Mathieu Guillanton (Orak), Alexis Guillier (Numériplan), Laurent Le Breton (Eegle), Vincent Lamour (GreenYellow), Arnaud Le Cam (Exoceth), Marie Milin (Prigent & Associés), Baptiste Mourcel (Dumbo architecture), Philippe Poullain (Université de Nantes), Benoît Sénant (Groupe Launay), Emmanuel de Sury (Soprema), Amel Tebessi (Groupe Brémond), Alexandre Tual (Cardinal Édifice), Bruno Violleau (PADW), Mélanie Vanderschooten (Bimtech).

Tous les comptes rendus sont disponibles sur [la page du groupe de travail](#).

Ce guide des bonnes pratiques vise à **structurer l'état des lieux des connaissances au sujet de l'intégration de la donnée environnementale dans les projets de bâtiment et d'infrastructure grâce au numérique**. Il donne les clés du contexte et propose des liens vers les ressources jugées pertinentes afin d'approfondir le sujet. **Pour que la 6^e dimension du BIM s'installe comme solution face aux enjeux climatiques !**

Sommaire

INTRODUCTION	3
LA CRISE CLIMATIQUE : DU PROBLÈME AUX SOLUTIONS	3
LA DÉMARCHE DU GROUPE DE TRAVAIL	3
QU'EST-CE QUE LE « BAS CARBONE » ?	4
LA SOBRIÉTÉ NUMÉRIQUE AU SERVICE DU BAS CARBONE	6
1 ORGANISER LA GOUVERNANCE	7
1.1 GESTION DE LA DONNÉE DANS UN PROJET DE CONSTRUCTION	7
1.2 SENSIBILISER LES UTILISATEURS ET EXPLOITANTS	9
1.3 LES ACTEURS ET RESSOURCES DU NUMÉRIQUE AU SERVICE DU BAS CARBONE	9
2 LES OPÉRATIONS EXEMPLAIRES	10
2.1 METTRE EN VALEUR SON OUVRAGE POUR PARTICIPER À L'AMBITION COLLECTIVE	10
2.2 LE RETOUR D'EXPÉRIENCES COMME SUPPORT DE CONCEPTION	10
3 MÉTHODES ET OUTILS	13
3.1 PÉRIMÈTRE DE L'ANALYSE	13
3.2 PANORAMA DES OUTILS EXISTANTS	17
3.3 INDICATEURS ET OBJECTIFS	18
3.4 BASE DE DONNÉES DE RÉFÉRENCE	20
3.5 LES HYPOTHÈSES DE CALCUL CONVENTIONNEL ET LEUR SENSIBILITÉ	20
3.6 L'OUTIL NUMÉRIQUE IDÉAL : ÉLÉMENTS DE CAHIER DES CHARGES	21
4 LE NUMÉRIQUE AU SERVICE DU RÉEMPLOI DANS LE BÂTIMENT	21
4.1 LA RÉNOVATION	21
4.2 LA CONSTRUCTION NEUVE	22
4.3 CAS CONCRET D'UTILISATION DU NUMÉRIQUE DANS L'ÉCONOMIE CIRCULAIRE	22
4.4 PERSPECTIVES DU RÉEMPLOI	22
5 PRATIQUES CONTRACTUELLES	23
5.1 LA CLAUSE VERTE	23
5.2 CONTRAT DE PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE	23
5.3 ANNEXE ENVIRONNEMENTALE AU BAIL	24
6 RÔLE DE L'ÉCONOME DE FLUX	25
7 FORMATION ET RÉFÉRENTIEL DE COMPÉTENCES	26
8 ANNEXES	27
8.1 GLOSSAIRE	27
8.2 DOCUMENTATION	28

Introduction

La crise climatique : du problème aux solutions

Alors que la crise sanitaire de la Covid 19 s'estompe, la crise climatique continue. La dernière décennie et l'année 2020 ont été les plus chaudes jamais enregistrées en France¹ : le dérèglement climatique est en œuvre. Pour limiter à moins de 2° C la hausse des températures moyennes mondiales, la communauté internationale se mobilise depuis près de 30 ans. L'Accord de Paris, signé en 2015 par 196 parties, renforce la prise en compte juridique de l'ambition collective.

En France, la [2^e Stratégie Nationale Bas Carbone](#) fixe des quotas d'émissions par secteur grâce à un scénario et une trajectoire de décarbonation qui visent la neutralité carbone en 2050. Par ailleurs, le [2^e Plan National d'Adaptation au Changement Climatique](#) détaille les mesures à appliquer pour prendre en compte l'inéluctable augmentation des risques.

Ces objectifs sont déclinés à l'échelle régionale dans les SRADDET (Schémas Régionaux d'Aménagement, de Développement Durable et d'Égalité des Territoires), adoptés en 2019 en [Bretagne](#) et en 2021 en [Pays de la Loire](#). La consommation d'énergie pour l'exploitation des bâtiments représente près de 20 % des émissions de gaz à effet de serre régionales, et les émissions liées à la fabrication des matériaux de construction pèsent environ 5 % au niveau national². Une baisse de 85 % est visée pour 2050 dans notre secteur de la Construction, de l'Aménagement et de l'Immobilier : la décarbonation doit s'accroître dès maintenant à un rythme soutenu.

Parallèlement, la transition numérique du Bâtiment se poursuit. **La 6^e dimension du BIM - l'intégration de la donnée environnementale - peine cependant à trouver une fluidité opérationnelle.** Pourtant, la Réglementation Environnementale 2020 démocratise l'analyse de cycle de vie des matériaux, l'économie circulaire cherche à faire correspondre l'offre et la demande de réemploi, le double seuil du Diagnostic de Performance Énergétique intègre désormais les émissions de gaz à effet de serre et devient opposable, et le dispositif Éco Énergie Tertiaire invite à remonter annuellement les consommations d'énergie du parc : **le numérique apparaît incontournable pour soutenir ces actions.**

La démarche du groupe de travail

En 2020, plusieurs acteurs du Bâtiment et des Travaux Publics membres de B2E - Bretagne Éco Entreprise et de NOVABUILD ont souhaité se réunir pour structurer cette numérisation du processus au service des enjeux environnementaux, et notamment bas carbone. Pour chaque grande phase d'un projet immobilier (programmation, conception, exploitation), un brainstorming a permis de faire émerger les besoins relatifs à la prise en compte de ces enjeux de façon numérique dans l'élaboration du projet. Le recoupement des besoins pour chaque phase a conduit à établir les différents chapitres du présent document.

¹ D'après [Météo France](#).

² [Neutralité & Bâtiment](#). Carbone 4 - Ademe, 2019.



Ce guide des bonnes pratiques vise à **structurer l'état des lieux des connaissances au sujet de l'intégration de la donnée environnementale dans les projets de bâtiment et d'infrastructure grâce au numérique**. Il donne les clés du contexte et propose des liens vers les ressources jugées pertinentes afin d'approfondir le sujet. **Pour que la 6^e dimension du BIM s'installe comme solution face aux enjeux climatiques !**

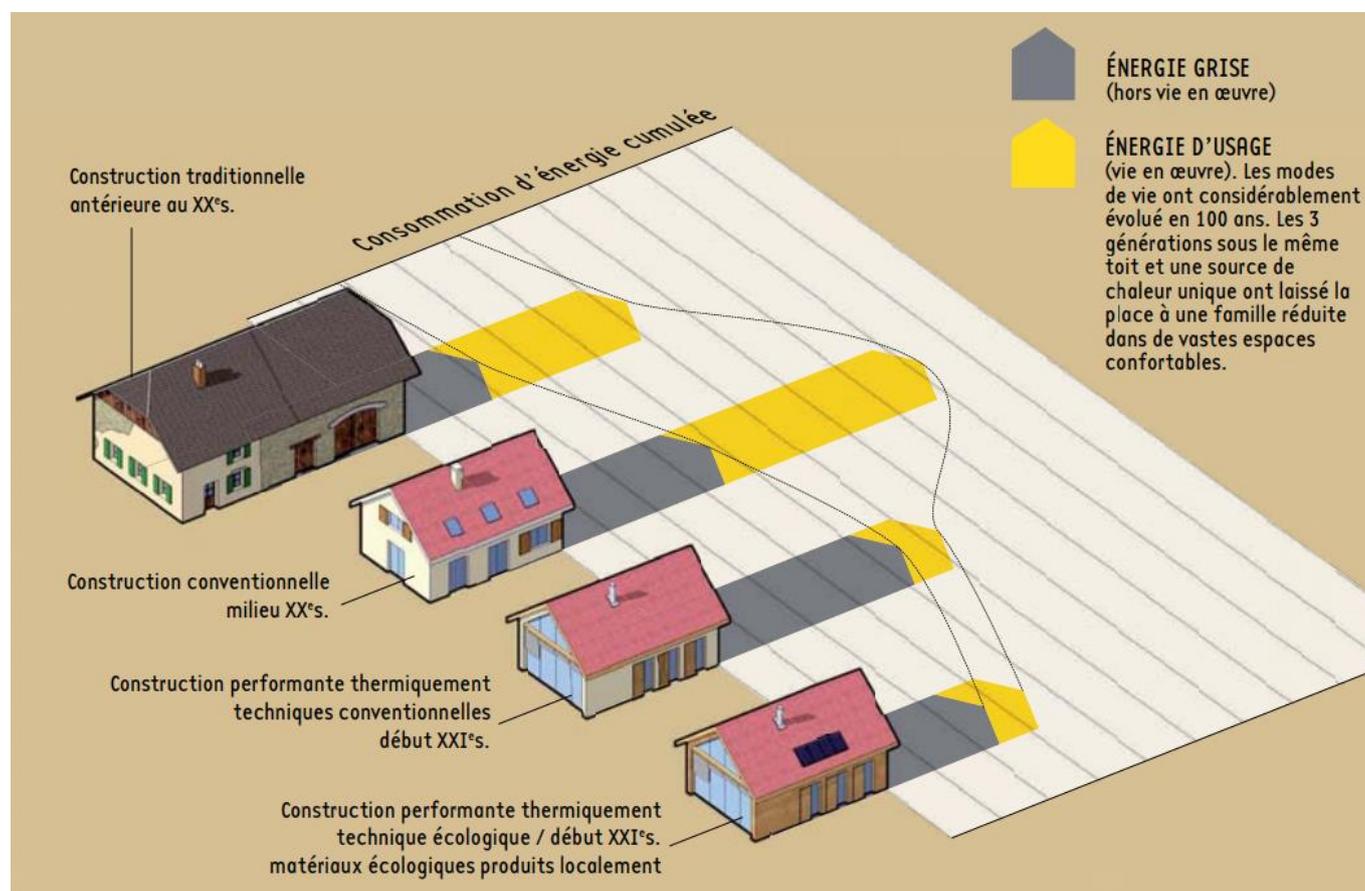
Qu'est-ce que le « bas carbone » ?

Baisser les émissions de gaz à effet de serre du Bâtiment nécessite d'abord de comptabiliser ces émissions. Les études thermiques évaluent les énergies utilisées en phase exploitation (« énergie d'usage »), auxquelles sont associés des facteurs d'émissions carbone. L'analyse de cycle de vie, quant à elle, associe à chaque matériau de construction les émissions liées à sa production, sa mise en œuvre, à sa phase d'utilisation, ainsi qu'à sa fin de vie (« énergie grise » ou « contenu carbone »).

*Le terme « **carbone** » fait référence aux émissions de gaz à effet de serre (GES) exprimées en « équivalent dioxyde de carbone » (eq-CO₂ ou CO₂e, C étant le symbole du carbone)*

Un bâtiment « bas carbone » est donc un bâtiment générant peu de gaz à effet de serre.

Alors que les bâtiments anciens avaient une énergie d'usage supérieure à leur énergie grise, l'amélioration continue de la performance thermique ces dernières décennies a renversé ce rapport. En ordre de grandeur, **les émissions d'un bâtiment neuf bas carbone** sont liées pour **trois quarts à ses matériaux**, et pour **un quart à l'exploitation** du bâtiment pendant 50 ans³.



Source : CAUE de l'Isère, 2013

Au-delà du bâtiment en lui-même, sa localisation influe sur les émissions liées à la mobilité : distance aux lieux de travail, de consommation, de loisirs ; desserte par les transports en commun ; facilités pour les mobilités douces (local vélo sécurisé et bien dimensionné, possibilité de recharger les vélos électriques, etc.) et pour les motorisations alternatives (électrique, biogaz, hydrogène vert) ; voiries et réseaux divers à créer en cas d'extension urbaine.

Ce contexte physique vise également à élargir aux aménagements extérieurs, et notamment au rôle de la végétation dans la régulation des ambiances thermiques extérieures en cas de fortes chaleur, de rétention d'eaux pluviales, et tout simplement de bien-être pour les habitants⁴.

Enfin, l'indicateur « bas carbone » constitue un fil conducteur qui embarque beaucoup d'autres sujets, et qui permet de structurer la démarche autour d'un enjeu prioritaire. L'Analyse de Cycle de Vie* est par essence multicritère : de nombreux indicateurs autres que l'impact sur le changement climatique sont évalués. La généralisation de la comptabilité carbone permettra en parallèle d'accroître les données, et donc les analyses et connaissances sur les autres indicateurs.

³ Test HQE Performance Économie Circulaire, Alliance HQE-GBC 2020

⁴ Voir par exemple Bienfaits du végétal en ville sur le bien-être et la santé humaine. Plante & Cité, 2017

La sobriété numérique au service du bas carbone

Que ce soit dans le secteur de la construction ou celui du numérique, la sobriété est la première étape d'une démarche vertueuse, avant l'efficacité des systèmes et le recours aux énergies décarbonées. Plusieurs initiatives émergent en ce sens :

- *Le [Manifeste pour une frugalité heureuse et créative](#)*
- *Le [Low tech lab](#), qui partage les solutions et « l'esprit low-tech » avec le plus grand nombre ;*
- *[Low-tech : quelles traductions à l'échelle de la ville et du bâtiment du bureaux ?](#) par l'Observatoire de l'Immobilier Durable ;*
- *[Low-tech vs. High Tech : le bâtiment comme enjeu de réconciliation ?](#) par <R>EVOLUTION*
- *[L'économie symbiotique](#), dont la pensée vise à « amplifier notre impact positif sur la planète » ;*
- *Les occurrences de ce thème sur internet ces deux dernières années ont fait l'objet d'une monographie NOVABUILD : [Low-tech, frugalité et sobriété dans le bâtiment](#).*

Dans un monde aux ressources finies, il nous faut rester vigilants sur l'utilisation de nouveaux outils. Le numérique représentait en 2019 près de 4 % des émissions mondiales de gaz à effet de serre ; sans sobriété, elles pourraient doubler d'ici à 2025, mais avec sobriété elles pourraient se limiter à 5 % des émissions mondiales⁵.

C'est pourquoi toute innovation numérique est à évaluer à l'aune des gains qu'elle engendre, pour vérifier que le bilan est positif. Intuitivement, les gains dans le secteur du bâtiment sont très importants comparés à l'impact de l'utilisation accrue des outils numériques, du fait qu'ils représentent près d'un tiers des émissions françaises de gaz à effet de serre⁶.

Pour aller plus loin : [l'article du label R2S de Certivéa sur le numérique responsable](#).

⁵ [Déployer la sobriété numérique](#), The Shift Project 2020

⁶ [Neutralité & Bâtiment](#), Carbone 4 et Ademe 2019

1 Organiser la gouvernance

1.1 Gestion de la donnée dans un projet de construction

Le BIM⁷ organise la gestion de la donnée numérique dans le secteur du Bâtiment et de l'Aménagement entre les nombreux acteurs intervenants dans un projet. Cette gestion est organisée autour de la maquette numérique. Comme le souligne les référentiels de qualité environnementale des bâtiments⁸, la mise en place d'un **« management responsable » tout au long de l'opération** est nécessaire pour vérifier **l'atteinte réelle des performances visées**.

La chaîne décisionnelle, bien connue des acteurs, se déroule schématiquement comme suit :

- Le législateur fixe les exigences environnementales minimales ;
- Les élus territoriaux peuvent indiquer des exigences environnementales supérieures dans les règlements d'urbanisme ou cahier des charges de ZAC (Zone d'Aménagement Concertée)
- La maîtrise d'ouvrage exprime ses exigences environnementales au démarrage du projet ;
- La maîtrise d'œuvre trouve les solutions techniques pour atteindre les objectifs et exigences du maître d'ouvrage et dirige l'exécution des travaux ;
- Le bureau de contrôle technique vérifie la conformité réglementaire ;
- Les entreprises de construction réalisent l'ouvrage selon les données et plans élaborés par le maître d'œuvre ;
- Les industriels produisent l'ensemble des matériaux et des équipements mis en œuvre, et participent à l'amélioration environnementale des produits.

Ces acteurs contribuent ensemble à diminuer le contenu carbone lors de la rénovation ou la construction de l'ouvrage, et mettent en place les conditions pour réduire les émissions en exploitation. Celles-ci sont pilotées par deux autres acteurs :

- L'exploitant de l'ouvrage entretient et répare les installations pour maintenir leurs performances
- Les utilisateurs manipulent les installations pour rester dans un environnement confortable, tout en étant sensibilisés aux gestes économes.

Tous ces acteurs n'ont pas besoin de toutes les données environnementales au même moment. Afin de dégrossir les besoins de chacun, le tableau suivant propose un détail des usages avec les acteurs impliqués et les phases correspondantes de l'opération.

⁷ Building Information Modeling, voir [fiche Wikipedia](#).

⁸ Voir notamment le [cadre de référence HQE Bâtiment Durable](#), par l'Alliance HQE-GBC, et en ce qui concerne le numérique au service de la performance énergétique le [label R2S-4GRIDS](#) délivré par Certivéa

Usages de la donnée environnementale	Acteur	Phase
Suivi des objectifs	MOA, AMO, AMU, utilisateurs	Tout au long de l'opération
Simulation énergétique (STD, FLJ, RT-RE, production d'EnR sur site)	MCE, interlocuteurs territoriaux (syndicats mixtes, ALEC, etc.)	Conception
ACV	MCE, entreprises de construction, industriels	Conception, Réalisation
Contrôle la conformité réglementaire	Bureau de contrôle	Conception, Réalisation
Réaliser un chantier propre	MCE, entreprises de construction, OPC, CSPS	Réalisation
Réaliser un test d'étanchéité à l'air	Opérateur d'infiltrométrie	Réalisation
Gestion fine des consommations d'énergie	Utilisateurs, AMU, exploitant,	Exploitation
Gestion facilitée de la maintenance des équipements	Utilisateurs, AMU, exploitant,	Exploitation
Réemployer / réutiliser les matériaux de construction	MOA, MCE, entreprises de construction, bureau de contrôle	Déconstruction
Mobilité	Utilisateurs, MOA, AMO, AMU, MCE	Programmation, Conception, Exploitation

MOA : Maître d'Ouvrage | AMO : Assistant à Maîtrise d'Ouvrage | AMU : Assistant à Maîtrise d'Usage | MOE : Maîtrise d'Œuvre (architecte, bureaux d'études, économistes), OPC (Ordonnancement, Pilotage et Coordination de chantier) | CSPS : Coordinateur Sécurité et Protection de la Santé | ALEC : Agence Locale de l'Énergie et du Climat | STD : Simulation Thermique Dynamique | FLJ : Facteur de Lumière de Jour | RT : Réglementation Thermique | RE : Réglementation Environnementale | EnR : Énergies Renouvelables | ACV : Analyse de Cycle de Vie.

Les données évoluent au cours de l'opération immobilière. Les données « froides » ou « statiques » ne changent qu'avec le remplacement de leur objet (par exemple la résistance thermique d'un isolant), quand les données « chaudes » ou « dynamiques » changent très fréquemment (par exemple un capteur de qualité d'air).

Dans le cas où le [DOE](#) BIM (Dossier des Ouvrages Exécutés) est utilisé en BIM GEM (Gestion Entretien Maintenance), un indice de fiabilité des données est à introduire. En effet, toutes les données reflètent plus ou moins parfaitement la réalité selon leur utilité à chaque phase de l'opération.

1.2 Sensibiliser les utilisateurs et exploitants

L'atteinte réelle des performances environnementales passe par la sensibilisation des utilisateurs et des exploitants. Selon les résultats du [concours CUBE organisé par l'IFPEB](#), un **gain de 12 %** sur les consommations d'énergie est réalisé en moyenne grâce aux occupants du tertiaire. Dans les logements, les gains peuvent être bien plus importants selon les usages de l'énergie (-7 % de chauffage par degré en moins, -75 % d'énergie de cuisson en couvrant les casseroles, -45 % en utilisant le programme Éco du lave-vaisselle, etc.⁹).

Par ailleurs, **les bâtiments performants changent le rapport à son habitat** : le très faible besoin de chauffage engendre des radiateurs de petite taille qui peuvent surprendre les habitants, la nécessaire ventilation mécanique impose de ne pas boucher les entrées d'air, la gestion optimale des protections solaires est une nouvelle compétence à apprendre pour limiter le risque de surchauffes d'été, etc. Effinergie propose ainsi le guide « [Habiter un logement économe en énergie](#) » et le guide « [Occuper un bâtiment tertiaire économe en énergie](#) ».

De plus, les nouveaux équipements techniques requièrent de **nouvelles connaissances et compétences pour les professionnels de la maintenance** (voir la publication « [BIM Exploitation Maintenance - Les Exigences pour des Usages Efficaces](#) » du Syepmi).

Le numérique a son rôle à jouer, via des systèmes de **GTB** (Gestion Technique du Bâtiment) pour les bâtiments plus grands, ou simplement par des **applications** de sensibilisation, des notifications lors de dérives de consommation ou de conseils pour gérer efficacement les protections solaires.

Mais pour que les occupants et les exploitants puissent s'appropriier ces nouveaux usages et nouveaux outils, **des formations spécifiques sont à organiser lors de l'arrivée de nouveaux occupants.**

La [certification HQE](#) demande à ce qu'un **carnet de vie du bâtiment, à destination des usagers du bâtiment** et des **affiches de sensibilisation** soient fournis pour expliquer sa conception, son fonctionnement et présenter les bonnes pratiques, ce qui permettra l'atteinte des performances escomptées (en complément d'un suivi des consommations, pour rectifier des paramétrages ou comportements énergivores).

Le label [R2S-4GRIDS](#) propose également un volet "Implication des parties intéressées" dédié à la sensibilisation et au confort des occupants, ainsi qu'à l'implication de l'exploitant.

1.3 Les acteurs et ressources du numérique au service du bas carbone

Les principaux programmes et réseaux dédiés au numérique du bâtiment sont :

- [Plan BIM 2022](#)
- [BuildingSmartFrance - Mediaconstruct](#), et notamment le [GT Building Energy Modeling](#)
- [SBA - Smart Building Alliance](#)
- [ADN Construction](#)
- [Solutions Bas Carbone](#), le salon couplé à BIM World
- [REX BIM Tour](#)

D'autres ressources sont disponibles [en annexe](#).

⁹ 40 trucs et astuces pour économiser l'eau et l'énergie. Ademe 2019

2 Les opérations exemplaires

2.1 Mettre en valeur son ouvrage pour participer à l'ambition collective

Les retours d'expériences sont sources d'émulation et d'apprentissages. Voici quelques recommandations pour mettre en valeur votre projet performant en termes de numérique et bas carbone :

Je renseigne une « étude de cas » Construction21

Et je participe aux BIM Green Awards

En Bretagne, je me rapproche de B2E

batiment@b2e.bzh

Et de BATYLAB

contact@batylab.bzh

En Pays de la Loire, je me rapproche de NOVABUILD

contact@novabuild.fr

2.2 Le retour d'expériences comme support de conception

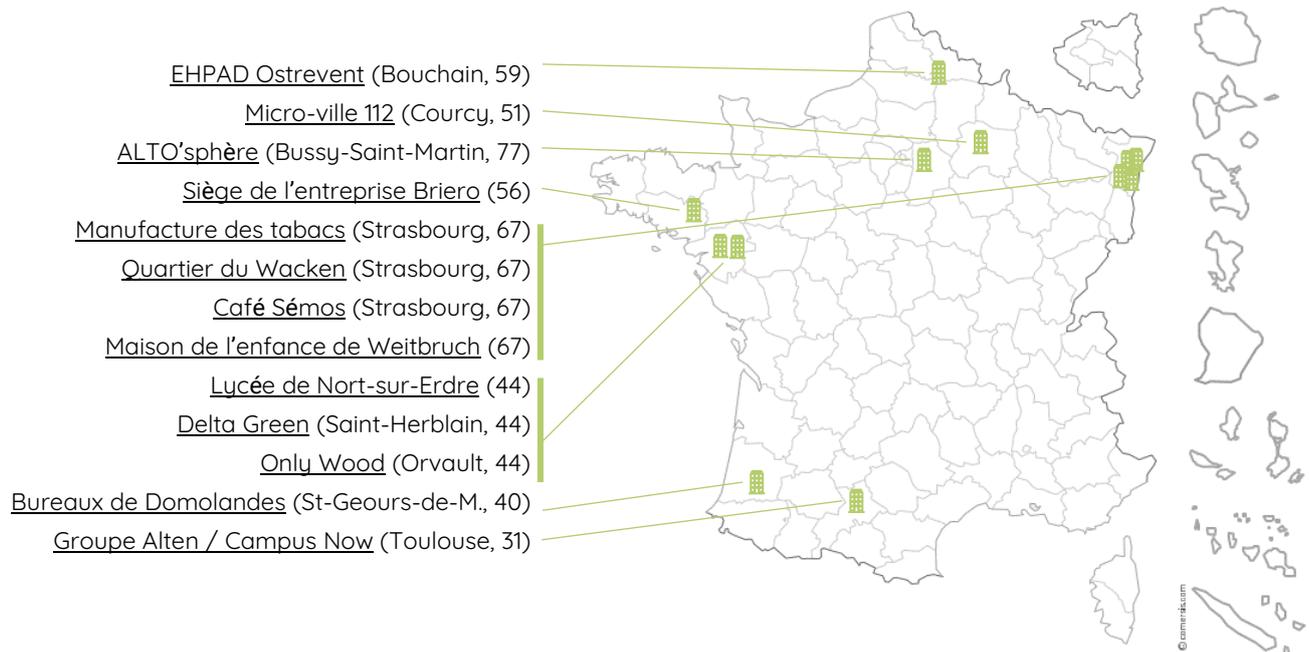
L'exploration des bases de données de bâtiments a permis repérer ceux pouvant répondre à cette question :

**Comment le numérique a-t-il été mis au service d'opérations
aux ambitions énergétiques et bas carbone élevées ?**

Les bases de données suivantes permettent d'identifier à la fois les critères environnementaux et numériques des opérations d'aménagements ou de bâtiment.

	Quartiers	Bâtiments
Les études de cas de Construction 21		
CertiMap (projets certifiés par Certivéa)		
Panorama de la construction durable en Pays de la Loire, par NOVABUILD		
BBCA - Bâtiments et territoires bas carbone		
La carte interactive Écoquartier		
Test HQE Performance Quartier		
Projet Quartier Énergie-Carbone		
Les retours d'expériences de Batylab		
Observatoire BBC		
La base de données PassivHaus		
Observatoire E+C-		
Les opérations exemplaires de Cerqual		
Les opérations certifiées par Prestaterre		

Les bâtiments suivants ont été repérés :



L'analyse de ces projets permet d'identifier plusieurs motivations pour recourir au numérique :

❖ **Dès la phase concours :**

- **Faire mieux comprendre** le projet lors de la sélection ;

❖ **En phase conception :**

- **Améliorer techniquement** le projet, grâce au découplage des disciplines de maîtrise d'œuvre ;
- **Optimiser les échanges** entre intervenants, avec meilleure visualisation des points de détails en 3D par rapport à la vision 2D ;
- **Réduire les risques** (coût, délai, qualité) ;
- **Réduire** les aléas de chantiers (anticipations des erreurs, oublis par la gestion des clashes en phase conception) ;
- S'assurer de **l'intégration du projet au sein de son environnement** existant ou à venir ;
- Optimiser la **réversibilité** des locaux ;
- **Anticiper le réemploi**, pour le chantier à venir (en tant qu'émetteur - de terres excavées par exemple - ou en tant que récepteur) et/ou pour une future évolution du bâtiment avec déconstruction partielle (banque de matériaux disponible pour de futurs travaux)
- Amorcer la réflexion sur l'usage du BIM pour la gestion, la maintenance et le suivi des consommations par rapport aux prévisions (**jumeau numérique**)

❖ **En phase exploitation :**

- Bénéficier d'une maquette numérique utile à l'exploitation

Focus construction bois

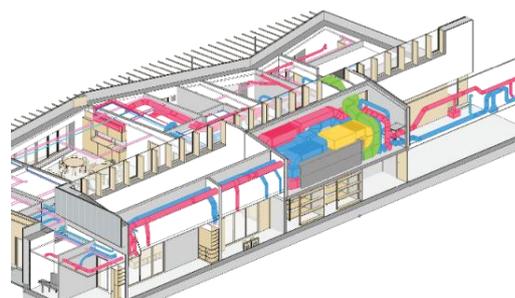
« Les spécificités du bois pour la construction font de ce matériau un vecteur naturel vers le BIM, selon plusieurs architectes, qui ont partagé leur expérience, le 28 janvier, lors de la conférence "construction bois, architecture et numérique", organisée par le CNDB (Comité national pour le développement du bois) avec Abvent, qui propose une gamme de logiciel de BIM (building information modelling), outil de conception 3D des bâtiments. »¹⁰

Exemple d'usage maquette BIM

La maison de l'enfance à Weitbruch (67), par Nunc architectes et le BET Solares Bauen¹¹

Bâtiment E+C-, appel à projets "bâtiments passifs" - ossature bois, isolants biosourcés

"Réalisation de plans 3D pour une intégration démarche BIM optimale des réseaux dans la maquette architecte, en particulier dans le local technique. Intégration de l'ensemble de la parcelle et des réseaux enterrés sur la maquette, engendrant un rendu global réaliste du projet. Le métré réalisé sous Revit permet une meilleure prévision des coûts, plus proche de la réalité"



Exemple d'intégration de la maquette BIM dans le SIG

Le Parc des Expositions du Wacken à Strasbourg (67), par l'architecte Kengo Kuma & associates et le bureau d'études OTE Ingénierie

Lauréat BIM Green Awards 2020

« Pour s'assurer de l'intégration du projet PEX à l'aménagement global du quartier Wacken Europe, OTE Ingénierie a développé une démarche originale, qui repose sur l'intégration de la maquette BIM dans une application de cartographie 3D (Système d'Information Géographique- SIG), afin de développer un atlas interactif 3D collaboratif et "intelligent". »¹²



> [Consulter l'Atlas interactif](#) <

À l'issue de cette recherche, une question reste en suspens :

Dans l'utilisation du numérique pour ces opérations qu'est-ce qui a bien marché, qu'est-ce qui a bloqué, et pourquoi ?

¹⁰ « [Le bois, "porte d'entrée" des architectes vers le BIM](#) » par Basile Delacorne, le 28/01/2021 sur Batiactu.com

¹¹ [L'expertise BIM – Solares Bauen](#)

¹² [Construction 21 – Aménagement du quartier de Wacken Europe à Strasbourg - Construction du nouveau Parc des Expositions](#)

3 Méthodes et outils

Problématique du chapitre : définir le périmètre d'un programme Bas Carbone, proposer ou lister des outils de calcul et d'analyse SMART (Simple, Mesurable, Atteignable, Réaliste, Temporel) et identifier les bases de données associées.

L'outil numérique est aujourd'hui primordial dans l'analyse et l'aide à la décision. En effet, l'aménagement de la ville ne peut se faire sur des bases mono-critères, il est donc important d'agréger sous forme ludique et cartographiées les enjeux du territoire, ses faiblesses, opportunités et contraintes. Les différentes bases de données ne sont pas toujours compatibles : leur réinterprétation est nécessaire pour permettre d'apporter une vision synthétique et fidèle, mais souvent complexe, du territoire.

Le numérique, et notamment la « maquette numérique » peut ici également jouer un rôle prépondérant, en permettant de simuler des usages différents au sein du bâtiment, des évolutions dans son aménagement intérieur ou son enveloppe extérieure, et en permettant de visualiser clairement les étapes, les impacts et les besoins en termes d'intervention, de matériaux, etc.

3.1 Périmètre de l'analyse

Poursuivre l'ambition d'aménager, de construire ou de rénover un bâtiment selon l'approche « bas carbone » implique de se questionner sur le périmètre de l'étude : **quels éléments ont un impact sur le « poids carbone » d'une opération ?**

Bien définir le besoin

Dès la programmation, l'approche « bas carbone » amène à **se questionner sur le besoin même de construire** un nouveau bâtiment : est-ce que l'usage recherché ne peut pas être obtenu autrement qu'en construisant un nouveau bâtiment ? Via la mutualisation, l'optimisation et éventuellement l'adaptation de constructions existantes ?

Les personnes qui vivent dans les lieux construits ou rénovés sont au cœur de la maîtrise des émissions de gaz à effet de serre. L'intégration de la « maîtrise d'usage »¹³ dans la conception du bâtiment permet de répondre au mieux aux besoins des habitants, occupants et utilisateurs. Les données environnementales peuvent être utilisées pour leur sensibilisation et pour faciliter la prise en main du bâtiment pour **obtenir un confort optimal**.

Une fois ce besoin global défini, la conception du bâtiment doit rechercher avant tout la sobriété dans une approche bioclimatique afin de **limiter les besoins en systèmes énergétiques**.

Les échelles spatiales



En version imagée : il s'agit de regarder l'ensemble de l'iceberg et non plus seulement sa partie émergée, la plus visible, à savoir les factures énergétiques à payer.

Nous vivons une urbanisation galopante ces dernières décennies qui délaisse des zones vieillissantes pour construire sur des zones vierges mais très souvent sur des terres cultivables. Cette pression de plus en plus forte est très bien expliquée à travers le manifeste de Sylvain Grisot « pour un urbanisme circulaire »¹⁴. Cet éloignement a pour incidence plusieurs impacts :

- Le recours au transport individuel de type voiture pour parcourir la distance ;
- La création d'infrastructures de loisirs ou commerciales en périphérie, au détriment des centres villes
- La perte de biodiversité, de terres agricoles, l'imperméabilisation des sols, ...

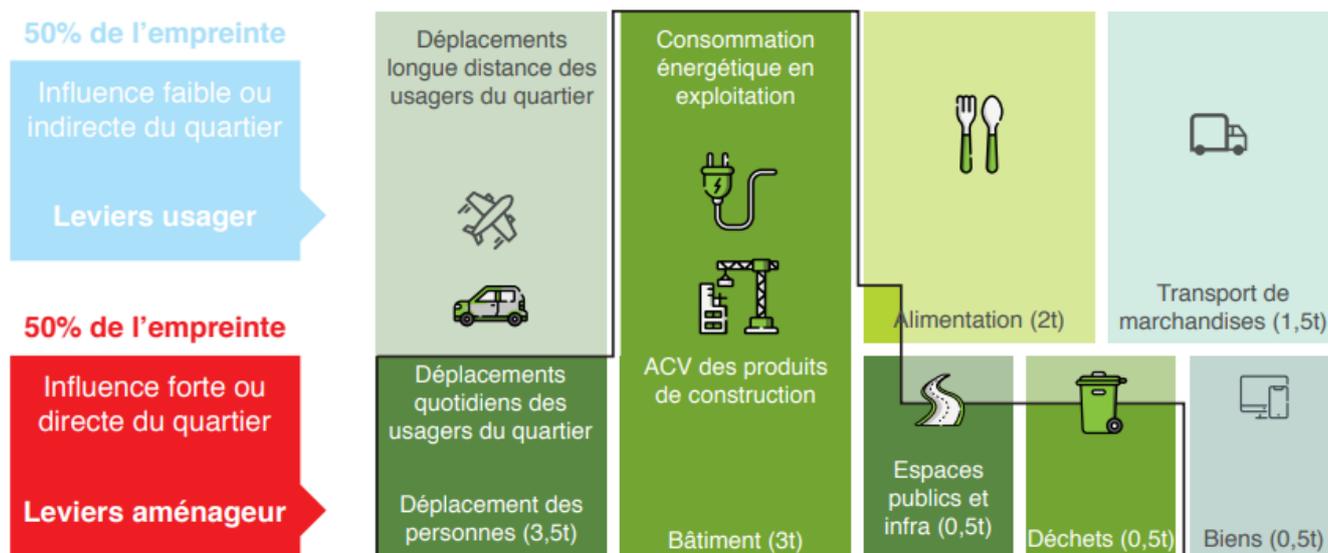
¹³ Voir par exemple le [réseau de l'Assistance à Maîtrise d'Usage](#)

¹⁴ Manifeste pour un urbanisme circulaire, Pour des alternatives concrètes à l'étalement de la ville. Sylvain Grisot, 2021, Éditions Apogée

L'acte de construire est intimement lié au lieu d'implantation. Ce lieu d'implantation définit un environnement mais aussi des caractéristiques qui auront un impact sur le projet et des incidences sur son impact Carbone. En effet, la nature des terrains, l'éloignement vis-à-vis des commodités et des transports en commun ont un impact direct. Faire la ville sur la ville permet d'optimiser l'utilisation des infrastructures, des pôles économiques, des institutions, etc. - difficilement déplaçables.

Le bâtiment n'est pas une entité isolée, mais fait partie d'un groupe de bâtiment, d'un quartier, d'une ville. Il s'agit de passer d'une approche strictement bâtimentaire à une approche « opération / quartier /ville ».

Le **quartier présente une forte influence sur la moitié de l'empreinte carbone** moyenne d'une personne en France, d'environ 9 tCO₂e/pers.an en 2019¹⁵. **Les bâtiments représentent 40 % des émissions du quartier**, et **un quart de l'empreinte globale**.



Empreinte carbone et responsabilité de l'aménageur (sources : [Quartier Énergie Carbone](#) et [BBCA Quartier](#))

Concrètement, il s'agit de **mutualiser, optimiser et rationaliser**. Cela implique notamment de s'interroger sur l'opportunité et la faisabilité :

- d'un réseau de chaleur (plusieurs bâtiments raccordés à une même unité de production/distribution de chaleur) ;
- d'une autoconsommation collective (panneaux solaires sur les surfaces les plus favorables, mais qui profitent à tout un groupe de bâtiments) ;
- de l'usage du bâtiment et de mutualisations possibles, en optimisant l'utilisation des surfaces construites pour éviter de dupliquer des surfaces (exemple : les salles de classes, inutilisées les soirs, week-ends et vacances, peuvent servir pour des associations)

¹⁵ Estimation de l'empreinte carbone de 1995 à 2020. Service gouvernemental des Données et Études Statistiques

La temporalité du cycle de vie



En termes de **temporalité** des émissions, **l'analyse en cycle de vie (ACV)** prend en compte l'extraction des matières premières jusqu'à la mise en œuvre sur le chantier, en passant par les procédés industriels et le transport, pour tous les matériaux et systèmes énergétiques mis en place.

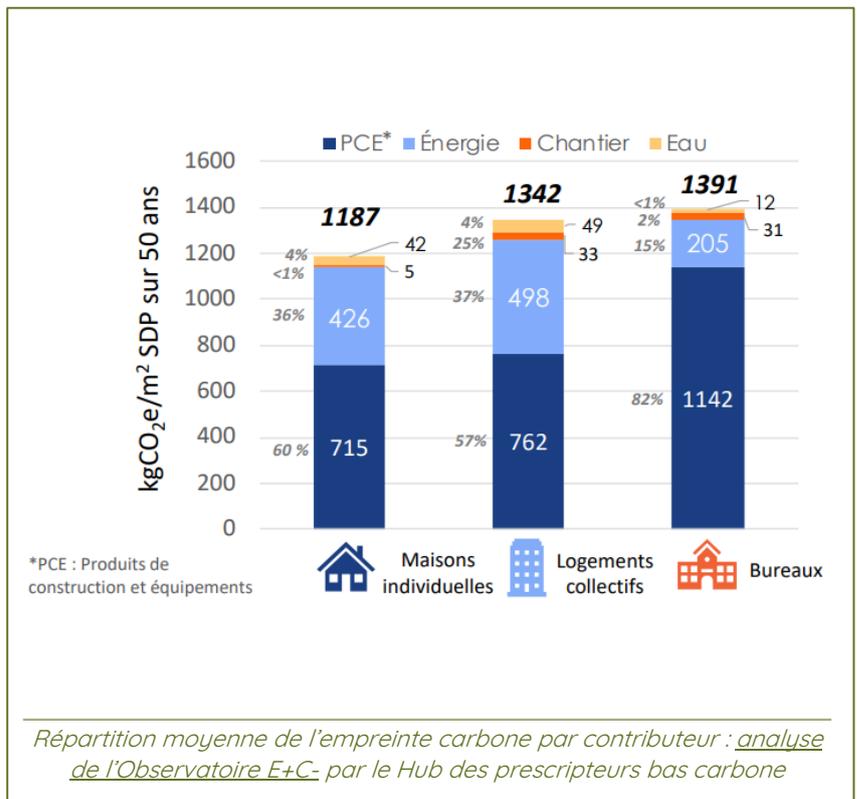
Périmètre de l'analyse de cycle de vie (sources : Quartier Énergie Carbone et Cerema)

Il s'agit également d'anticiper les évolutions et mutations possibles du bâtiment pour limiter les interventions futures. Un bâtiment adaptable et évolutif dans ses usages au quotidien peut ainsi amener à ne pas avoir besoin de construire d'autres surfaces, qui auraient eu un usage très spécifique et très ponctuel. Il s'agit là aussi d'une approche « bas carbone », puisqu'on évite de nouvelles constructions, équipements et consommations.

La phase « construction » représente environ **60 % des émissions des logements** sur 50 ans, et plus de **80 % en moyenne sur les bâtiments tertiaires**. Le **choix des matériaux** devient particulièrement important pour réduire les émissions de gaz à effet de serre. Les matériaux biosourcés et géosourcés présentent souvent une meilleure empreinte carbone¹⁶. Selon les matériaux, leur transport entre l'extraction des matériaux, leur lieu de fabrication, le lieu de construction et l'enlèvement lors de la déconstruction peut représenter une part significative de l'empreinte carbone. Ce détail est spécifié dans les [FDES](#)*.

La **phase exploitation** comprend :

- les **consommations d'énergie** liées :
 - o aux usages réglementés (chauffage, ventilation, éclairage, production d'eau chaude, éventuellement climatisation),
 - o à tous les autres usages électriques, dits « spécifiques » : bureautique, cuisine, laverie, ... ;
- **L'entretien et la maintenance** du bâti et des équipements ;
- Les éventuels travaux de transformation, d'évolution du bâtiment.
- Les **déplacements des usagers** du bâtiment, et modes de transports associés : un bâtiment dont une partie des occupants peut s'y rendre via les transports en commun et via les mobilités actives (vélo,



¹⁶ Brief de filière sur les matériaux biosourcés. Hub des prescripteurs bas carbone (Ifpeb/Carbone 4), juin 2021

trottinette, marche) aura un poids carbone plus faible que le même bâtiment construit à l'écart de tout pôle de vie, qui obligerait tous ses occupants à prendre leur voiture pour s'y rendre (voir [l'outil Éco-mobilité](#) d'Effinergie).

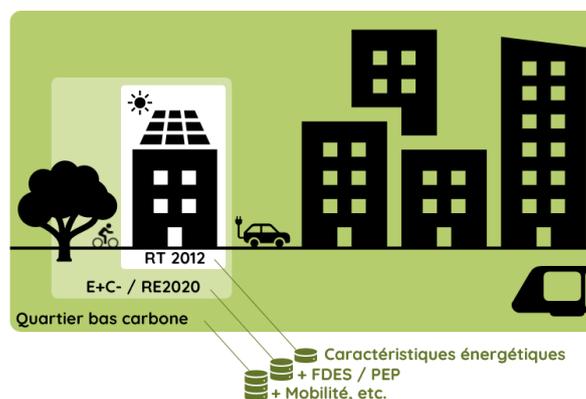
Les retours d'expérience d'entretien et maintenance des systèmes sont importants pour les optimiser et faciliter les interventions.

La **fin de vie** comprend la déconstruction et évacuation des matériaux, équipements et mobiliers, et le curage de la parcelle.

Émissions, réglementations, expérimentations

Jusqu'à la RT 2012, seule la performance thermique de l'enveloppe et les consommations réglementées étaient étudiées. [L'expérimentation E+C-](#), « Énergie positive et réduction Carbone », lancée en 2016, a rendu visible l'approche « Analyse du Cycle de vie », dans le but de l'introduire dans la réglementation environnementale RE2020. Celle-ci apporte des évolutions importantes par rapport à la RT2012:

- o La RT2012 concerne l'enveloppe thermique et les systèmes techniques (Chauffage, Refroidissement, ECS, Ventilation). La RE2020, quant à elle, englobe tous les matériaux et composants présents durant l'acte de la construction mais également la gestion du chantier et des transports associés. Si la RT2012 renvoie à des données thermiques (Lambda, R ...) pour son calcul, la RE2020 fait appel à des données environnementales calculées par les industriels suivant leur process de transformation, fabrication et transport (Fiche FDES, PEP)
- o La RT2012 possède une méthode de calcul complexe basée sur les règles physiques de la thermique et de l'énergétique avec des données d'entrées plus ou moins simplifiées suivant leurs paramètres. En complément de cette réglementation Thermique, la RE2020 engage le bâtiment dans une approche carbone basée sur un calcul simple (addition et multiplication) nécessitant des données d'entrées nombreuses (quantitatifs de tous les matériaux) et complexes (Fiche FDES et PEP).
- o L'application de la RT2012 impose à l'étape du PC le seul calcul de l'indicateur BBio (critère Bioclimatique) qui caractérise parfaitement l'étape de conception de ce jalon (conception architecturale placée dans son environnement). Dans le cadre de la RE2020, le maître d'ouvrage s'engage au stade PC à justifier avant le début des travaux le respect des seuils Carbone. Le calcul de l'ACV du bâtiment nécessite l'extraction des quantitatifs et l'affectation des matériaux, même avec approximations, plus tôt ce calcul sera réalisé, meilleurs seront les choix de conception.



3.2 Panorama des outils existants

Afin d'identifier tous les outils de calcul des indicateurs environnementaux, un sondage diffusé en ligne en février 2021 et la liste des logiciels agréés pour [E+C-](#) et la [RE2020](#) ont permis d'identifier une première liste non exhaustive :

	Énergie	Carbone	Adaptation	Économie circulaire
Climawin	RE 2020	RE 2020	RE 2020	
Pléiades	RE 2020, STD	RE 2020	RE 2020	
Cype : Cypetherm + Élodie	RE 2020	RE 2020	RE 2020	
Perrenoud	RE 2020	RE 2020	RE 2020	
Archiwizard	RE 2020, STD	RE 2020	RE 2020	
Visual TTH	RE 2020		RE 2020	
Openergy	STD		STD	
IES VE	STD		STD	
Trnsys	STD		STD	
EnergyPlus	STD		STD	
DesignBuilder	E+C-, STD		E+C-, STD	
Vizcab		Esquisse, RE 2020		
Béa		RE 2020		
SustainEcho		RE 2020		
Nooco		RE 2020		
One Click LCA		RE 2020		
Cocon		E+C-		
Hub des prescripteurs bas carbone	Analyse Observatoire E+C-	Analyse Observatoire E+C- et base Inies		
Advizeo	Exploitation			
Avob	Exploitation			
Citron	Exploitation			
Deepki	Exploitation			
Green systèmes	Exploitation			
Intent Technologies	Exploitation			
IQspot	Exploitation			
Ogest	Exploitation			Exploitation
Unigrid Solutions	Exploitation			
Wizzcad	Exploitation			
GES Urba	PLU, PLUj, SCOT E+C- quartier	PLU, PLUj, SCOT E+C- quartier		
UrbanPrint				
Bât'Adapt			Synthèse des risques	
Arbre en ville			Végétal et îlot de chaleur	
Solène			Micro-climat urbain	
ICE Tool (plug-in QGIS)			Îlot de chaleur	
Afleya				Valorisation des déchets de chantier
Upcyclea				Banque digitale de matériaux
Articonnex				Gestion des matériaux déclassés, destockés, réemployés
Backacia				
Cycle Up		Évaluation		

3.3 Indicateurs et objectifs

La qualité d'un projet et la quantification de son impact doit s'appuyer sur des **données existantes** et **fiables**. De plus, la notion de **référence** est essentielle pour comprendre l'effort consenti. En effet, le gain carbone devra être évalué en fonction d'un projet référence et nous savons aujourd'hui que le calcul de cette référence est déterminant dans le calcul du gain et des solutions à trouver.

S'il existe de nombreux indicateurs dans chaque phase de la construction, nous décidons de retenir dans cette partie les indicateurs de la RE2020.

Base de calcul et partage de l'information

Si la RT2012 et le volet énergétique de la RE2020 renvoient à une méthode de calcul complexe appelée TH-BCE basée sur les dimensions énergétiques, le calcul **ACV*** qui qualifie l'indicateur carbone correspond à une approche calculatoire très simplifiée.



La simplicité du mode de calcul doit donner lieu à un partage des informations et l'appropriation par tous les acteurs d'un projet. Ne créons pas une "usine à gaz" accessible qu'à des experts ! C'est le risque d'une démarche centralisée autour d'un seul acteur (Bureau d'études).

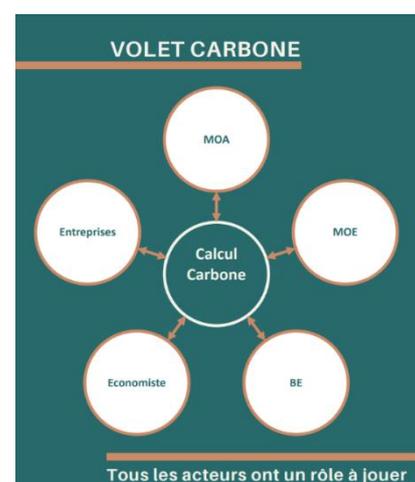
Ce message est porté par de nombreux professionnels qui font le constat que la RT2012 est un sujet d'expert, mais que l'ACV est un sujet transverse sur un projet. C'est dans ce sens que le GT Bâtiment numérique et Bas carbone a été initié. **La donnée environnementale, si elle doit être partagée, devra être numérique !**

Travail d'équipe

Les premières études réalisées dans le cadre de **l'expérimentation E+C-** font apparaître des **interactions fortes entre tous les acteurs d'un projet**. Tout au long d'un projet chaque acteur est maître d'une partie de l'équation.

Nous le constatons, **l'application de la RE2020** demande de mettre en place un **processus de mise à jour continue**, basé sur des **hypothèses qui seront validées, adaptées et corrigées au fil de la conception et de la construction**. Les outils numériques et le BIM (Building Information Modeling) s'imposent comme une formidable **opportunité pour les équipes de gérer l'indicateur carbone de façon dynamique**.

Les Bureaux d'études thermiques ont souvent récupéré la mission carbone, du fait de la continuité de la mission énergétique. Toutefois, l'ACV devra être instruite avec les informations en provenance de l'économiste et de l'architecte, bien plus qu'actuellement avec la RT. Dans la phase de conception, l'analyse carbone est un véritable travail d'équipe entre le maître d'ouvrage, l'architecte, l'économiste et le thermicien pour lequel, un processus collaboratif s'impose.

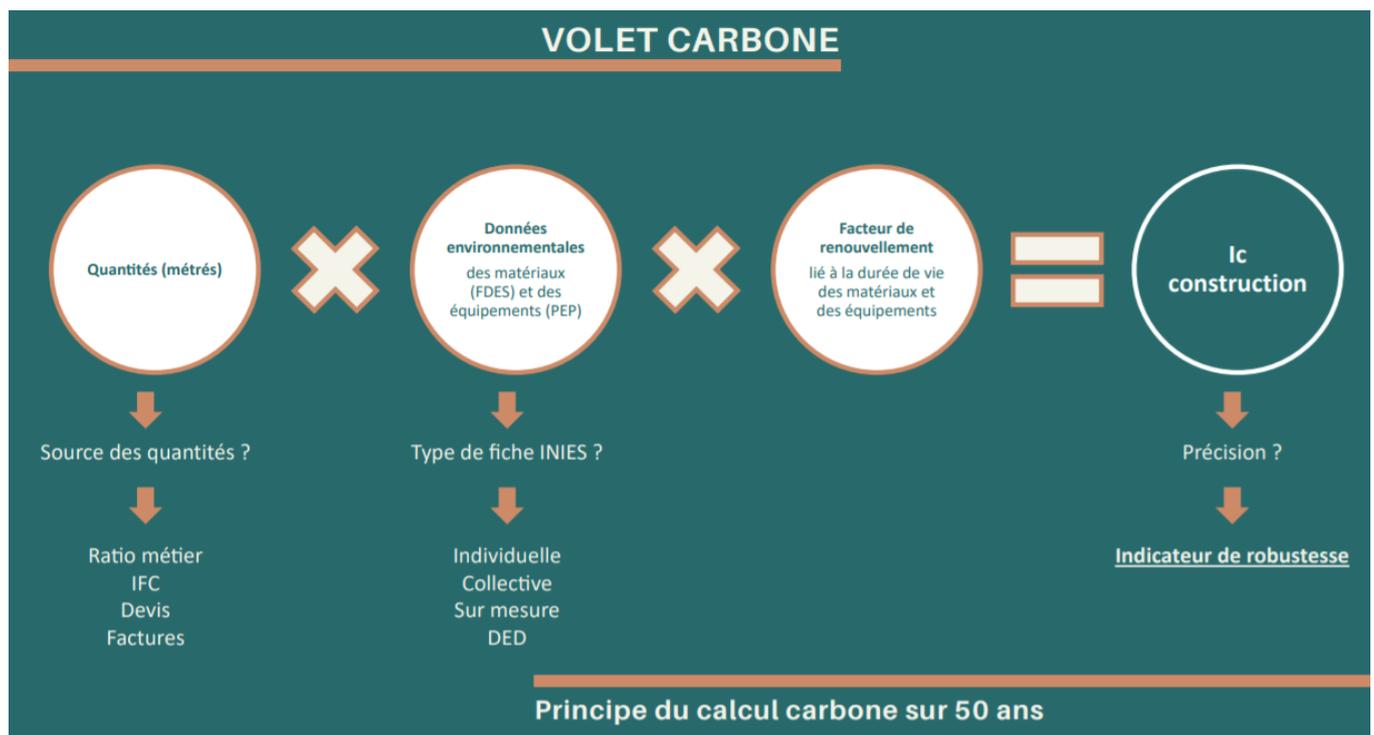


Ce schéma prend la forme d'un espace collaboratif, terme déjà employé dans la [démarche BIM - Building Information Modeling](#). Pour être efficace, les acteurs devront structurer, organiser et partager la donnée utile pour le calcul de l'indicateur Carbone.

Organisation et priorisation de la donnée

Maintenant que nous avons admis un calcul simple et enrichi par un nombre important d'acteurs, il est fondamental d'apporter une visibilité sur **l'animation et l'évolution des paramètres**. Une forme de **tableau de bord** qui permettrait à chacun de mesurer l'impact de ses décisions et qui apporterait à l'équipe une vision sur l'atteinte des objectifs et le niveau de criticité. Dans un autre secteur d'activité (industriels), il serait possible d'associer cette démarche à une *AMDEC (Analyse du Mode de Défaillance de leur Effet et de leur Criticité)*.

Notre groupe de travail a repéré **3 paramètres** attachés aux **3 données d'entrées** :



Des **éditeurs de logiciel** développent l'intégration de ces données pour simuler un tableau de bord pertinent et efficace permettant à tous les acteurs de se positionner et d'engager les évolutions et décisions justes et adaptées.

Nous avons précédemment mis en évidence la nécessité d'utiliser des données fiables. La Maquette Numérique BIM est un élément qui permet de lier les quantités aux plans de conception établis par la maîtrise d'œuvre. L'évolution du modèle suivant les niveaux de définitions (LOD -Level Of Développement) successifs permettra de compléter d'affiner et de fiabiliser la donnée extraite.

Toutefois, il est important de prendre en considération que tous les acteurs ne sont pas « BIM Ready ». Encore aujourd'hui le BIM n'est pas généralisé sur tous les projets et encore moins sur les projets de petite taille (Maison individuelle/petit collectif).

3.4 Base de données de référence

Les bases de données existantes dans le cadre du calcul RE2020 se découpent en 2 catégories :

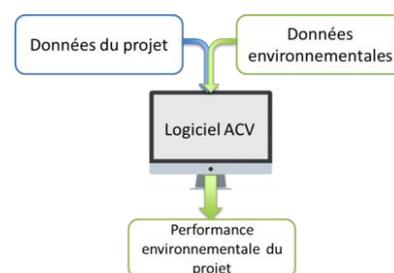
- La **quantité** des matériaux.
- La **valeur carbone** des matériaux

Concernant la **quantité** des matériaux, on ne parle pas de base de données mais de méthodologie de répartition des lots. Il s'agit de s'assurer que, d'un projet à l'autre, les postes et décompositions des œuvres s'organise d'une façon logique, structurée et cohérente. Dans le cadre de la RE2020, les services de l'état (CEREMA, ADEME, DHUP) ont missionné l'AICVF pour apporter aux professionnels des DPGF types (Décomposition du prix global et forfaitaire), afin de standardiser la façon de structurer cette donnée.

[Télécharger les DPGF types](#)

Concernant la **valeur carbone des matériaux**, la RE2020 impose l'utilisation de FDES et PEP pour caractériser le poids carbone des matériaux et systèmes mis en œuvre dans le cadre de la construction des bâtiments. L'organisation [INIES](#) a été missionnée pour structurer et animer cette base de données. Toutes les informations utiles sont présentes sur ce site.

La liste des données utilisées dans le cadre du calcul RE2020 est détaillée dans [cet article du Cerema](#).



3.5 Les hypothèses de calcul conventionnel et leur sensibilité

Il est important de comprendre que tous ces calculs et tous ces indicateurs n'ont pas pour but d'apporter une indication des performances réelles du bâtiment. Ces approches calculatoires sont proposées (ou imposées dans le cadre réglementaire) pour anticiper les impacts énergétique et carbone et comparer les bâtiments entre eux. Ce qui pourrait être reproché à cette démarche est le faible retour de ces calculs au regard de la réalité (consommation énergétique ou impact carbone).

Si, pour d'autre secteur d'activité (automobile ou électroménager par exemple), la démarche est identique par l'utilisation d'une étiquette consommation, les interprétations sont en revanche très différentes. En effet, concernant l'automobile ou l'électroménager, les valeurs annoncées sont issues de simulations et tests en conditions réelles par la capacité de simuler des usages précis dans un environnement stabilisé. Par exemple roulage en salle ou circuit pour les voitures ou cycle de fonctionnement pour l'électroménager.

Concernant le bâtiment, le temps d'un cycle est beaucoup plus long (l'année) avec des variations de l'environnement non maîtrisable (climat). De plus l'usage d'un bâtiment est fonction de ses occupants (nombre, niveau de confort ...). En conséquence, l'annonce d'une performance d'un bâtiment énergétique ou carbone d'un bâtiment ne pourra se baser que sur un modèle mathématique appelé "Calcul conventionnel". L'objectif de ce calcul est d'être le plus représentatif de la moyenne des usages des bâtiment suivant leur affectation (Logement, tertiaire, hôpitaux, scolaire, Lycée ...).

À chaque usage correspond un scénario conventionnel qui décrit, pour chacune des 8760 heures de l'année, le nombre de personnes dans chaque zone, leur dégagement de chaleur, d'humidité, l'utilisation des « mobilités intérieures » (ascenseurs et escalator, éclairage des communs), les apports internes par les équipements, les températures de consigne de chauffage et de refroidissement, la consommation d'eau chaude sanitaire, l'arrêt ou la marche de la ventilation ou de l'éclairage.

Dans le même registre, l'impact du climat dans les simulations de calcul peut avoir un impact fort, soit par la variation d'une saison par rapport à une autre, soit par la situation géographique. C'est pourquoi les pouvoirs publics ont défini des zones climatiques de référence avec des valeurs moyennées des données météorologiques. Par inévitable effet de seuil, il se peut donc que deux bâtiments strictement identiques voisin de quelques mètres de part et d'autre de la frontière de 2 zones puissent avoir des résultats énergétiques calculés différents puisqu'ils ne seraient pas positionnés dans la même zone climatique

3.6 L'outil numérique idéal : éléments de cahier des charges

Les échanges du groupe de travail ont fait émerger le manque **d'outils d'aide à la décision** qui **agglomèrent les données** et les **rendent plus digestes pour les non-techniciens**, par exemple les élus.

S'il ne semble pas avoir été développé commercialement, le projet [Cub2D](#) proposait des fonctionnalités en cohérence avec ce besoin.

Dans un échange en mars 2021 avec Nathaniel Beaumal de [Terra Innova](#), en ce qui concerne la valorisation agroécologique de terres de chantier, un **besoin spécifique** a été évoqué :

« La plus grande difficulté réside dans la connaissance à l'avance des différentes couches lithologiques impactées. Dans l'idéal, les projets pourraient compiler les données de l'étude de sol (chaque couche géologique associée au type de matériau, volume excavé, points altimétriques) via la maquette numériques (comme le logiciel Géomensura peut le faire). En effet, la récupération et l'analyse de l'étude de sol prend souvent du temps (il faut passer par le client), et celle-ci n'est jamais connectée au mouvement de terre (géoréférencé). La saisie de ces données dans la maquette numérique pourrait faire gagner 80 % du temps dans l'activité de Terra Innova. »

4 Le numérique au service du réemploi dans le bâtiment

Pour réaliser une opération immobilière bas carbone, il est nécessaire de prendre en compte la maintenance et la déconstruction de l'ouvrage, qui ont un impact conséquent dans le bilan environnemental. Le réemploi est un axe majeur pour limiter la consommation de matières premières, dont les stocks sont épuisables.

La [Fondation Bâtiment Énergie](#) a édité plusieurs documents concernant les critères et indicateurs de caractérisation de l'économie circulaire dans le Bâtiment. Parmi eux, [l'enjeu de la capitalisation de la donnée fait l'objet d'un document spécifique](#). Les membres du groupe de travail remercient Ingrid Bertin, coordinatrice de cet enjeu, de l'entreprise Setec, pour sa présentation en février 2021.

4.1 La rénovation

La première étape consiste à recenser et à évaluer la nature des biens et le niveau de vétusté.

Le logiciel [batiRIM](#) permet de quantifier, qualifier et cartographier les flux de produits et de matières issus de bâtiments en rénovation, réaménagement ou déconstruction

L'application [Diag it](#), développée par Cycle Up, est un outils pour réaliser facilement les diagnostics ressources afin de les partager rapidement au réseau.

Il existe aussi désormais de nombreuses plateformes de négoce pour les matériaux de seconde-main issus de déconstructions méthodiques (éventuellement de surplus de commandes). [Articonnex](#), [Backacia](#), [Cycle Up](#) permettent de mettre en relation l'offre et la demande de matériaux de réemploi de manière plus simplifiée.

4.2 La construction neuve

La démarche de Réemploi/Recyclage s'imposera dès la conception. C'est un changement de perception du bâti puisqu'il est considéré comme étant une ressource, un stock valorisé.

Pour s'assurer d'une bonne mise en œuvre, d'un suivi, et d'un démantèlement en fin de vie, il existe des logiciels qui identifient et recensent dès la conception chaque élément ([C2C - Cradle to Cradle](#)). [Upcyclea](#) est par exemple un logiciel collaboratif de gestion circulaire des ressources.

Les plateformes de négoce citées pour la rénovation peuvent également être utilisées pour intégrer des matériaux de seconde main dans les constructions neuves.

4.3 Cas concret d'utilisation du numérique dans l'économie circulaire

- **Orak**, le spécialiste du nettoyage et de la maintenance des sols textiles propose une offre « Optimal Karpet », solution globale de gestion des sols moquetés de la pose à la fin de vie. L'ensemble des informations sont consignées dans une base de données au travers de la webapp Orak. En fin de contrat, grâce à la traçabilité, la moquette est disponible pour le réemploi. Elle sera commercialisée via la plateforme e-commerce Optimal Karpet, la partie non réemployable est acheminée dans la filière de recyclage.
- Le groupement **OCEAN, Tri'n'Collect (SRB), Articonnex, Consult'EC** propose une offre globale qui s'appuie sur la plateforme numérique Articonnex pour mettre les matériaux déposés et réemployables sur le marché
- **Mobius Réemploi** est la première entreprise à publier deux FDES (Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire) pour un matériau de réemploi (des dalles de plancher technique brutes et avec stratifié) sur la base INIES : leur réduction de l'impact environnemental peut être valorisé dans la RE 2020.
- **Terra Innova** : Le recours au numérique est un réel levier pour l'approche « économie circulaire », via la notion de gestion et partage des données, pour faciliter la mise en relation entre les chantiers qui proposent des matériaux et ceux qui sont en demande. Intérêt d'avoir des données sur le sol très en amont pour savoir s'il faut construire là : mise à dispo et utilisation des données pour les intégrer dans une vision globale d'outils d'aide à la décision.

4.4 Perspectives du réemploi

Grâce à cette démarche d'anticipation et à la modélisation numérique, les déconstructions sélectives avec traçabilité des matériaux vont monter en puissance. La connaissance de la disponibilité des matériaux et la maîtrise des coûts associée à l'optimisation du processus faciliteront le réemploi des matériaux à grande échelle. De ces nouvelles pratiques, de nombreux acteurs à tous les niveaux sont déjà dans les starting-blocks.

5 Pratiques contractuelles

5.1 La Clause Verte

La Clause Verte est un outil numérique développé par le C2De pour intégrer des clauses environnementales dans les consultations. Parmi elles figure la clause « Système de gestion de l'énergie dans le bâtiment ». Des partenariats sont envisageables pour ajouter d'autres clauses.

5.2 Contrat de Performance Énergétique

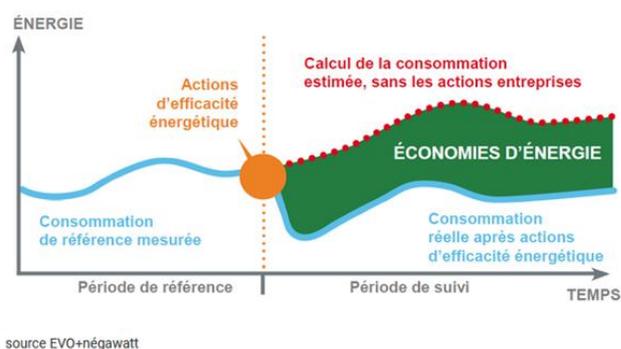
Un Contrat de Performance Énergétique (CPE) est un contrat conclu entre un maître d'ouvrage et une société de services d'efficacité énergétique visant à garantir au cocontractant une diminution des consommations énergétiques d'un bâtiment, parc de bâtiments ou encore d'une usine par des investissements dans des travaux de fournitures et/ou de services.¹⁷

Dans ce cadre, **les données énergétiques et les outils numériques de suivi deviennent des éléments clés.**

Un Plan de Mesure et Vérification (PMV) est mis en place pendant toute la durée du contrat afin de garantir la performance contractuelle. Il s'appuie sur la norme NF ISO 17741, qui fait référence au protocole international IPMVP¹⁸, édité par l'organisation non gouvernementale EVO.

L'amélioration de l'efficacité énergétique ainsi obtenue permet :

- de **diminuer la consommation d'énergie**, à service rendu équivalent
- **OU d'augmenter le service rendu**, à consommation d'énergie équivalente
- **OU de diminuer les consommations énergétiques, en augmentant le service rendu**



La création de valeur par les CPE

Le Contrat doit :

- transférer la **délégation de l'exploitation au prestataire**
- intégrer un **outil de suivi** et de **reporting des consommations** énergétiques
- une **situation de référence** et une **formule d'ajustement** aux facteurs d'influence externes
- avoir une **durée suffisante** en fonction des travaux engagés (5 à 8 ans)

La garantie des économies d'énergie dans la durée comporte :

- le **financement des travaux**
- une **régularisation** (bonus/malus) sur les engagements techniques (kWh ; CO₂ ; disponibilité)

¹⁷ Fiche thématique SNEC - Syndicat National de l'Exploitation Climatique et de la maintenance

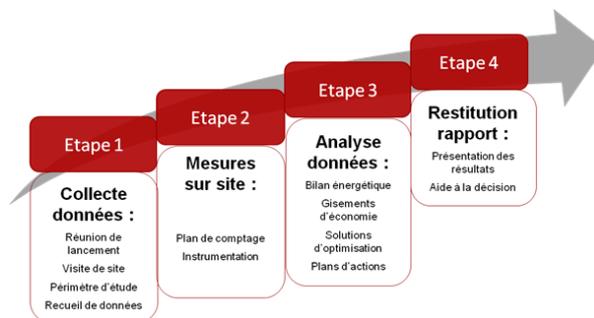
¹⁸ International Performance Measurement and Verification Protocol

Les essentiels d'un CPE

Identification des gisements

La collecte des **données historiques de consommation** et **les mesures sur site** permettent d'établir :

- la **consommation de référence**
- les **facteurs d'ajustement** de la formule de régularisation



La garantie des économies d'énergie dans la durée :

- porte **explicitement** et **quantitativement** sur les consommations d'énergie
- doit prévoir une **indemnisation de la sous-performance** (malus)
- doit prévoir une **prime de la surperformance** (bonus)

Détermination des actions de performance énergétique mises en œuvre

- sur le **bâti**
- sur les **équipements techniques** (utilités)
- sur l'**exploitation** et/ou la **maintenance**

Le tiers-financement

Dans un modèle de tiers-financement, le maître d'ouvrage n'a aucun investissement initial à prévoir : le projet est financé par les économies d'énergie.

Les bénéfices concrets du CPE

- Audit et accompagnement global
- Réduction de la facture énergétique dès le 1^{er} jour
- Réduction de l'empreinte carbone
- Monitoring et reporting pour bénéficier d'une vue et d'un suivi de la performance énergétique grâce à une plateforme dédiée
- Remplacement et/ou rénovation de vos installations
- Mise en conformité réglementaire
- Garantie de la performance pendant la durée du contrat (avec bonus/malus)
- Suivant conditions, financement porté à 100% par l'opérateur

Pour aller plus loin

- [ONCPE](#), l'observatoire des CPE
- [Contrats de performance énergétique : retours d'expérience](#). Cerema 2019
- [Enquête SNEC 2020](#) (Syndicat National de l'Exploitation Climatique et de la maintenance)

5.3 Annexe environnementale au bail

Obligatoire pour les bureaux et commerces de plus de 2000 m², cette annexe au bail est détaillée dans le [Code de la construction et de l'habitation](#). Elle permet une meilleure communication sur les équipements, les données énergétiques, d'eau et de déchets entre propriétaire et locataire.

6 Le rôle de l'économe de flux

Le suivi des consommations du bâtiment est nécessaire pour s'assurer de l'atteinte effective des performances escomptées. La non-atteinte des performances peut avoir plusieurs causes, notamment des réglages de consignes ou paramètres non optimisés, une mauvaise utilisation des systèmes par les occupants – souvent par manque d'information –, des dérives sur les usages, etc. Les optimisations en phase exploitation relèvent donc à la fois d'une approche technique (compréhension et interprétation des données pour déclencher les actions correctives sur les systèmes) et d'une approche relationnelle et pédagogique pour informer, sensibiliser, impliquer les occupants et utilisateurs du bâtiment.

L'économe de flux est un métier qui tend à se développer au sein des collectivités et des entités privées. Il allie justement ces compétences techniques et relationnelles, ainsi que des compétences d'optimisation des contrats de fourniture d'énergie. Spécialiste de l'utilisation rationnelle de l'énergie et du développement des énergies renouvelables, il fait partie intégrante de la maîtrise d'ouvrage, qu'elle soit publique ou privée. Dans les collectivités, on en trouve dans les grandes communes et les EPCI par exemple¹⁹. L'économe de flux doit faire le lien entre les services techniques, le service comptable et les décideurs (élus, DGS, DST dans une collectivité).

Les missions d'un économe de flux sont les suivantes :

- **Améliorer la connaissance du patrimoine** : inventaire des compteurs, clarification des contrats, diagnostics énergétiques, bilans de consommations et dépenses,
- **Optimiser les coûts** : modifications contractuelles (changement de tarif, résiliation, redimensionnement etc.)
- **Maîtriser les flux** : préconisations de réglages et de travaux (régulation, isolation, ventilation, éclairage, etc.)
- **Diffuser la culture énergétique** : sensibilisation des élus, des usagers et des agents, montée en compétences des services.

Développer ce type de missions au sein des entités privées, et notamment les TPE et PME avec des bâtiments de faible surface, pourrait passer par des postes d'économies de flux partagés, comme cela peut être proposé aux collectivités, avec les dispositifs de Conseil en Énergie Partagé, et les missions locales d'économies de flux mutualisées. Cela éviterait ainsi aux petites structures de porter le poids d'un emploi à temps plein, dont les gains énergétiques compenseraient plus difficilement les charges (là où le poste s'auto-finance plus facilement au sein d'une entité avec un parc bâti important), tout en bénéficiant de l'expertise régulière d'un économe de flux. Des dispositifs de ce type émergent :

- [Diag Éco-Flux](#), par Bpifrance
- [Projet MEE \(Maîtrise de l'énergie en entreprise\)](#), par la CCI de Vaucluse, le Pays d'Arles et des Alpes de Haute-Provence avec les associations ALTE et Écopolenergie

Pour aller plus loin

- [Économe de flux, un métier à soutenir et déployer](#). CLER 2019
- [Économe de flux](#). Programme ACTEE

¹⁹ *Focus Métier : Économe de flux – par le Centre Permanent d'Initiatives pour l'Environnement du Pays d'Aix*

7 Formation et référentiel de compétences

Le **référentiel de compétences** PACTE pour les métiers de la maîtrise d'œuvre sur le sujet de la performance environnementale des bâtiments ([Excel](#), [PDF](#)).

Le 7 juillet 2021, l'**ESTP** - École Spéciale des Travaux Publics a annoncé la création d'une [chaire dédiée au jumeau numérique de la construction et des infrastructures](#).

L'**Ademe** dispose d'un [moteur de recherches de formations](#).

La [plateforme MOOC Bâtiment Durable](#) propose de nombreux modules en lien avec la maîtrise de l'énergie et le bas carbone.

En ce qui concerne spécifiquement la RE2020 :

- **Cerema** : [Décrypter la réglementation](#) et [Réduire l'empreinte carbone](#)
- **RT-RE Bâtiment** : [le site officiel](#) de la RE 2020, et notamment [les outils et formations](#)
- **AICVF** : [la mallette de formation](#)
- **Cinov** : [webinaire « Se préparer à la RE2020 : enjeux et déploiement ! »](#) et [support](#)

8 Annexes

8.1 Glossaire

ACV - Analyse de Cycle de Vie : compilation et évaluation des intrants, des extrants et des impacts environnementaux potentiels d'un système de produits au cours de son cycle de vie (source : [Ademe](#)).

BIM - Building Information Modeling : ou modélisation des informations de la construction, est l'utilisation d'une représentation numérique partagée d'un bâtiment ou d'une infrastructure pour faciliter les processus de conception, de construction et d'exploitation de manière à constituer une base fiable permettant les prises de décision (source : [Wikipedia](#)).

Commissionnement : ensemble des tâches pour mener à terme une installation neuve afin qu'elle atteigne le niveau des performances contractuelles et pour créer les conditions pour les maintenir. (source : [Ademe](#), [Cotic](#), [FFB](#))

Contenu carbone : Somme des gaz à effet de serre émis lors des phases de production, de mise en œuvre et de fin de vie des matériaux de construction et équipements d'un bâtiment ou d'une infrastructure.

Économie circulaire : système économique d'échange et de production qui, à tous les stades du cycle de vie des produits (biens et services), vise à augmenter l'efficacité de l'utilisation des ressources et à diminuer l'impact sur l'environnement tout en permettant le bien-être des individus. (source : [Ademe](#))

Énergie grise : énergie consommée pour produire les matériaux de construction et les équipements d'un bâtiment ou d'une infrastructure.

Énergie d'usage : énergie consommée pendant la phase d'utilisation des bâtiments.

FDES : Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires, document normalisé qui présente les résultats de l'Analyse de Cycle de Vie d'un produit ainsi que des informations sanitaires dans la perspective du calcul de la performance environnementale et sanitaire du bâtiment pour son éco-conception (source : [Inies](#)).

8.2 Documentation

Articles

« [BIM et interopérabilité – REX du projet du Lycée de Liffré](#) » par Novabuild, le 19 avril 2018

« [Le bois, "porte d'entrée" des architectes vers le BIM](#) » par Basile Delacorne, le 28/01/2021 sur Batiactu.com

[L'expertise BIM – Solares Bauen](#)

[Aménagement du quartier de Wacken Europe à Strasbourg - Construction du nouveau Parc des Expositions, Construction21](#)

[Accompagnement INIES #faistafdes #faistonpep](#)

[Concertation sur les niveaux d'exigences de la RE 2020](#)

Livres

[Manifeste pour un urbanisme circulaire](#), Sylvain Grisot, 2021, Éditions Apogée

Sites internet

BIM

- [Plan BIM 2022](#)
- [BuildingSmartFrance - Mediaconstruct](#) – et notamment les [Mémos Pratiques BIM](#)
- [Bimstandards](#)
- [Smart Building Alliance](#)
- [ADN Construction](#)
- [Hexabim](#)
- [Projet européen ENCORE](#)
- [WestBim](#)

Outils

- [Hub des prescripteurs Bas Carbone](#) (IFPEB & Carbone 4)
- UNTEC : [suite logicielle MeToD](#) basée sur la [nomenclature UNTEC](#)
- [La Clause Verte](#)

Exploitation

- [Collectivités territoriales, maîtres d'ouvrage publics, engagez-vous dans la rénovation énergétique.](#) Ademe 2020
- [La maîtrise d'ouvrage publique des bâtiments : l'essentiel à connaître.](#) Cerema 2020
- [La Mesure de la Performance Énergétique des Bâtiments \(MPEB\).](#) Fondation Bâtiment Énergie
- [Les publications du Sysemi](#) – Syndicat des professionnels du Facility Management
- [Operat](#), la plateforme officielle de recueil et de suivi des consommations d'énergie du secteur tertiaire