

# Solutions béton

|  |      |   |       |
|--|------|---|-------|
| <b>Introduction</b>                                | P. 2 | <b>Carbone</b>                                      | P. 10 |
| Quelques éléments de contexte                      | P. 2 | Objectif et méthodologie                            | P. 10 |
| La RE2020  | P. 2 | Indicateurs retenus                                 | P. 11 |
| Conception d'un projet et validation réglementaire | P. 2 | Synthèse des exigences réglementaires en logement   | P. 11 |
| <b>Energie</b>                                     | P. 3 | Les leviers d'optimisation de l'impact carbone      | P. 12 |
| Objectif et méthodologie                           | P. 3 | Les outils disponibles                              | P. 16 |
| Indicateurs retenus                                | P. 3 | <b>Les garde-fous concernant les parois opaques</b> | P. 17 |
| Synthèse des exigences réglementaires              | P. 4 | Généralités   | P. 17 |
| Les solutions béton et leurs atouts                | P. 5 | Étanchéité à l'air                                  | P. 17 |
| <b>Inconfort estival</b>                           | P. 8 | Ponts thermiques                                    | P. 17 |
| Objectif et méthodologie                           | P. 8 | <b>Exemples de solutions globales RE2020</b>        | P. 18 |
| Indicateur retenu                                  | P. 8 | Maison individuelle                                 | P. 18 |
| Synthèse des exigences réglementaires              | P. 8 | Bâtiments collectifs 71 logements                   | P. 22 |
| Les solutions béton et leurs atouts                | P. 8 | Bâtiments collectifs 40 logements                   | P. 25 |
|  |      | <b>Le label d'État</b>                              | P. 27 |
|  |      | <b>Conclusion</b>                                   | P. 28 |

## RE2020

Concevoir les logements  
avec des solutions en béton



# Introduction

## QUELQUES ÉLÉMENTS DE CONTEXTE

En 2015, la COP 21 était annonciatrice des évolutions environnementales souhaitées par nos gouvernants. Dans la continuité des engagements des pays parties prenantes de l'accord, la France a promulgué la Loi de Transition

Energétique pour la Croissance Verte, laquelle a introduit la Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC), feuille de route multisectorielle de notre pays pour lutter contre le changement climatique, par l'atteinte de la neutralité carbone à

l'horizon 2050 et la réduction de l'empreinte carbone de la consommation de nos concitoyens.

Concernant la construction et plus particulièrement le bâtiment, la 1<sup>ère</sup> étape pour tendre vers les objectifs fixés par la SNBC est la mise en

place de la Réglementation Environnementale 2020, dite RE2020, qui va se substituer à la RT 2012 au 1<sup>er</sup> janvier 2022.

## LA RE2020

Les pouvoirs publics ont justifié la promulgation au 1<sup>er</sup> janvier 2022 d'une première réglementation environnementale ambitieuse pour les bâtiments neufs, afin de lutter contre le changement climatique et de s'y adapter.

Calculer et diminuer l'impact carbone des bâtiments, poursuivre l'amélioration de leur performance énergétique en donnant la priorité à la sobriété énergétique et à la décarbonation de l'énergie, réduire, limiter, maîtriser l'inconfort estival, en particulier en période caniculaire, mais aussi en été et en demi-saisons, tels sont les objectifs principaux de la RE2020 qui se substituera à la RT 2012.

Trois autres rendez-vous sont déjà programmés, en 2025, 2028 et 2031 avec des ambitions de réduction carbone des bâtiments neufs par palier d'ores et déjà affichées (-12 %, -22 %, -35 %), même si une clause de revoyure prévoit la possibilité d'amender ces objectifs au fil du temps.

La RE2020 est articulée autour de trois piliers principaux : l'énergie,

le confort d'été et le carbone. Si l'on doit résumer celle-ci aux obligations qu'elle va générer, six indicateurs soumis à seuils sont à calculer : trois relatifs à l'énergie (Bbio, Cep, Cep,nr), deux relatifs à l'environnement (ICénergie, ICconstruction) et un indicateur relatif au confort (DH).

Bien que le recours massif au bois et aux matériaux biosourcés soit annoncé par les pouvoirs publics de manière quasi-systématique à l'horizon 2030 en maison individuelle et petit collectif, les études exploratoires que nous avons menées avec des bureaux d'études indépendants nous permettent d'affirmer qu'il sera toujours possible de construire avec des solutions performantes existantes en béton. Ce numéro spécial de la collection Solutions béton consacré à la RE2020 expose non seulement les attendus de cette réglementation mais fait aussi référence à des retours d'expériences en maisons individuelles et logements collectifs, à partir de cas types, démontrant que sans optimisation

particulière, tant au niveau de la conception qu'au niveau des solutions standards retenues en gros œuvre en béton, la tendance est plutôt à confirmer que le béton reste un allié des acteurs de l'art de construire. En effet, les conclusions d'études exploratoires à vocation pédagogique menées par deux bureaux d'études indépendants pour le compte des membres de la filière béton permettent d'affirmer :

### INDICATEURS RE2020 :

■ Les tendances sont rassurantes pour que les solutions béton performantes respectent la RE2020 sur l'ensemble de ses indicateurs.

### SEUILS ICONSTRUCTION :

■ Les tendances sont rassurantes pour les solutions béton performantes aux échéances de 2022 et 2025.

■ Des optimisations seront néanmoins nécessaires pour respecter les seuils de 2028 et 2031.

### INERTIE :

■ Augmenter l'inertie du bâtiment (moyenne < lourde < très lourde) a un effet positif sur les indicateurs énergie et confort d'été.

Pour autant, des solutions concrètes d'optimisation sont proposées dans ce numéro, qu'il sera toujours possible d'activer dans le cas où un projet spécifique le nécessiterait.

Enfin, dans un chapitre consacré aux perspectives à court, moyen et long terme, il est exposé les solutions existantes (nouvelles formules de ciment à impact carbone réduit, normalisées en mai 2021 qu'il sera possible de mettre en œuvre, ainsi que les perspectives d'amélioration du processus de fabrication du ciment pour les seuils 2028 et 2031) qui mettront en œuvre de réelles innovations de rupture s'inscrivant dans la trajectoire de décarbonation de notre filière aux horizons 2030 (-24 % et -80 %) et 2050 (-80 %).

## CONCEPTION D'UN PROJET ET VALIDATION RÉGLEMENTAIRE

Pour bon nombre de projets immobiliers, en particulier pour les maisons individuelles et les petits collectifs, le calcul réglementaire

est la seule démarche réalisée dans les domaines thermiques et environnementaux. Il faut cependant bien distinguer la démarche

de « vérification de la conformité réglementaire » de la démarche de « conception ». La démarche de « vérification de la conformité

réglementaire » s'appuie sur un moteur de calcul dynamique au pas de temps horaire, mais avec des hypothèses conventionnelles

sur le climat, l'usage, les caractéristiques des produits et systèmes. Ce caractère conventionnel permet une uniformisation des études réglementaires, en réduit le coût, en facilite le contrôle et limite le risque de dérives.

Il permet également de comparer la performance de projets différents (à usage conventionnel équivalent). En contrepartie, les résultats obtenus peuvent être assez éloignés des performances futures réelles de l'ouvrage. Ils peuvent également être déformés par des hypothèses volontairement prises par le régulateur pour favoriser le déploiement de certaines solutions techniques

ou au contraire entrainer la mise au ban d'autres solutions. Ces résultats ne permettent pas, en tout cas, de dimensionner un ouvrage ou d'optimiser sa performance, en particulier s'il est fait appel à des solutions techniques peu courantes.

A contrario, la démarche de « conception » peut s'appuyer sur des données environnementales locales plus précises, des hypothèses d'usage plus proches de la réalité du projet et des modèles thermiques plus fins. Ceci permet un véritable travail de dimensionnement et d'optimisation par le bureau d'étude thermique qui vient

enrichir la vérification réglementaire. A titre d'exemple dans le domaine énergétique, un bon confort d'été peut être obtenu en associant à une forte inertie thermique, une architecture et des dispositifs permettant une sur-ventilation naturelle exploitant au mieux le tirage thermique et les conditions climatiques et aérauliques locales. De telles dispositions peuvent ne pas être correctement prises en compte par le moteur réglementaire.

Autre exemple dans le domaine environnemental cette fois, la démarche de « vérification de la conformité réglementaire » fixe

une durée de vie conventionnelle d'usage d'un bâtiment à 50 ans. Cependant, certains matériaux structurels employés pour la conception de l'ouvrage peuvent atteindre une durée d'usage de 100 ans. Cette différence de prise en compte de la durée de vie d'usage entre matériaux et bâtiment, peut entrainer l'emploi de matériaux pouvant être moins pérennes que d'autres.

A noter que certains logiciels permettent, avec une interface de saisie cohérente, de réaliser à la fois les calculs de « conception » et de « vérification réglementaire ». ■

# Energie

## OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE

Il s'agit dans un premier temps de quantifier et de réduire les besoins énergétiques du projet de bâtiment (Bbio), pour, dans un deu-

xième temps, couvrir ces besoins résiduels avec des systèmes dont on cherche à réduire la consommation (Cep).

Même si de nombreuses modifications ont été apportées aux hypothèses de calculs et même si certains indicateurs ont changés,

la philosophie de la RE2020 sur le volet énergétique reste la même que celle de la RT2012.

## INDICATEURS RETENUS

### BBIO

Le Bbio correspond aux besoins énergétiques du bâtiment.

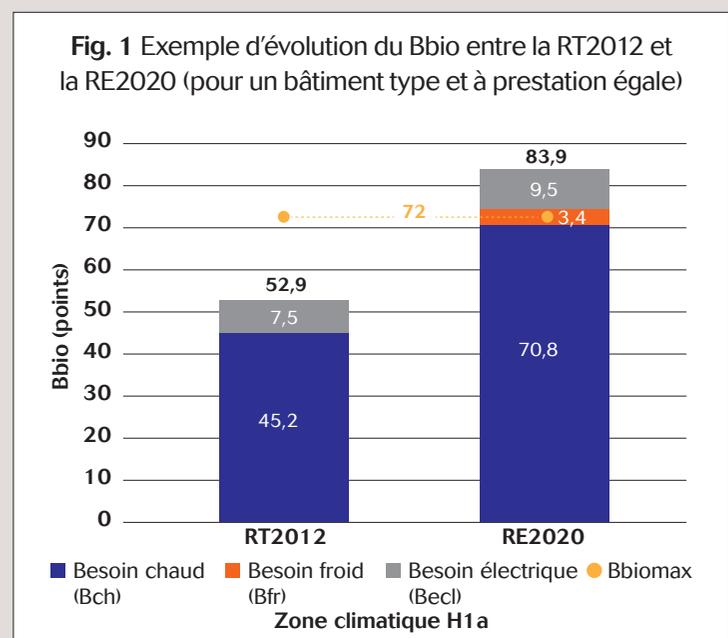
Si on retrouve globalement dans la RE2020 l'indicateur BBio défini dans la RT2012, son calcul a bénéficié d'un grand nombre d'évolutions. On peut noter par exemple que :

- Les données climatiques ont été mises à jour et certaines stations météorologiques de référence ont même été changées ;
- Des besoins de froid sont rajoutés, même pour les bâtiments non climatisés ;
- La surface de référence n'est plus une SHON modifiée (SHONRT) mais la SHAB (Surface

HABitable) pour le résidentiel et la SU (Surface Utile) pour le tertiaire .

A bâtiment, usage et environnement égaux, l'ensemble de ces évolutions se traduit par une augmentation significative du nombre de point de BBio. Dit autrement, un niveau de BBio calculé selon la RT2012 ne peut pas être comparé à un niveau de Bbio calculé selon la RE2020, même si les deux sont exprimés en points.

Le graphique ci-contre [Fig.1] illustre cette évolution pour un bâtiment type en zone climatique H1a.



## CEP

Le Cep est la somme des consommations énergétiques du bâtiment. Dans le cadre de la RE2020, son calcul a bénéficié d'un grand nombre d'évolutions par rapport à la RT2012. On peut citer par exemple :

- Comme le BBio, le Cep est impacté par les changements sur les données climatiques ;

- Des consommations de froid forfaitaires sont rajoutées lorsque l'indicateur d'inconfort estival DH dépasse un seuil bas (voir chapitre « Carbone »). Ces consommations conventionnelles sont calculées en fonction du nombre de degrés-heure ;

- La surface de référence n'est plus une SHON modifiée (SHONRT)

mais la SHAB (Surface HABitable) pour le résidentiel et la SU (Surface Utile) pour le tertiaire ;

- Certaines consommations auxiliaires ont été rajoutées (ascenseurs et escalators, éclairage et ventilation des parkings, ...).

## CEP,NR

- Le Cep,nr correspond à la part du Cep réalisé à partir d'énergie primaire non renouvelable. A titre d'exemple, à Cep constant, la mise en œuvre dans un bâtiment de solutions énergétiques bois ou la part renouvelable des réseaux de chaleur urbain permet donc de réduire le Cep,nr.

# SYNTHÈSE DES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

## BBIO

Le Bbio max moyen est fixé à :

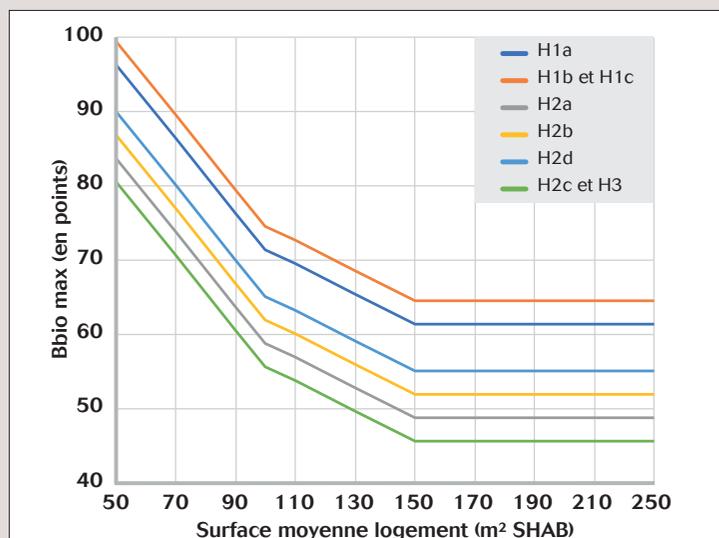
- 63 points pour les maison individuelles ou accolées ;

- 65 points pour les logements collectifs.

Ces seuils moyens sont modulés en fonction de certaines caractéristiques du projet.

A titre d'exemple, le graphe ci-dessous [Fig. 2] présente l'évolution

du Bbio<sub>max</sub> pour une maison individuelle isolée ou accolée, à moins de 400 m d'altitude, sans combles aménagés et située à la fois hors zone climatique H2d ou H3 et hors zones bruyantes. On constate que le Bbio max est d'autant plus important que le climat est froid et le logement est de faible surface.



**Fig. 2** Note : ces Bbio max augmentent avec l'altitude, avec la présence de combles aménagés de moins de 1,80 m de hauteur et en zone climatique H2d ou H3 + zones bruyantes (critères à cumuler).

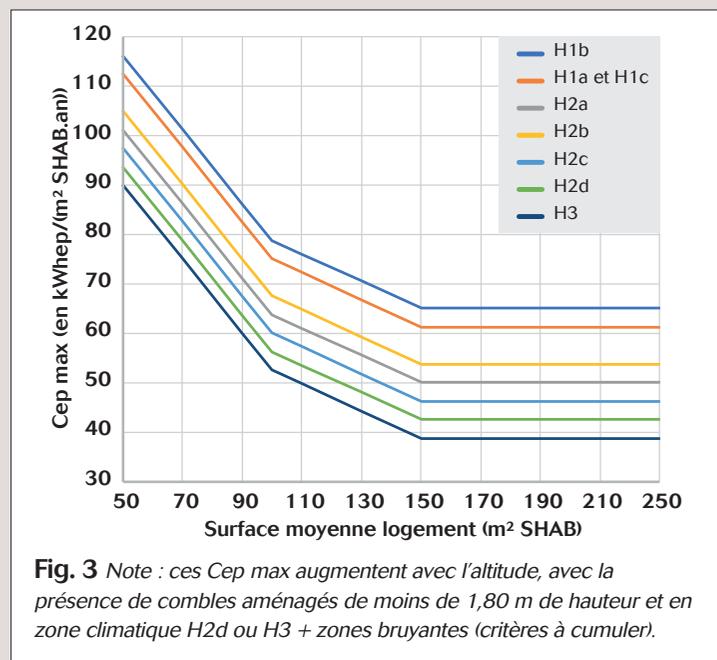
En considérant les cas extrêmes, le Bbio max est compris entre :

- 45 et 130 points environ pour les maisons individuelles ou accolées (de plus de 70 m² de SHAB) ;

- 54 et 130 points environ pour les logements collectifs.

Compte tenu des changements méthodologiques évoqués précé-

demment, il n'est pas possible de comparer directement le nombre de points des seuils de Bio de la RT2012 et de la RE2020. Le durcissement réglementaire annoncé correspond cependant à une réduction moyenne d'environ 30 % des besoins énergétiques du bâtiment.



**Fig. 3** Note : ces Cep max augmentent avec l'altitude, avec la présence de combles aménagés de moins de 1,80 m de hauteur et en zone climatique H2d ou H3 + zones bruyantes (critères à cumuler).

## CEP

Le Cep max moyen est fixé à :

- 75 kWhep/(m² SHAB.an) pour les maisons individuelles ou accolées ;

- 85 kWhep/(m² SHAB.an) pour les logements collectifs.

Ces seuils moyens sont modulés en fonction de certaines caractéristiques du projet, avec les mêmes leviers (mais des coefficients différents) que pour le BBio. A titre d'exemple, le graphe [Fig. 3] présente donc l'évolution du Cep<sub>max</sub>

pour une maison individuelle isolée ou accolée, à moins de 400 m d'altitude, sans combles aménagés et située à la fois hors

zone climatique H2d ou H3 et hors zones bruyantes.

En considérant les cas extrêmes, le Cep max est compris entre :

- 40 et 160 kWhep/(m² SHAB.an) environ pour les maisons individuelles ou accolées (de plus de 70 m² de SHAB) ;

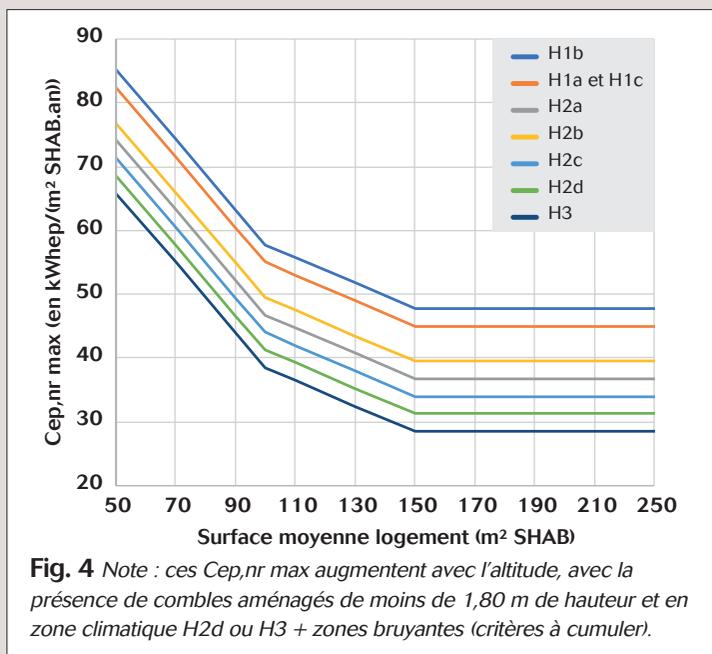
- 61 et 180 kWhep/(m² SHAB.an) environ pour les logements collectifs.

## CEP,NR

Le Cep,nr max moyen est fixé à :

- 55 kWhep/(m<sup>2</sup> SHAB.an) pour les maisons individuelles ou accolées ;
- 70 kWhep/(m<sup>2</sup> SHAB.an) pour les logements collectifs.

Ces seuils moyens sont modulés avec les mêmes coefficients que le Cep, ce qui permet d'obtenir le nouveau graphe ci-contre (Fig. 4) (toujours pour une maison individuelle isolée ou accolée, à moins de 400 m d'altitude, sans combles aménagés et située à la fois hors zone climatique H2d ou H3 et hors zones bruyantes) :



**Fig. 4** Note : ces Cep,nr max augmentent avec l'altitude, avec la présence de combles aménagés de moins de 1,80 m de hauteur et en zone climatique H2d ou H3 + zones bruyantes (critères à cumuler).

En considérant les cas extrêmes, le Cep,nr max est compris entre :

- 29 et 118 kWhep/(m<sup>2</sup> SHAB.an) environ pour les maisons individuelles ou accolées (de plus de 70 m<sup>2</sup> de SHAB) ;
- 50 et 150 kWhep/(m<sup>2</sup> SHAB.an) environ pour les logements collectifs.

## LES SOLUTIONS BÉTON ET LEURS ATOUTS

Les solutions béton ont la réputation d'avoir un rôle principalement structurel dans la conception d'un ouvrage. Même si la performance mécanique est primordiale, cela correspond à une vision réductrice de la réalité.

Il y a d'abord un grand nombre de performances qui ne font pas l'objet du présent document, mais qui contribuent à la qualité de vie et à la durabilité des logements : acoustique, réaction au feu, résistance au feu, résistance aux sollicitations sismiques, insensibilité et protection contre les termites et autres insectes xylophages, résilience du matériau aux inondations et aux tempêtes, ...

Mais il y a également la performance thermique. Dans ce domaine, la performance des parois en béton est à considérer sous deux angles distincts : en statique et en dynamique.

### SUR UN PLAN STATIQUE

La conductivité thermique d'un béton est très variable en fonction du type de granulats utilisés, de la formulation, du procédé de mise en œuvre, ...

Le tableau ci-dessous (T. 1) présente quelques ordres de grandeur de masse volumique et de conductivité thermique en fonction du type de béton considéré.

On peut citer par exemple <sup>1</sup> :

| T. 1                                | Masse volumique (en kg/m <sup>3</sup> ) | Conductivité thermique (en W/(m.K)) |
|-------------------------------------|---|-------------------------------------|
| Bétons de granulats courants        | 1800 à 2400                             | 1,0 à 2,0                           |
| Bétons de granulats légers minéraux | 800 à 1600                              | 0,20 à 0,80                         |
| Mousse minérale forte densité       | 500 à 1600                              | 0,10 à 0,80                         |
| Béton de granulats végétaux         | 100 à 1000                              | 0,045 à 0,30                        |
| Béton cellulaire autoclavé          | 100 à 800                               | 0,040 à 0,20                        |
| Mousse minérale faible densité      | 50 à 200                                | 0,035 à 0,060                       |

Ces bétons, éventuellement associés à d'autres matériaux complémentaires (armatures métalliques, isolants, parements, ...) permettent d'obtenir des parois de résistances thermiques également très variables, cf T. 2 ci-dessous.

On peut citer par exemple <sup>2</sup> :

| T. 2  | Matériaux complémentaires              |
|---|--|
| Parois en béton de granulats courants (BPE)               | entre 0,06 et 0,15 m <sup>2</sup> .K/W |
| Parois en Béton Isolants Structurel (BPE-BIS)             | entre 0,15 et 0,50 m <sup>2</sup> .K/W |
| Blocs en béton de granulats courants                      | entre 0,06 et 0,30 m <sup>2</sup> .K/W |
| Blocs en béton multi-alvéolaires de granulats             | entre 0,60 et 1,50 m <sup>2</sup> .K/W |
| Blocs en béton avec isolants intégrés                     | entre 1,00 et 2,50 m <sup>2</sup> .K/W |
| Murs de coffrages intégrés (MCI)                          | entre 0,06 et 0,20 m <sup>2</sup> .K/W |
| Murs de coffrages isolants intégrés (MCII)                | entre 1,50 et 9,00 m <sup>2</sup> .K/W |
| Panneaux de façade (avec ou sans isolation intégrée)      | entre 0,06 et 8,00 m <sup>2</sup> .K/W |
| Planchers à prédalles                                     | entre 0,06 et 0,15 m <sup>2</sup> .K/W |
| Planchers à dalles alvéolées                              | entre 0,15 et 0,25 m <sup>2</sup> .K/W |
| Planchers à poutrelles/entrevous béton, bois ou plastique | entre 0,02 et 0,30 m <sup>2</sup> .K/W |
| Planchers à poutrelles/entrevous isolant                  | entre 0,40 et 9,00 m <sup>2</sup> .K/W |

Note : la performance thermique d'une paroi doit intégrer les ponts thermiques structurels qu'elle contient, comme les joints horizontaux et verticaux, les liaisons mécaniques en tout genre (agrafes, vis, armatures, câbles, ...), les éléments d'ossature (béton, bois, métal, ...) ...

(1) Les chiffres présentés ici sont des ordres de grandeurs représentatifs des solutions actuelles.

(2) Les chiffres présentés ici sont des ordres de grandeurs représentatifs des solutions actuelles. Ces caractéristiques peuvent évoluer avec la demande du marché.

A noter que pour certaines solutions, la performance thermique peut bénéficier d'une certification, dans le cadre d'une marque NF par exemple. C'est en particulier le cas pour les blocs en béton.

Ces parois peuvent bien sûr être associées à des isolants complémentaires de tous types et toutes épaisseurs, côté intérieur ou extérieur.

La performance thermique des surfaces courantes étant ainsi correctement dimensionnée, restent les jonctions entre les différentes parois opaques et entre parois opaques et parois vitrées. Il s'agit donc ici de réduire des ponts thermiques de liaisons. Dans ce domaine, de nombreuses innovations ont été faites ces 20 dernières années qui se traduisent par l'usage :

- de bétons isolants,
- de planelles isolantes,
- de rupteurs industriels,
- de rupteurs intégrés aux produits ou aux systèmes,
- ... / ...

Une attention particulière doit être apportée à la cohérence entre la conception et les solutions techniques retenues. C'est par exemple le cas au niveau des jonctions entre parois opaques et parois vitrées, la continuité entre l'isolation de façade et le dormant de chaque menuiserie devant être impérativement assurée, ce qui peut rendre complexe la mise en œuvre concomitante d'une isolation par l'extérieur et des menuiseries au nu intérieur.

Les ponts thermiques font l'objet, dans la RE2020 comme dans la RT2012, d'exigences spécifiques. Ce point est détaillé dans la sous-partie « Bâtiments collectifs 40 logements » du chapitre « Exemples de solutions globales RE2020 » de ce présent document. Enfin, la perméabilité à l'air, autre composante de la performance thermique de l'enveloppe du bâtiment, fait l'objet d'une exigence réglementaire spécifique dans

la RE2020. Ce sujet est détaillé dans la sous-partie « Étanchéité à l'air » du chapitre « Les garde-fous concernant les parois opaques » de ce présent document.

### SUR UN PLAN DYNAMIQUE

Les sollicitations thermiques que subit un bâtiment, qu'elles soient d'origines climatiques ou humaines, ne sont pas constantes. La réponse temporelle du bâtiment à toutes ces sollicitations thermiques est un paramètre important de son efficacité énergétique et de son confort d'usage. Cette réponse temporelle s'appelle l'inertie.

L'**inertie thermique** peut se définir comme la capacité d'un produit, d'une paroi ou d'un ouvrage à amortir une variation de température, c'est-à-dire « stocker la chaleur » (ou « la fraîcheur ») pour pouvoir la restituer ultérieurement. L'inertie apportée par une paroi est d'autant plus importante et efficace que :

- les surfaces d'échanges avec l'ambiance intérieure sont importantes ;
- les matériaux qui la composent ont une capacité calorifique élevée, pour pouvoir stocker plus par unité de volume ;
- les matériaux qui la composent ont une conductivité thermique élevée, pour pouvoir stocker plus et plus vite dans l'épaisseur.

Dans ce domaine, les parois en béton de granulats courants sont leaders.

L'inertie d'une paroi dépend de la période de la sollicitation thermique.

**Les règles Th-Bat en définissent 4 :**

- **horaire** : correspond à l'amortissement des intermittences de chauffage pendant la période de chauffe, des intermittences d'ensoleillement en demi-saison, des conséquences de certaines activités humaines ponctuelles (cuisine, douche, ...). Pour amortir ces variations horaires de températures, on peut considérer que seul le pre-

mier centimètre de matériaux de chaque paroi de la construction est sollicité (ex. : carrelage, plaque de plâtre, ...);

■ **quotidienne** : correspond à l'amortissement des variations de température et d'apport solaire jour / nuit et des variations d'apport interne (activité humaine globale). Pour amortir ces variations de températures, les parois inertes sont sollicités sur une épaisseur de 5 à 15 cm environ (ex. dalle béton, mur maçonné, ...);

■ **séquentielle** : correspond à l'amortissement de variations climatiques à l'échelle de plusieurs jours (période théorique de 14 jours). 15 à 40 cm d'épaisseur de matériaux suffisamment inertes sont sollicités dans ce cas ;

■ **annuelle** : il s'agit en théorie d'amortir les variations de température au cours d'une année complète. Dans la réalité, les volumes de matériaux suffisamment inertes nécessaires pour cela sont trop importants (sauf murs en pierre très épais (en mètres), terre-plein non isolé, sous-sol non isolé et habitat troglodyte).

Plus la période de la sollicitation thermique est longue, plus l'épaisseur de matériau sollicité est donc importante.

A noter cependant que la présence d'une couche isolante (moquette épaisse, faux plafond, isolant, ...) retarde, dégrade voire annule l'inertie thermique de toutes les autres couches de matériaux situées derrière. A l'échelle d'une paroi homogène, les notions « d'isolation » et « d'inertie » sont donc physiquement contradictoires.

En fonction du type d'isolation de façade (par l'intérieur, l'extérieur, répartie ou intégrée), des caractéristiques des différents planchers et de leurs revêtements et des types de cloisonnements et de séparatifs retenus, tous les niveaux d'inertie peuvent être obtenus dans un bâtiment en béton. L'inertie peut donc être un facteur de

dimensionnement, d'optimisation de la performance thermique, au même titre que l'isolation (selon le climat, l'usage, l'architecture, ...).

Le niveau d'inertie généralement rencontré en France dans les bâtiments de logements en béton peut être qualifié de « moyen ». Ce niveau est obtenu avec des planchers et des refends intérieurs en béton et des façades isolées par l'intérieur. La réalisation de cloisonnements intérieurs lourds, la réalisation d'une toiture terrasse en béton, ou l'isolation par l'extérieur des façades en béton permettent d'atteindre des niveaux d'inertie supérieurs (couramment qualifiés de « lourd » ou « très lourd » au sens des règles Th-I). Outre l'histoire des pratiques constructives françaises, cette situation est en cohérence avec le fait que l'inertie apportée par les planchers et les refends est en général plus efficace que celle apportée par les murs de façade (surfaces d'échanges doubles et sollicitation directe par la tache solaire).

L'**inertie dans un logement** (c'est-à-dire en occupation continue) va avoir plusieurs intérêts :

- **en hiver et en demi-saison**, l'inertie va permettre de capter, stocker et valoriser les apports internes et les apports solaires. Ces derniers peuvent être d'autant plus importants qu'en ces périodes de l'année le soleil est plus bas sur l'horizon et pénètre plus facilement par les vitrages. La surface de menuiserie, ses facteurs solaires, les occultations ou masques extérieurs doivent être correctement dimensionnés pour chaque orientation de façade, afin d'optimiser ces apports gratuits en fonction du climat. L'intérêt de l'inertie est donc ici de pouvoir stocker une grande quantité d'énergie mais avec une faible augmentation de température, c'est-à-dire sans générer d'inconfort chaud.

Ceci est particulièrement important en demi-saison car cela :

- réduit la durée de la période de chauffage,
- réduit les besoins et consommations de chauffage,
- évite surtout de devoir chauffer le matin pour devoir évacuer la chaleur (voir refroidir) en fin d'après-midi, ce qui peut arriver sur des bâtiments à très faible inertie.

De récentes études montrent également que l'inertie thermique, couplée avec des systèmes de chauffage adaptés, pourrait permettre de stocker la chaleur dans la structure du bâtiment en la chauffant au moment où l'énergie est disponible, moins chère ou moins carbonée. De telles solutions ne sont cependant pas encore valorisées en France, y compris dans le moteur réglementaire de la RE2020.

■ **en été**, l'inertie va permettre d'« encaisser » les surchauffes. Ce principe est détaillé dans le chapitre « Inconfort estival » du présent document. Sur un plan éner-

| T. 3 | Paroi  | Capacité calorifique en kJ/(m <sup>2</sup> .K) <sup>4</sup> |
|------|--|---|
|      | Béton plein  | 460   |
|      | Bloc pleins perforé  | 335   |
|      | Bloc creux de granulats courants   | 205   |
|      | Brique creuse  | 132   |
|      | Blocs creux de granulats légers  | 128   |
|      | Béton cellulaire   | 70  |
|      | Panneau de bois avec 2 OSB de 13 mm + chevrons massifs tous les 60 cm + Laine végétale | 47  |

gétique elle va également permettre de réduire les besoins et les consommations de froid / de climatisation. Lorsque le bâtiment n'est pas climatisé, ces consommations de froid forfaitaires dans le moteur de la RE2020 sont d'ailleurs considérées comme proportionnelles au nombre de degrés-heures (indicateur DH). A l'échelle d'un matériau, la quantité de chaleur stockable est finalement assez comparable pour tous les matériaux de construction exprimée par kg : entre 800 et 1600 J/(kg.K)<sup>3</sup>.

Si on prend en compte la masse

volumique et la conception des parois, les écarts se creusent de 20 cm d'épaisseur, les capacités calorifiques surfaciques figurant dans le tableau [T. 3] ci-dessus.

De nombreuses solutions béton permettent d'apporter l'inertie nécessaire à un projet constructif.

On peut citer :

■ **en plancher** : dalles pleines, prédalles, dalles alvéolées, poutrelles-entrevous, ...

■ **en façade en refend** : voiles béton, maçonneries, panneaux préfabriqués, prémurs avec ou sans isolant intégré, ... Plus les parois en béton sont

lourdes et épaisses, plus la quantité de chaleur stockée est importante et exploitable sur une plus longue période. Ceci étant, le dimensionnement des parois est essentiellement régit par les contraintes mécaniques, acoustiques, de résistance incendie et ... économiques. A l'échelle d'un bâtiment et pour un calcul réglementaire RE2020, l'inertie est déterminée en appliquant une des trois méthodes explicitées dans les règles Th-Bat Fascicule « Inertie » (méthode forfaitaire, à point ou par calcul). Le tableau<sup>4</sup> [T. 4] ci-dessous fournit, pour un bâtiment type, quelques exemples de combinaisons de parois qui permettent d'obtenir, avec la méthode à points, des classes d'inertie « moyen » à « très lourd » : pour chaque paroi, en fonction de sa composition, un nombre de points est déterminé et tous les points d'inertie de l'étage sont sommés, ce qui permet d'obtenir la classe d'inertie. ■

| T. 4                |                                | Plancher supérieur             | Plancher inférieur             | FAÇADE                           |                      |  |                      |                    |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------|--|----------------------|--------------------|
|                     |                                |                                |                                | Bloc béton de granulats courants |                      | Voile béton plein / Mur de coffrage / Panneaux de façade / Panneaux sandwich |                      | Béton cellulaire   |
|                     |                                |                                |                                | Isolation intérieure             | Isolation extérieure | Isolation intérieure   | Isolation extérieure | Isolation répartie |
| Cloisonnement lourd | Plaque de plâtre               | Entrevous béton                | 13                             | 17                               | 13                   | 17   | 15                   |                    |
|                     |                                | Dalle béton plein ou prédalles | 13                             | 17                               | 13                   | 17   | 15                   |                    |
|                     | Entrevous béton                | Entrevous béton                | 15                             | 19                               | 15                   | 19   | 17                   |                    |
|                     |                                | Dalle béton plein ou prédalles | 15                             | 19                               | 15                   | 19   | 17                   |                    |
|                     | Dalle béton plein ou prédalles | Dalle béton plein ou prédalles | 18                             | 22                               | 18                   | 22   | 20                   |                    |
| Cloisonnement léger | Plaque de plâtre               | Entrevous béton                | 9                              | 13                               | 9                    | 13   | 11                   |                    |
|                     |                                | Dalle béton plein ou prédalles | 9                              | 13                               | 9                    | 13   | 11                   |                    |
|                     | Entrevous béton                | Entrevous béton                | 11                             | 15                               | 11                   | 15   | 13                   |                    |
|                     |                                | Dalle béton plein ou prédalles | 11                             | 15                               | 11                   | 15   | 13                   |                    |
|                     |                                | Dalle béton plein ou prédalles | Dalle béton plein ou prédalles | 14                               | 18                   | 14   | 18                   | 16                 |

| Classe d'inertie               | Très légère | Légère | Moyenne | Lourde  | Très lourde |
|--------------------------------|-------------|--------|---------|---------|-------------|
| Points d'inertie avec mobilier | 5 ou 6      | 7 ou 8 | 9 à 12  | 13 à 18 | 19 et plus  |

Note : la notion d'inertie développée ici correspond principalement à une inertie « d'absorption » c'est à dire à la capacité du bâtiment à amortir les variations de températures intérieures dues en particulier aux variations d'apports internes et d'apports solaires via les vitrages. Il faut la distinguer de l'inertie de « transmission », correspondant à l'amortissement et au déphasage des flux thermiques traversant les parois opaques extérieures. Cette inertie sera généralement négligeable compte tenu des niveaux d'isolation thermiques qui seront nécessaires dans le cadre de la RE2020. De plus, sa valorisation doit être faite avec beaucoup de prudence car :

- Vis-à-vis des consommations de chauffage, si le déphasage d'une douzaine d'heures souvent proposé par certaines solutions techniques, permet un apport thermique la nuit, au moment où les apports solaires sont nuls, il induit aussi durant la journée une déperdition supplémentaire qui ne peut être compensée sans apport de chauffage que si les apports solaires ont été surdimensionnés ;
- A contrario, vis à vis du confort d'été, ce même déphasage peut contribuer à une limitation de l'augmentation des températures le jour mais induit un apport thermique supplémentaire la nuit qui peut augmenter l'inconfort nocturne si le rafraichissement de nuit n'est pas suffisant.

(3) J/(kg.K) = énergie nécessaire en Joule pour élever 1kg de matériau de 1 degré.

(4) Toutes les valeurs de ce tableau doivent être considérées comme des ordres de grandeur. Elles dépendent dans la réalité d'un nombre important de paramètres non pris en compte dans le cadre du présent document.

# Inconfort estival

## OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE

Dans la RT2012, comme dans les deux réglementations thermiques précédentes, l'évaluation de l'inconfort estival s'appuyait sur le calcul d'une Température Intérieure Conventiennelle (Tic) correspondant à la température intérieure théorique atteinte dans la zone étudiée pendant les jours les

plus chauds d'une semaine estivale. Compte tenu du réchauffement climatique en cours, pouvant s'accompagner de périodes caniculaires de plus en plus importantes et dans un contexte de déploiement des pompes à chaleur pouvant engendrer des consommations énergétiques supplémen-

taires pour le refroidissement des logements, il s'est avéré nécessaire de faire évoluer cet indicateur pour le rendre à la fois :

- plus représentatif, en prenant en compte à la fois l'intensité et la durée de l'inconfort ressenti, heure par heure et tout le long de l'année ;
- plus dimensionnant, en fixant

des niveaux d'exigences adaptés. Ce nouvel indicateur noté DH pour Degrés-Heures, doit permettre une réelle prise en compte de l'inconfort estival au plus tôt du projet et une valorisation des solutions sans ou à faible consommation additionnelle (inertie, protections solaires, ...).

## INDICATEUR RETENU

Le nombre de degrés-heures d'inconfort estival exprime la durée et l'intensité des périodes d'inconfort dans le bâtiment ou la zone thermique, durant toute une année.

Il est exprimé en °C.h, noté DH et se calcule selon le principe général suivant :

■ En fonction des caractéristiques thermiques et géométriques du bâtiment, de son environnement, du climat extérieur, des conventions d'usage, ... le moteur réglementaire calcule heure par heure la température intérieure de la zone considérée ;

■ Cette température est comparée :  
• Durant la nuit, à une température limite d'inconfort fixée à 26 °C ;  
• Durant la journée, à une température limite d'inconfort comprise entre 26 et 28 °C et dépendant de la température extérieure et de son historique (prise en compte du caractère adaptatif) ;

■ Le nombre de degrés de dépassement est cumulé heure par heure durant toute l'année.

A noter que les climats pris en compte pour ce calcul intègrent une période caniculaire.

## SYNTHÈSE DES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

Pour la vérification réglementaire, le nombre de Degré-Heure obtenu est comparé à deux seuils :

- Un **seuil bas** fixé à 350 DH en dessous duquel le bâtiment pour la zone thermique considérée est jugé réglementaire sans disposition particulière supplémentaire ;
- Un **seuil haut** au-delà duquel la zone est jugée non réglementaire. La conception thermique de la zone doit alors être revue.

Entre ces deux seuils, la zone est considérée comme réglementairement satisfaisante mais avec un niveau d'inconfort suffisamment important pour pouvoir entraîner à court ou moyen terme l'installation d'un système de rafraîchissement par l'occupant. En conséquence, la réglementation anticipe cette installation en prenant en compte des consommations de froid forfaitaires (Cfr) qu'il conviendra de com-

prendre pour atteindre les seuils réglementaires sur le Cep.

Le seuil haut dépend de la présence d'une climatisation, de l'exposition au bruit extérieur, de la zone climatique et de la surface moyenne des logements. Compte tenu de ces modulations, le seuil haut est au final de :

- 1250 DH pour les logements (individuels et collectifs) non climatisés,

■ compris entre 1250 et 2600 DH pour les logements climatisés.

A noter que la RE2020 prévoit une modulation sur le seuil carbone en construction dans les zones chaudes afin de pouvoir faciliter le recours aux modes constructifs en béton apportant l'inertie thermique nécessaire.

## LES SOLUTIONS BÉTON ET LEURS ATOUTS

La température ressentie et donc le confort thermique dans une pièce, est la combinaison de nombreux paramètres comme la température de l'air, la température des parois, la vitesse d'air, l'humidité relative,

l'activité du métabolisme, la résistance thermique des vêtements, ... La conception passive d'un bâtiment permet d'agir principalement sur les deux premiers paramètres. De façon simplifiée, les principes

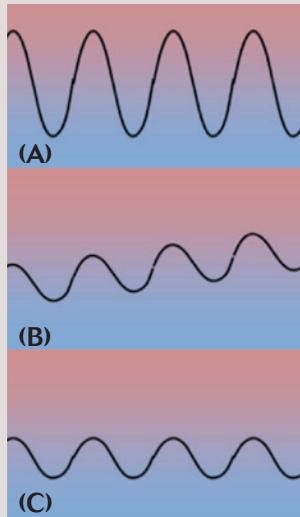
de cette conception vis-à-vis de l'inconfort estival sont les suivants :

- Un **bâtiment avec une faible inertie thermique (A)** subit d'importantes élévations de températures dès les premiers heures de

chaleurs et/ou de fort ensoleillement mais sa température peut redescendre également assez facilement durant les nuits si les conditions s'y prêtent (sur-ventilation, déperdition, ...).

■ **Un bâtiment avec une forte inertie thermique (B)** mais mal ventilé la nuit subira des variations de températures moindres. Cependant, la chaleur emmagasinée la journée étant peu évacuée durant la nuit, la température moyenne du bâtiment va augmenter progressivement et si une longue période de canicule se produit, un niveau d'inconfort peut être atteint au bout de plusieurs jours ou plusieurs semaines.

■ Globalement en France métropolitaine (C), avec des conditions cli-



matiques et d'utilisation normales, un confort estival satisfaisant peut donc être obtenu dans un logement avec :

- des vitrages performants et de bonnes protections solaires (protections mobiles et/ou fixes) pour éviter de trop charger thermiquement la structure ;
- une bonne inertie thermique pour limiter l'élévation de température ;
- une aération ou ventilation (naturelle ou mécanique) pour évacuer, particulièrement la nuit, la chaleur emmagasinée pendant la journée.

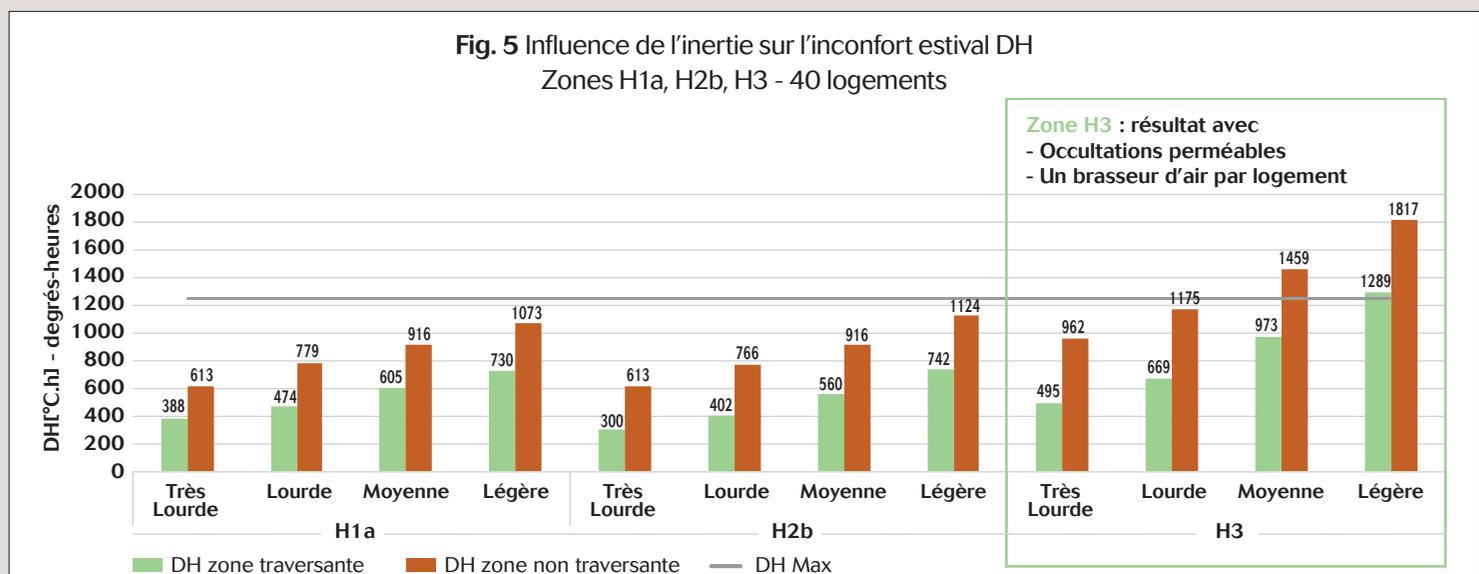
A noter que la ventilation naturelle sera plus efficace dans un logement « traversant », c'est-à-dire avec des ouvertures sur au moins 2 façades d'orientation différente.

Le rôle de l'inertie thermique est donc primordial.

La sous-partie « Sur un plan dynamique » du chapitre « Energie » de ce présent document présente cette notion et fournit en fonction du niveau d'inertie recherché, les solutions constructives correspondantes.

Le graphique [F. 5] ci-dessous est un exemple de calcul réglementaire pour un bâtiment collectif type. Il fournit le nombre de degrés-heures obtenu pour 3 zones climatiques, en fonction de la classe d'inertie (de « légère » à « très lourde ») et du caractère traversant ou non des logements.

Dans cet exemple, de meilleurs résultats ont été obtenus en zone H3 en considérant des occultations plus performantes et un brasseur d'air par logement. On vérifie sur ces résultats l'importance de l'inertie thermique et de la ventilation traversante.



Dans les cas les plus critiques, la conception passive peut ne pas suffire pour atteindre seuls des niveaux de confort acceptable. C'est par exemple le cas en zone climatique H3 lorsque l'environnement extérieur (bruit par exemple), ne permet pas une sur-ventilation nocturne efficace. Dans ce cas, un système de rafraîchissement complémentaire peut être nécessaire. Si le triptyque protections solaire/inertie/ventilation ne permet pas d'atteindre un niveau de confort satisfaisant, il permet alors de réduire fortement les consommations énergétiques du système

de rafraîchissement. Dans tous les cas, le bâtiment devra donc être conçu pour optimiser cette conception passive en tenant compte de l'environnement (possibilité de ventilation nocturne par les pièces de jour si le bruit extérieur est important, mise en place de protections contre le risque d'effraction, choix d'occultations nocturnes perméables, protection contre les insectes nocturnes, ...).

En complément, la solution des brasseurs d'air peut également permettre d'améliorer le confort mais sans diminuer la température

de l'air intérieur (la consommation énergétique des ventilateurs aurait même plutôt tendance à l'augmenter). Cette solution augmente la vitesse d'air à l'intérieur et accélère le rafraîchissement corporel par évapotranspiration. C'est une solution qui ne fonctionne efficacement que si l'humidité de l'air n'est pas excessive et qu'aucune autre gêne n'est perçue (bruit, ...).

Comme détaillé dans la sous-partie « Sur un plan dynamique » du chapitre « Energie » de ce présent document, il faut rappeler que si l'inertie thermique joue un rôle

important pour la réduction de l'inconfort estival, elle permet également en hiver et en demi-saison de capter, stocker et valoriser les apports internes et les apports solaires. Elle permet donc également des gains de consommations de chauffage, en particulier lorsque ces apports sont importants (climat et bonne conception de l'enveloppe du bâtiment) et que les intermittences de chauffage sont faibles (occupation continue ou quasi-continue). ■

# Carbone

## OBJECTIF ET MÉTHODOLOGIE

Par rapport aux précédentes réglementations qui étaient axées sur le volet thermique et énergétique des bâtiments, la RE2020 intègre désormais aussi, en plus du volet confort, un volet climatique portant sur les enjeux d'émissions de gaz à effet de serre (simplifié sous la dénomination carbone).

Ce volet carbone se traduit à travers les deux indicateurs réglementaires soumis à seuils : ICconstruction et ICénergie.

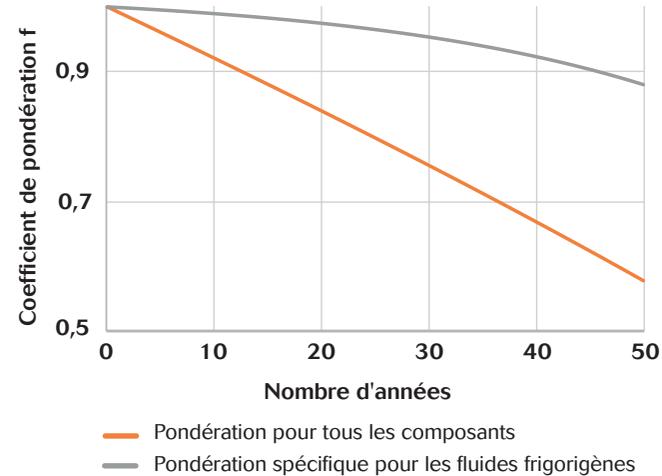
Ces indicateurs sont décrits plus en détails au chapitre suivant « Indicateurs retenus ».

Ces indicateurs sont calculés à partir des données environnementales disponibles sur la base INIES (FDES, PEP, DED, ...), selon une méthode de calcul dite « dynamique simplifiée ».

Cette méthode dynamique vise à évaluer la contribution au réchauffement climatique sur l'horizon temporel des 100 ans qui suivent la construction du bâtiment. La méthode considère alors que l'impact d'une émission ou de sa captation dépend de la date d'émission : et pour une émission, plus sa date est précoce plus son impact est fort, et plus elle est tardive plus son impact est faible ; pour une captation, plus sa date est précoce plus la réduction de l'impact relative à cette captation est forte, et plus elle est tardive plus la réduction de l'impact relative à cette captation est faible.

Enfin, cette méthode dynamique est dite « simplifiée » car elle ne fait pas varier dans le temps le pouvoir

**Fig. 6** Evolution temporelle des coefficients de pondération pour le calcul dynamique simplifié de l'impact sur le changement climatique

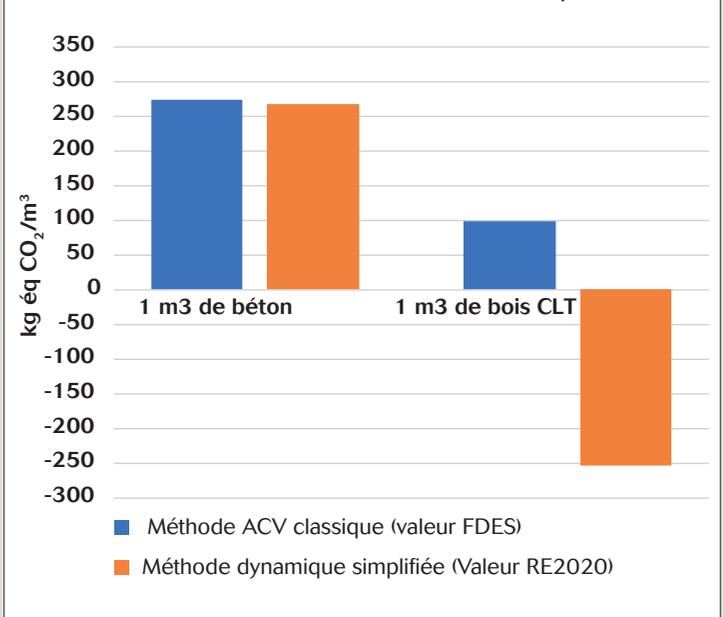


Cet arbitrage politique s'est fait au dépend de la méthode de calcul « classique » (ou « statique »), reconnue à travers les différentes normes en vigueur, et couramment employée pour la réalisation des déclarations environnementales produit (FDES et PEP). Ainsi, pour un même produit, ces deux méthodes de calcul peuvent conduire à des valeurs d'impact sur le changement climatique fortement différentes (voir [Fig. 7] ci-dessous).

de réchauffement des gaz à effet de serre autres que le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), comme le méthane (CH<sub>4</sub>), le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), etc. Cette simplification permet d'utiliser les déclarations environnementales produit (FDES et PEP) telles qu'elles sont habituellement produites par les industriels qui effectuent les calculs d'impacts environnementaux de leurs matériaux de construction.

A noter que le choix de cette méthode « dynamique simplifiée » relève d'un arbitrage politique, allant à l'encontre des avis des acteurs impliqués dans le processus de concertation de la RE2020 (aussi bien professionnels qu'associatifs), et des membres du CSCEE (à l'exception des représentants des filières favorisées par cet arbitrage). Cela constitue également une rupture avec l'expérimentation E+C-, qui préfigurait pourtant cette future RE2020.

**Fig. 7** Influence de la méthode de calcul sur l'indicateur carbone selon la nature du produit



*Nota : Exemple donnée à titre indicatif, l'utilisation d'un m<sup>3</sup> de béton et d'un m<sup>3</sup> de bois n'assurant pas la même fonctionnalité.*

# INDICATEURS RETENUS

## ICCONSTRUCTION

Cet indicateur traduit l'impact sur le changement climatique associé aux composants du bâtiment, y compris le chantier de construction, évalué sur l'ensemble de son cycle de vie (50 ans), et tenant compte du stockage pendant la vie du bâtiment, du carbone issu de l'atmosphère.

Il est exprimé en kg équivalent CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> SHAB.

## ICÉNERGIE

Cet indicateur traduit l'impact sur le changement climatique associé aux consommations d'énergie primaire, traduites par l'indicateur Cep défini page 4.

Il est exprimé en kg équivalent CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> SHAB.

## AUTRES INDICATEURS INFORMATIFS NON SOUMIS À SEUILS

■ ICbâtiment : impact sur le changement climatique associé au bâtiment, évalué sur l'ensemble de son cycle de vie (50 ans), tenant compte du stockage pendant la vie du bâtiment, du carbone issu de l'atmosphère, exprimé en kg équivalent CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup> SHAB. Il correspond à la somme des indicateurs ICconstruction, ICénergie mais aussi des émissions de gaz à effet de serre liées aux consommations

et rejets d'eau durant l'exploitation du bâtiment.

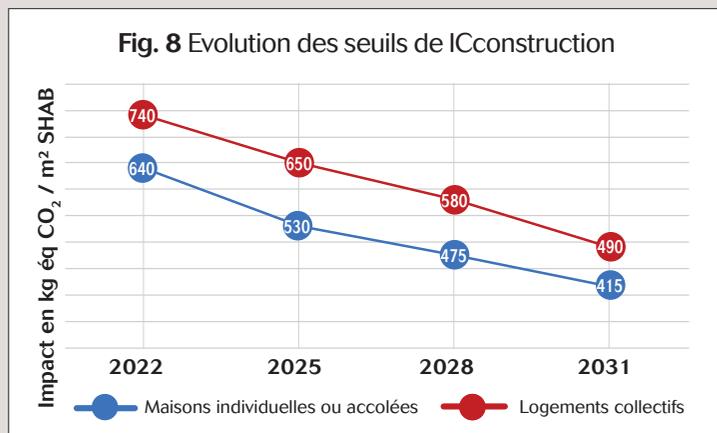
■ StockC : exprime, pendant la vie du bâtiment, la quantité de carbone biogénique stocké, exprimé en kg Carbone /m<sup>2</sup> SHAB.

■ ICded\_3à13 : impact sur le changement climatique associé à des données environnementales par défaut (DED) et à des valeurs forfaitaires dans le calcul des lots 3 à 13 de l'indicateur ICconstruction, exprimé en kg équivalent CO<sub>2</sub> /m<sup>2</sup> SHAB.

# SYNTHÈSE DES EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES EN LOGEMENT

## ICCONSTRUCTION

Sur le volet carbone, les exigences sont évolutives, avec un renforcement dans le temps. La [Fig. 8] ci-dessous présente les seuils à respecter sur l'indicateur ICconstruction d'ici à 2031, avec une évolution tous les 3 ans, selon la typologie de bâtiment (logements collectifs ou maison individuelle).



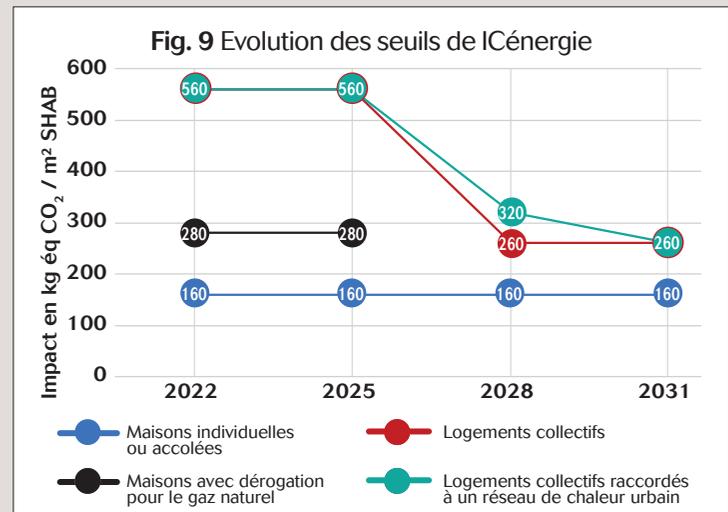
Ces exigences sont accompagnées de modulations permettant d'adapter les seuils aux spécificités et contraintes de chaque projet. Ces modulations sont récapitulées dans le tableau [T. 5] ci-dessous.

| T. 5 | Modulation                               | Logements collectifs | Maison individuelle |
|------|--|----------------------|---------------------|
|      | Présence de combles aménagés : Micombles | Non                  | Oui                 |
|      | Surface habitable : Misurf               | Oui                  | Oui                 |
|      | Localisation géographique : Migéo        | Oui                  | Oui                 |
|      | Nature des infrastructures : Miinfra     | Oui                  | Oui                 |
|      | Nature de la VRD : MiVRD                 | Oui                  | Oui                 |
|      | Contribution des DED : MiDED             | Oui                  | Oui                 |

Le format d'application de ces modulations n'est pas détaillé ici, mais est disponible dans la partie III de l'annexe III du Décret N° 2021-1004 du 29 juillet 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine<sup>5</sup>.

## ICÉNERGIE

La [Fig.9] ci-dessous présente les seuils à respecter sur l'indicateur ICénergie d'ici à 2031, avec une évolution tous les 3 ans, selon la typologie de bâtiment (logements collectifs ou maison individuelle), et la nature du vecteur énergétique.



Ces exigences sont accompagnées de modulations permettant d'adapter les seuils aux spécificité et contraintes de chaque projet. Ces modulations sont récapitulées dans le tableau [T. 6] ci-dessous.

| T. 6 | Modulation                               | Logements collectifs | Maison individuelle |
|------|--|----------------------|---------------------|
|      | Présence de combles aménagés : Mccombles | Non                  | Oui                 |
|      | Surface habitable : Mcsurf               | Oui                  | Oui                 |
|      | Localisation géographique : Mcgéo        | Oui                  | Oui                 |
|      | Contraintes extérieures : Mccat          | Oui                  | Oui                 |

Le format d'application de ces modulations n'est pas détaillé ici, mais est disponible dans la partie II de l'annexe III du Décret N° 2021-1004 du 29 juillet 2021 relatif aux exigences de performance énergétique et environnementale des constructions de bâtiments en France métropolitaine<sup>6</sup>.

# LES LEVIERS D'OPTIMISATION DE L'IMPACT CARBONE

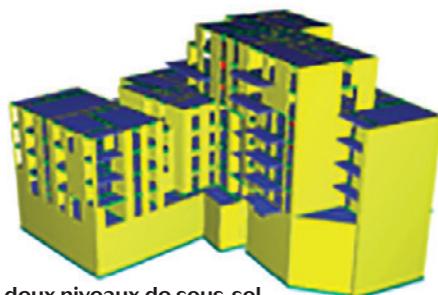
## PISTES D'ÉCO-CONCEPTION POUR LES SOLUTIONS CONSTRUCTIVES EN BÉTON

L'objectif de ce paragraphe est de présenter des pistes de réflexion permettant d'optimiser l'impact carbone des produits béton d'un ouvrage, lorsque l'atteinte du seuil ICconstruction du projet nécessite une diminution supplémentaire de quelques kg de CO<sub>2</sub>.

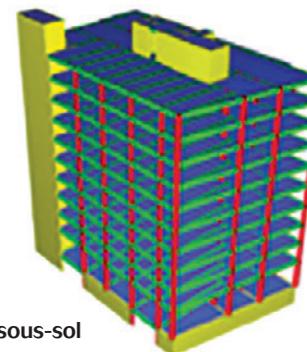
Exemples d'optimisations possibles à partir de ces deux bâtiments types.

Fig. 10

Type 1 : Bâtiment type « voiles et refends »    Type 2 : Bâtiment type « poteaux/poutres »



**R+6**  
avec deux niveaux de sous-sol  
et attique en niveaux 5 et 6  
SDP : 6 456 m<sup>2</sup>  
SHAB : 3 030 m<sup>2</sup>  
Volume béton : 2 800 m<sup>3</sup>



**R+9**  
avec un niveau de sous-sol  
SDP : 7 543 m<sup>2</sup>  
SU : 5 970 m<sup>2</sup>  
Volume béton : 2 700 m<sup>3</sup>

## 1<sup>ER</sup> PRINCIPE POUR RÉDUIRE L'EMPREINTE CARBONE DE LA CONSTRUCTION EN BÉTON, UTILISER « MOINS » DE MATÉRIAU

### EXEMPLES :

#### ■ Éviter la déconstruction des structures existantes

- Quand le projet consiste à remplacer un bâtiment existant, il faut étudier l'hypothèse de la réutilisation d'une partie ou de la totalité de la structure.
- La réduction de l'empreinte pour la partie concernée doit être proche de 100 %.

#### ■ Concevoir des structures innovantes

- Utiliser les performances du BFUP.
- Recourir à l'industrialisation et à la préfabrication qui permettent d'augmenter la précision, l'exécution et la qualité.
- Développer l'impression 3D...

#### ■ Diminuer l'épaisseur de 1 cm des voiles béton permet de réduire de 6 % leur empreintes

- Traditionnellement les épaisseurs des voiles sont de : 16, 18 et 20 cm.

#### ■ Diminuer la section des poteaux au fil des étages

- Le poteau au niveau 0 supporte beaucoup plus de contraintes que celui du dernier étage. Or leurs sections sont souvent identiques.
- Dans notre immeuble de bureaux nous avons réduit les sections tous les 3 étages, réduction de l'empreinte de ces poteaux : -23 % (en augmentant la résistance).

#### ■ Passer de voiles pleins à des voiles en blocs béton

- Le bloc béton est naturellement une solution à basse empreinte carbone, car évidé.
- La simulation faite sur les voiles de façade de l'attique (2 étages) avec des blocs B40 permet de réduire de 65 % leur empreinte par rapport à des voiles béton de 20 cm. Ceci représente presque 8 % du poids total des façades.
- La simulation faite sur l'ensemble de la façade avec des blocs B40, B60, B80 permet de réduire de 55 % l'empreinte de la façade.

**Attention : cas particulier du bâtiment avec portée importante (9,5 m). Ces recommandations peuvent être différentes pour des portées plus courtes (4 m).**

#### ■ Passer de poteaux/dalle à poteau/poutre

- Dans notre bâtiment poteau/poutre, nous avons simulé cette substitution sur la partie simple et répétitive, soit 220 m<sup>2</sup> sur 10 niveaux (N1 à N10).
- Le gain est de -25 % (un calcul théorique sur des dimensions plus classiques donne -14 %).

Exemple donné à titre d'illustration. Dépend de la configuration de chaque ouvrage et nécessite des vérifications d'optimisation dès la phase de conception.

#### ■ Passer de poteaux/dalle à poteau/dalle alvéolée

- Dans notre bâtiment poteau/poutre, nous avons simulé cette substitution dans la partie « simple » et répétitive, soit 220 m<sup>2</sup> sur 10 niveaux.
- Le gain est de -33 % (un calcul théorique sur des dimensions plus classiques donne -26 %).

#### ■ Passer de poteaux/dalle à poteau/poutre/hourdis

- Substitution simple mais limitée à certaines applications. Dans notre bâtiment poteau/poutre, nous avons simulé cette substitution sur le niveau haut du dernier étage.

#### ■ Passer de poteaux/dalle à poteau/dalle caissonnée

- Cette substitution demande des calculs plus poussés, un coffrage et des armatures plus complexes.
- Un calcul théorique donne un gain de 40 %.

■ L'optimisation de l'impact des fondations est également un levier important de diminution de l'empreinte du bâtiment, par exemple avec le recours à des bétons bas carbone (voir page suivante). Néanmoins, dans le cas des bâtiments collectifs disposant d'infrastructures importantes (sous-sol, cave, parking), la modulation applicable ne permet pas de valoriser ces gains à l'échelle de l'ouvrage.

## 2<sup>ÈME</sup> PRINCIPE POUR RÉDUIRE L'EMPREINTE CARBONE DE LA CONSTRUCTION EN BÉTON, UTILISER « MIEUX » LE MATÉRIAU

- **Augmenter la résistance des éléments en vertical**
  - Passer de poteaux en C25/30 à des poteaux en C50/60.
  - Dans notre immeuble de bureaux, nous avons remplacé des poteaux en C25/30 à 110 kg d'armatures par des poteaux en C50/60 à 140 kg d'armatures.
  - L'empreinte des poteaux baisse de -20 %.
- **Passage de poutre en C25/30 à des poutres en C45/50 permet une réduction de leur empreinte de -40 %.**
- **Augmenter la résistance des éléments en horizontal / poutres**
- **Optimiser le choix des classes d'exposition du béton**
  - En particulier, le choix pour les façades exposées ou non aux précipitations.
  - Dans notre immeuble de logements, nous avons passé les façades protégées de XC4 à XC1.
  - Ceci permet de réduire leur empreinte de 6,4 %.
- **Utiliser la précontrainte par post-tension**
  - Technique très utilisée à l'étranger pour les dalles ou planchers, même sur des ouvrages très simples (dalle de maisons individuelles).
  - Un calcul théorique pour un plancher donne une réduction de l'empreinte de -23 %.

### Exemple d'application :

Sur le bâtiment « Voiles et refends », le remplacement sur les niveaux 5 et 6 en attique des façades en béton prêt à l'emploi par des façades en

blocs béton permet une réduction de 56 % de leur empreinte, soit 8 % à l'échelle de l'ensemble des façades du bâtiment.

### Bâtiment «voiles et refends» standard

| Composants                       | Surface (m <sup>2</sup> ) | Taux d'armatures (kg/m <sup>2</sup> ) | Impact global (kg éq Co <sub>2</sub> ) | Impact au m <sup>2</sup> (kg éq Co <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> SHAB) |
|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Voiles façade BPE 16 cm N5 et N6 | 371                       | 28,76                                 | 14 433                                 | 4,8   |

- 56 %

### Bâtiment «voiles et refends» optimisé

| Composants                 | Surface (m <sup>2</sup> ) | Taux d'armatures (kg/m <sup>2</sup> ) | Impact global (kg éq Co <sub>2</sub> ) | Impact au m <sup>2</sup> (kg éq Co <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> SHAB) |
|----------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--|---|
| Voiles façade B40 N5 et N6 | 371                       | 15                                    | 6 326 (blocs : 78 % - chaînage 22 %)   | 2,1   |

### Autres pistes :

En l'état actuel, la méthode de calcul « dynamique simplifiée » favorisant les matériaux biosourcés, toute solution intégrant une

mixité béton + bois (ou autres matériaux biosourcés) peut permettre un gain supplémentaire sur l'indicateur ICconstruction.

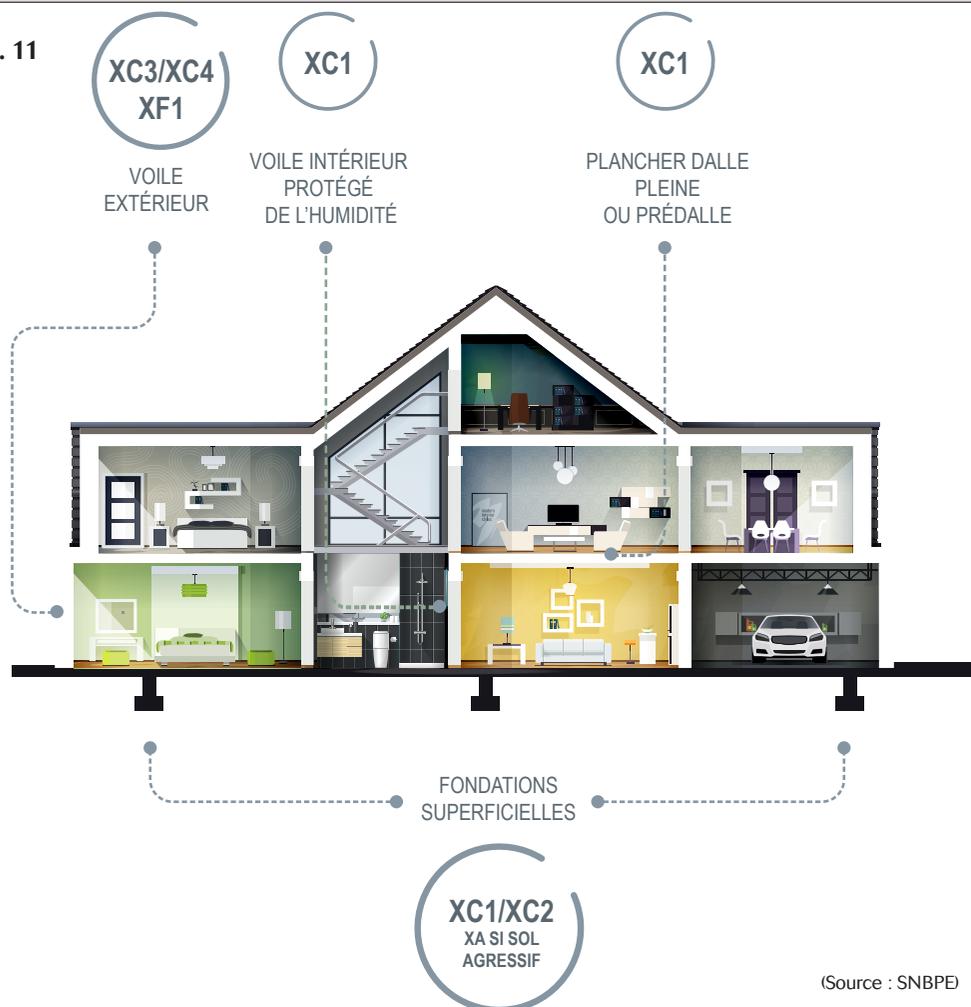
Bien entendu, il convient de tenir compte des armatures du béton (anti-fissuration / béton armé / béton précontraint). Les armatures au même titre que le ciment, la conception globale, ... peuvent contribuer à l'optimisation de la performance environnementale.

### LES BÉTONS BAS CARBONE

A ce jour, il n'existe pas de définition normative ou réglementaire de ce qu'est un béton bas carbone. Pour combler ce manque, le Syndicat National du Béton Prêt à l'Emploi (SNBPE) propose sa propre définition ([https://mediatheque.snbpe.org/userfiles/file/beton %20bas %20carbone.pdf](https://mediatheque.snbpe.org/userfiles/file/beton%20bas%20carbone.pdf)).

Cette définition, donnée par rapport à une référence standard, est fonction de l'usage du produit, notamment selon sa classe de résistance et sa classe d'exposition. Par exemple, pour un béton C25/30 XC1/XC2, l'impact carbone d'une formulation standard est de l'ordre de 200 à 230 kg éq Co<sub>2</sub> / m<sup>3</sup>. Pour un béton équivalent,

Fig. 11



mais dit « bas carbone », l'impact de la formulation est alors inférieure à 180 kg éq CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>, (voir l'Fig. 12 ci-dessous).

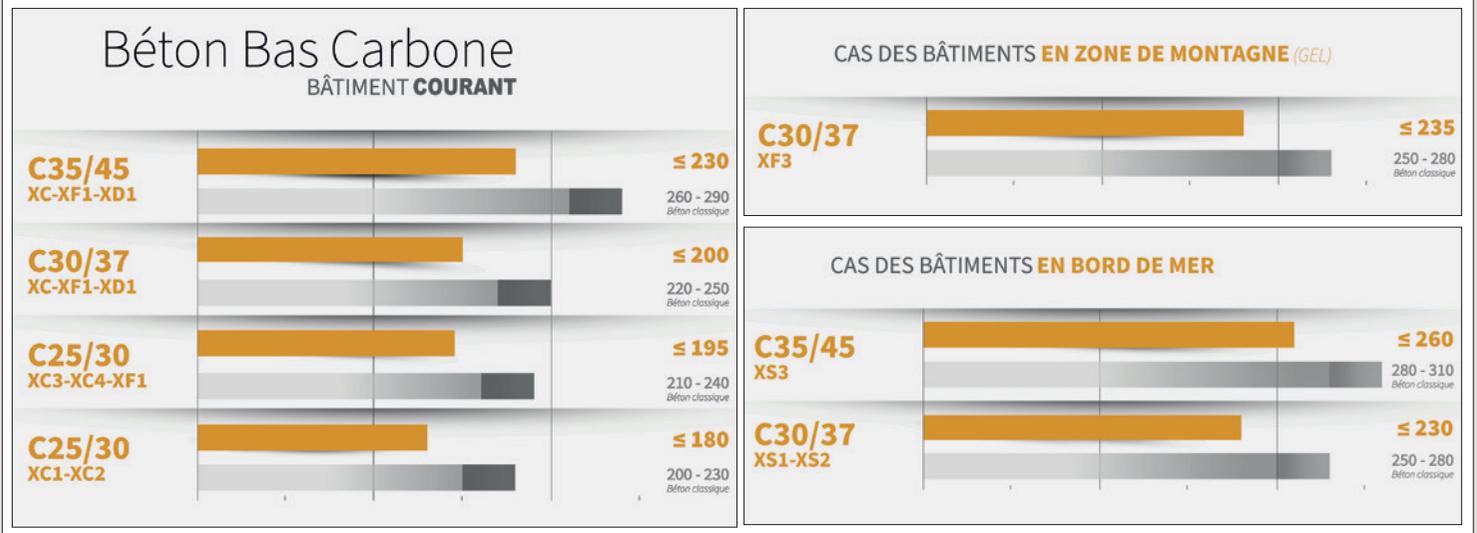
L'usage des formulations de béton bas carbone est un levier d'optimi-

sation important. Cependant, il doit être déclenché lorsque les pistes d'optimisation précédentes ont été déployées, et que le projet nécessite encore une réduction de l'impact du gros œuvre.

Ces bétons bas carbone s'obtiennent à partir d'une gamme large de ciments à plus basse teneur en clinker allant des CEM II/B au CEM III/C, laquelle s'est récemment enrichie de formulations de ciments ternaires CEM II/C

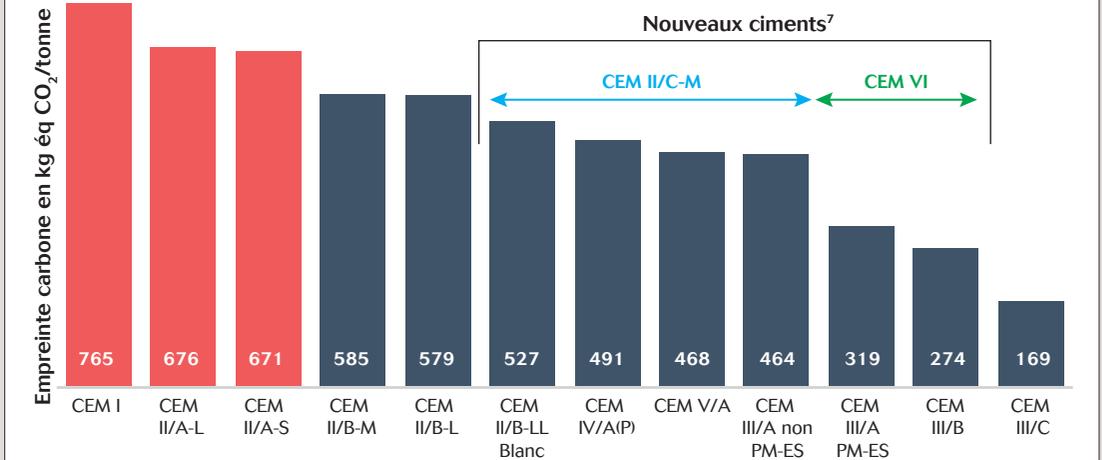
et CEM VI, permettant un élargissement géographique et technique de l'offre en bétons bas carbone.

Fig. 12



A noter que l'emploi de ces bétons à base de ciment à plus basse teneur en clinker peut nécessiter des adaptations de pratiques lors de leur mise en œuvre, notamment liées au temps de prise qui peut être plus important que pour des bétons « classiques ».

Fig. 13



**AUTRES PISTES D'OPTIMISATION HORS GROS ŒUVRE BÉTON**

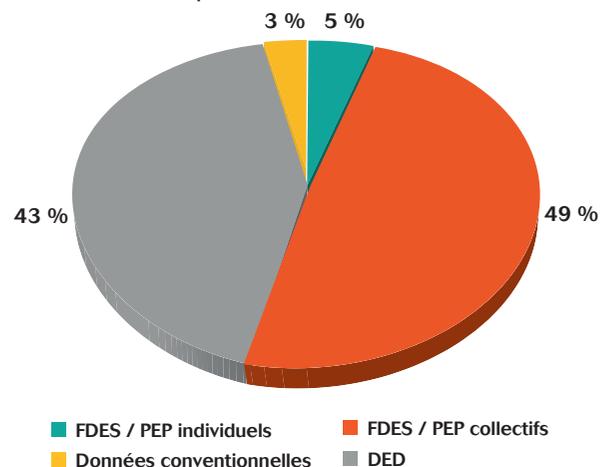
D'autres pistes, hors solutions bétons, peuvent également être déclenchées afin de réduire l'impact carbone de l'ouvrage au niveau second œuvre et équipements :

- l'emploi du produit disposant de l'impact environnemental le plus faible dans sa gamme. Pour

cela, il convient de regarder et de comparer les résultats des FDES spécifiques aux produits concernés dans la base INIES.

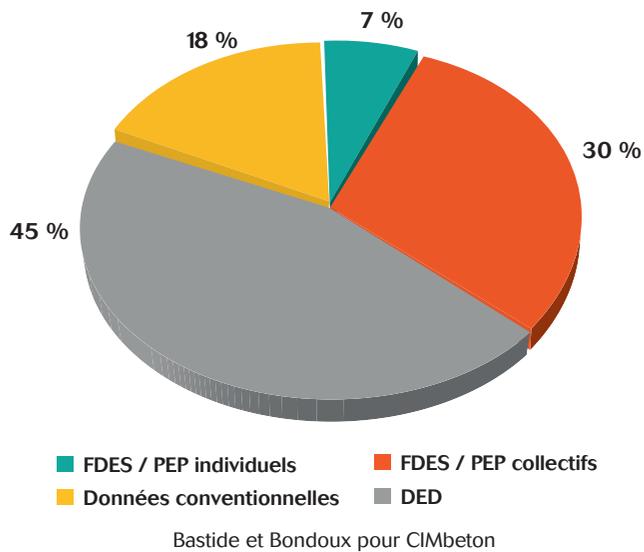
■ limiter le recours aux Données Environnementales par Défaut (DED) en préférant l'usage de produits disposants de FDES ou PEP.

Fig. 14a Type des données environnementales utilisées pour une maison individuelle



(7) La norme européenne NF EN 197-5 a été officiellement publiée début octobre 2021 par l'AFNOR. Elle donne un cadre très précis aux exigences techniques et de mise en œuvre des ciments « bas-carbone » CEM II/C-M et des CEM VI, qui pourront désormais être commercialisés.

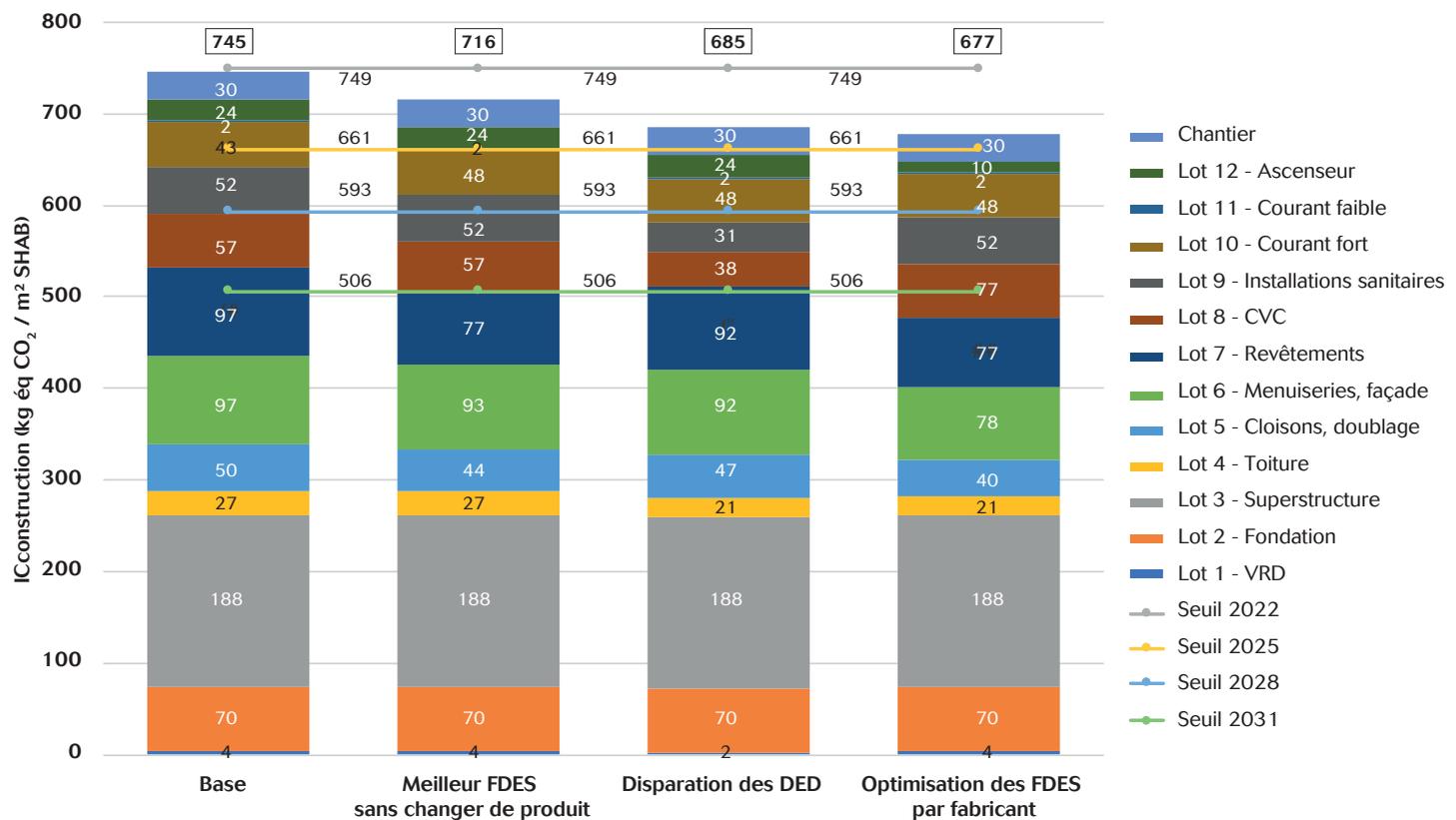
**Fig. 14b** Répartition des impacts selon le type de données environnementales utilisées pour une maison individuelle



En effet, comme le montrent les [Fig. 14a] et [Fig. 14b], issues d'un projet réalisé pour CIMbéton par le Bureau d'études Bastide & Bondoux, dans le cas d'une maison individuelle, les DED et données conventionnelles représentent 46 % des données utilisées mais pèsent pour 63 % de l'impact, alors que les FDES qui représentent 54 % des données utilisées pèsent

pour seulement 37 % de l'impact. Le renforcement du recours aux données spécifiques (FDES ou PEP) ressort donc comme un réel levier de réduction de l'impact sur l'indicateur ICconstruction. La même analyse a été faite avec le Bureau d'études Pouget Consultants pour un logement collectif, et conduit aux mêmes conclusions ([Fig. 15]).

**Fig. 15** ICconstruction - Optimisation des données  
Optimisation des données environnementales + Evolution de la base INIES



## LES OUTILS DISPONIBLES

### LES CONFIGURATEURS DE FDES SPÉCIFIQUES

Les configurateurs de FDES spécifiques permettent, par configuration de certains paramètres, d'éditer sur-mesure pour un chantier, des FDES conformes à la norme NF EN 15804.

Pour la filière béton, deux configurateurs sont disponibles :

# BET*ie*

**Béton et Impacts Environnementaux**

Choix du type de béton, impacts des transports amont et aval (mode et distance), dimensions de la partie d'ouvrage considérée (unité fonctionnelle) et le taux de ferrailage.

[https://www.snbpe.org/index.php/developpement\\_durable/calcullette](https://www.snbpe.org/index.php/developpement_durable/calcullette)



**IB**  
environnement

Produits couverts : poutre précontrainte, poteau armé, dalle alvéolée, prédalle armé et précontrainte et mur à coffrage intégré

<http://www.environnement-ib.com/login>

### LE GUIDE ENVIRONNEMENTAL DU GROS ŒUVRE

Le Guide Environnemental du Gros Œuvre (GEGO) est un outil conçu par la filière béton à l'intention des acteurs de la construction pour leur permettre, en phase d'éco-conception, de choisir rapidement les

éléments constructifs les plus opportuns permettant à leur projet d'atteindre les objectifs de performances requis par la RE2020. ■



<https://www.infociments.fr/reduire-les-emissions-de-co2/guide-environnemental-du-gros-oeuvre-gego>

# Les garde-fous concernant les parois opaques

## GÉNÉRALITÉS

Dans le cadre de la mise en application de la loi ESSOC, un certain nombre d'exigences de la RT2012, perçues comme des obligations de moyens, ont fait l'objet d'une

forte remise en cause lors de l'élaboration de la RE2020. Les plus importantes d'entre elles ont pu cependant être conservées, voire renforcées, éventuellement après

la mise en œuvre d'une nouvelle rédaction orientée vers des performances à atteindre.

Les parois opaques sont principalement concernées par les exi-

gences spécifiques sur l'étanchéité à l'air et sur les ponts thermiques.

## ÉTANCHÉITÉ À L'AIR

L'article 19 de l'arrêté du 4 août 2021 relatif aux exigences de performances énergétique et environnementale des constructions de bâtiment en France métropolitaine<sup>8</sup> spécifie que la perméabilité à l'air sous 4 Pa doit être inférieure ou égale à :

■ **0,60 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) de paroi déperditive**, hors plancher bas, en maison individuelle ou accolée ;

■ **1,00 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) de paroi déperditive**, hors plancher bas, en bâtiment collectif d'habitation.

Ces exigences correspondent exactement à celles figurant dans le RT2012. Dans la RE2020 cependant, les mesures de contrôles à réaliser en fin de chantier sont à pénaliser (cf. article 17 de ce même arrêté) de :

■ **20 %** en cas de mesure par échantillonnage de logements ;

■ **0,30 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)** en cas de mesure avant la fin des travaux pouvant affecter la perméabilité à l'air.

Ces pénalisations peuvent donc induire indirectement un durcissement de l'objectif réglementaire entre les deux réglementations.

Face à ces exigences, il faut noter :

■ qu'une paroi en béton coulé de granulats courants peut être considérée comme étanche à l'air ;

■ qu'une paroi en béton ou maçonnerie béton enduite peut être également considérée comme étanche à l'air, indépendamment du type de mise en œuvre et du remplissage des joints.

Pour les bâtiments en béton, d'ex-

cellentes performances, avec des niveaux de perméabilité bien en deçà des seuils réglementaires, peuvent donc être obtenues facilement, durablement et à moindre coût, en respectant ces principes simples :

■ assurer une parfaite continuité entre les surfaces étanches en béton et les autres éléments étanches du gros œuvre ;

■ choisir par ailleurs des produits suffisamment étanches (portes et fenêtres, coffres de volets roulants, fourreaux, trappes de visite, ...) et les mettre en œuvre de façon étanche également.

Il est alors superflu de prévoir des dispositifs supplémentaires d'étanchéité à l'air (deuxième enduit intérieur, films plastiques, ...).

La réalisation d'un essai d'étanchéité à l'air intermédiaire, c'est-à-dire avant la fin du chantier, est à vocation pédagogique. Il doit servir avant tout à vérifier qualitativement les points singuliers à un moment où ils sont encore accessibles. La valeur mesurée n'a en particulier pas de sens avant enduisage extérieur des façades maçonnées.

*Note : l'usage de films plastiques mis en œuvre par collage ou par rubans adhésifs est à éviter, compte tenu des fortes incertitudes concernant le maintien de la performance sur toute la durée de vie du bâtiment et la difficulté voire l'impossibilité d'entretenir cette performance.*

## PONTS THERMIQUES

Dans la RE2020, l'objectif est d'éviter tout risque de dégradation physique (tassement, ...) ou micro-biologique (développement de moisissure, ...) des matériaux. Pour cela, toute condensation non passagère doit être évitée en surface

ou dans les matériaux (en occupation normale).

*Note : l'absence de condensation non passagère dans un logement dépend certes de la conception et de la performance du gros œuvre mais également de la conception et*

*du bon fonctionnement de la ventilation.*

Cet objectif de résultat peut être réglementairement atteint en respectant une des deux conditions suivantes :

■ La température de surface au nu intérieur et au droit du nu intérieur de l'isolant doit être supérieure à 15 °C en tout point de ces surfaces. A la date d'édition du présent document, les textes réglementaires ne précisent pas

<sup>(8)</sup> [https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=nxV2Mfq0Sr27P\\_zl\\_PgsSRlxQahK4jot0bFXfa63FPo=](https://www.legifrance.gouv.fr/download/pdf?id=nxV2Mfq0Sr27P_zl_PgsSRlxQahK4jot0bFXfa63FPo=)

les modalités de détermination de ces températures (par essais ou calculs ? en conditions statiques ou dynamiques ? avec quelles conditions aux limites ?).

Ce critère semble donc difficilement exploitable en l'état de façon pleinement opposable.

■ Le Ratio  $\psi$  de tous les ponts ther-

miques du bâtiment n'exède pas  $0,33 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  et la moyenne de tous les ponts thermiques des planchers intermédiaires ( $\psi_9$ ) n'exède pas  $0,6 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ . La principale différence entre l'expression de cette exigence et le garde-fou de la RT2012 correspondant, réside dans le changement de surface de référence :  $\text{SHON}_{RT}$  pour la

RT2012 et SHAB pour la RE2020. Avec ce changement, on peut noter que le niveau d'exigence est comparable entre les deux réglementations : en moyenne  $0,33 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{SHAB-RE2020}} \cdot \text{K}) \approx 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{SHONRT-2012}} \cdot \text{K})$ .

Pour les bâtiments en béton, les solutions performantes présentées dans la sous-partie « Sur un plan

statique » du chapitre « Energie » de ce présent document (bétons isolants, planelles isolantes, rupteurs industriels, rupteurs intégrés aux produits ou aux systèmes, ...) permettent d'atteindre ces objectifs réglementaires. ■

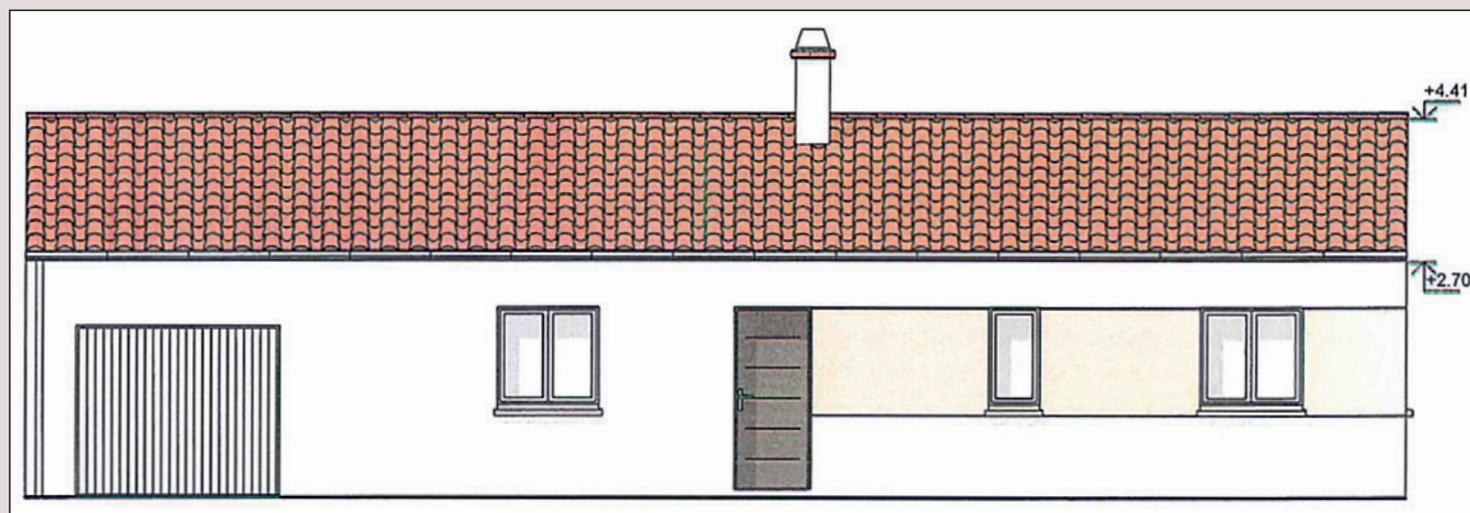
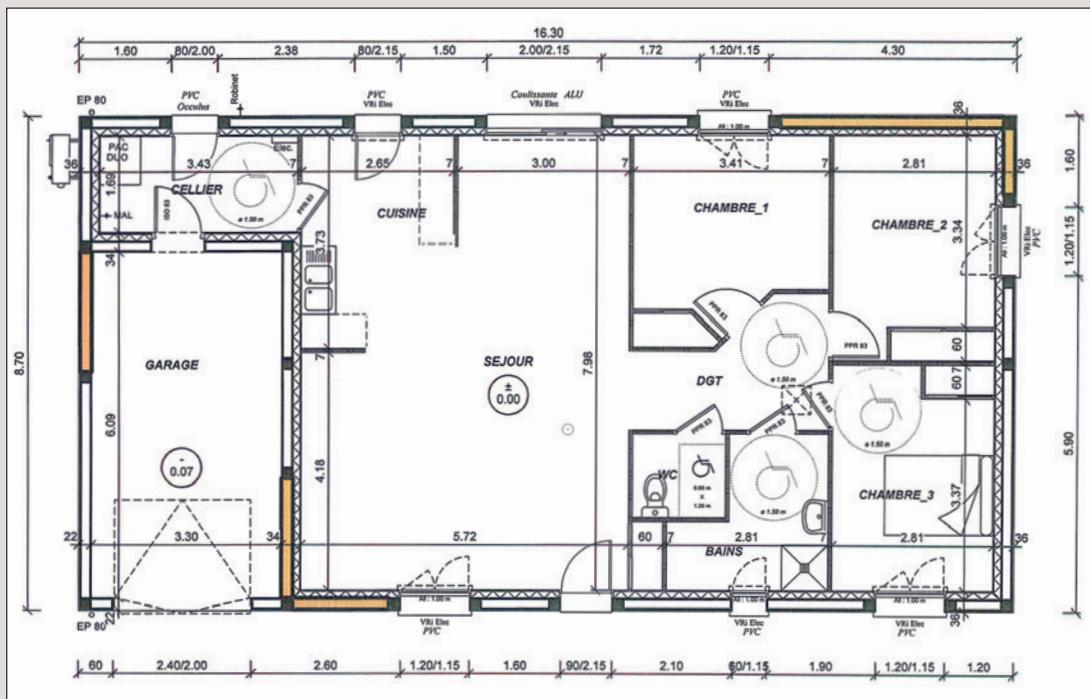
# Exemples de solutions globales RE2020

## MAISON INDIVIDUELLE

(exemple issu d'une étude réalisée par le BE Bastide & Bondoux pour CIMbéton)

### PRÉSENTATION ET CARACTÉRISTIQUES DE LA MAISON

Il s'agit d'une maison de plein pied type T4 de  $100 \text{ m}^2$ , située en zone climatique H2b.



Plusieurs variantes, portant notamment sur des équipements de chauffage et de production de d'eau chaude sanitaire, ont été étudiées. Les grandes lignes de ces variantes sont résumées dans le tableau [T. 7] ci-dessous.

| T. 7  | RE2020 - 1N - H2b                                    |  |  |   |
|---|--|--|--|---|
|   | PAC Air/Eau Double service (PAC A/O DS)              | PAC Air/Air Gainage + CET (PAC A/A-CET)              | PAC Air/Air Monosplit Effet Joule + CET (PAC A/A-EJ-CET) | Poêle à granulés Effet Joule + CET (Poêle-EJ-CET)   |
| Murs extérieurs et Murs sur locaux non chauffés | Parpaing LdV lambda 32 de 120 mm (R=3,75) / Plâtre   | Parpaing LdV lambda 32 de 120 mm (R=3,75) / Plâtre   | Parpaing LdV lambda 32 de 140 mm (R=4,35) / Plâtre       | Parpaing LdV lambda 32 de 120 mm (R=3,75) / Plâtre  |
| Combles perdus                                  | LdV Lambda 40 de 400 mm (R=10) / Plâtre              | LdV Lambda 40 de 400 mm (R=10) / Plâtre              | LdV Lambda 40 de 400 mm (R=10) / Plâtre                  | LdV Lambda 40 de 400 mm (R=10) / Plâtre             |
| Plancher bas                                    | Entrevous non isolants PU sous chape 100 mm (R=4,65) | Entrevous non isolants PU sous chape 100 mm (R=4,65) | Entrevous non isolants PU sous chape 120 mm (R=5,2)      | Entrevous non isolants PU sous chape 120 mm (R=5,2) |
| Menuiseries                                     | PVC : 1,40 / Alu : 1,60                              | PVC : 1,40 / Alu : 1,60                              | PVC : 1,40 / Alu : 1,60                                  | PVC : 1,40 / Alu : 1,60                             |
| Coffre volet roulant                            | Uc = 0,50  | Uc = 0,50  | Uc = 0,50  | Uc = 0,50   |
| Protections mobiles                             | Volets roulants électriques à gestion automatique    | Volets roulants électriques à gestion automatique    | Volets roulants électriques à gestion automatique        | Volets roulants électriques à gestion automatique   |
| Perméabilité                                    | 0,4m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>                  | 0,4m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>                  | 0,4m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>                      | 0,4m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>                 |

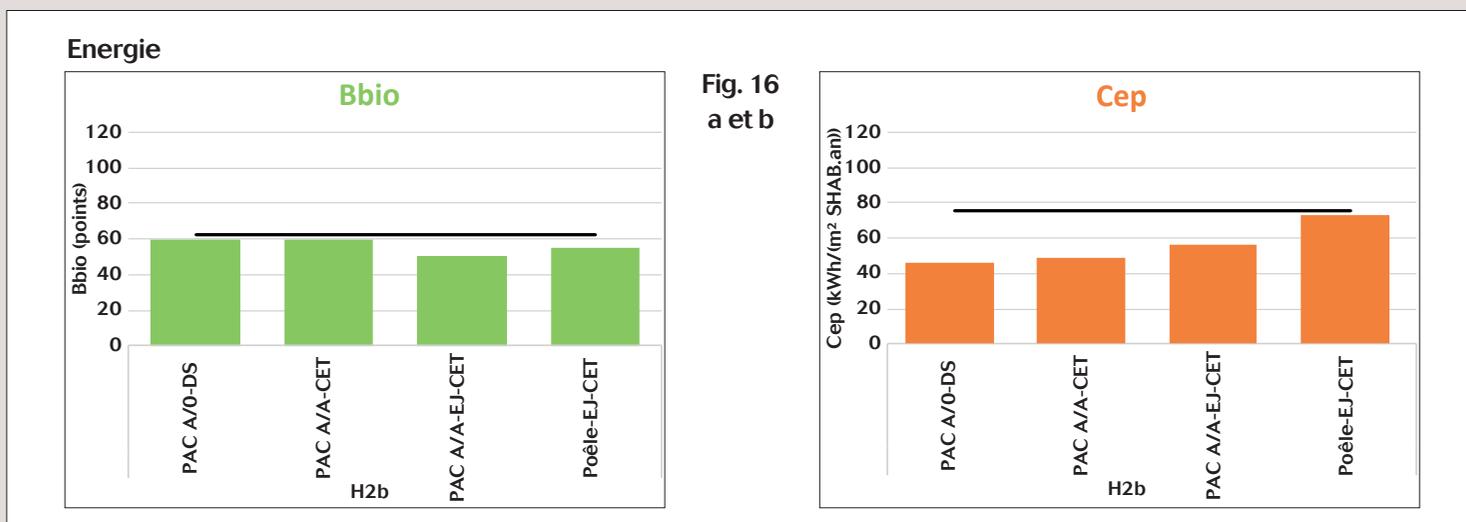
### EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

Pour cette maison, le détail des exigences fixées par la RE2020 pour 2022 est donné dans le tableau [T. 8] ci-dessous.

| T. 8                      | Domaine | Energie                        |                                |  | Carbone                                    |      | Confort |
|---------------------------|---------|--------------------------------|--------------------------------|--|--|------|---------|
| Indicateur                | Bbio    | Cep                            | Cep, nr                        | ICénergie                                  | ICconstruction                             | DH   |         |
| Unité                     | Points  | kWhep/(m <sup>2</sup> SHAB.an) | kWhep/(m <sup>2</sup> SHAB.an) | kg éq CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> SHAB | kg éq CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> SHAB | DH   |         |
| Exigences sans modulation | 63      | 75                             | 55                             | 160  | 640  | 1250 |         |
| Modulations               |         |                                |                                |  |  |      |         |
| Géo                       | 0       | 0                              | 0                              | 0  | 0  | -    |         |
| Surface                   | -0,016  | -0,1                           | -0,1                           | -0,1                                       | 0  | -    |         |
| Combles                   | 0       | 0                              | 0                              | 0  | 0  | -    |         |
| Bruit                     | 0       | 0                              | 0                              | 0  | 0  | -    |         |
| Infra                     | -       | -                              | -                              | -  | 0  | -    |         |
| VRD                       | -       | -                              | -                              | -  | 0  | -    |         |
| DED                       | -       | -                              | -                              | -  | 0  | -    |         |
| Exigences avec modulation | 62      | 67,5                           | 54,5                           | 158  | 640  | 1250 |         |

### RÉSULTATS DES 6 INDICATEURS À SEUILS POUR CHACUNE DES VARIANTES EN IT. 81

Ces résultats (Fig. 16 a et b, Fig. 17 a, b, c et d.) montrent que trois variantes respectent les exigences fixées. Seule la variante PAC Air/Air monosplit, Effet joule + CET bloque sur l'indicateur ICconstruction.



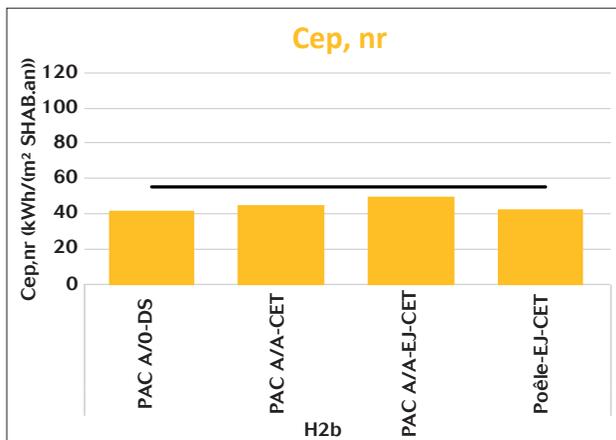
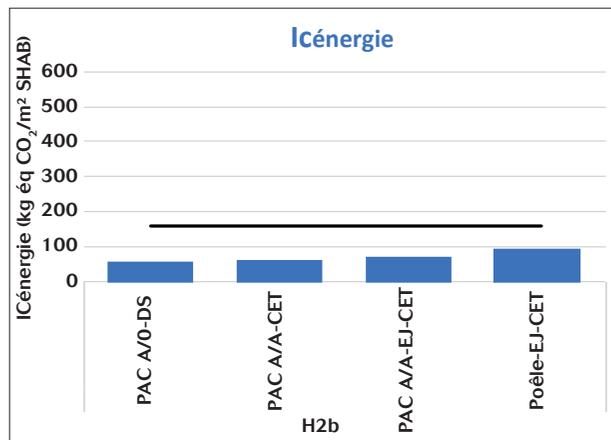
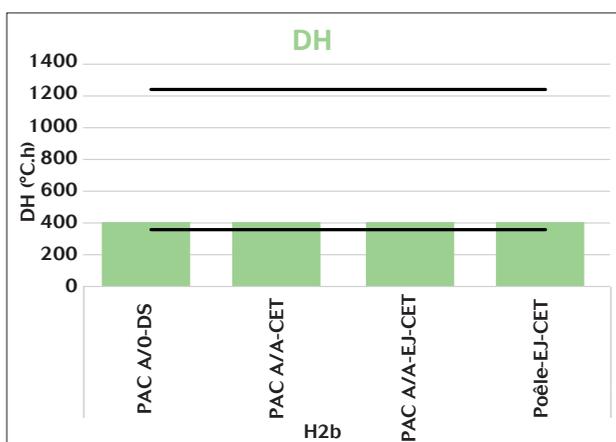


Fig. 17  
a et b



### Confort



### Environnement

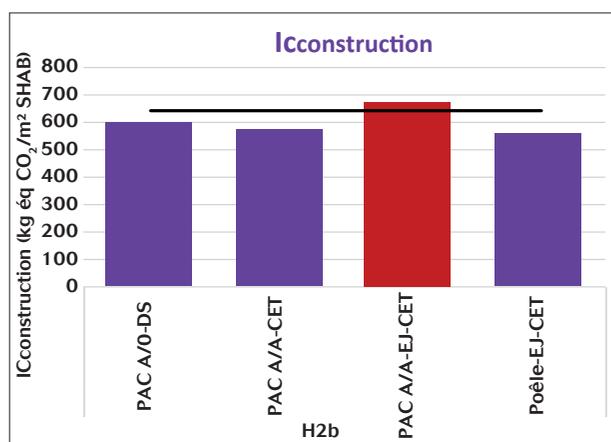


Fig. 17  
c et d

## FOCUS SUR L'EXIGENCE ICCONSTRUCTION

Ce focus a été réalisé sur la variante PAC Air/Eau double service, (Fig. 18). Les lots 8, 7, 10 et 6 sont les plus contributeurs et représentent 67 % de l'exigence ICconstruction.

On peut noter (Fig. 19), que les 5 produits de construction ou équipements contribuant le plus à l'indicateur sont basés sur des valeurs forfaitaires ou des Données Environnementales par Défaut (DED) : le réseau d'électricité, l'équipement de production de chauffage et d'eau chaude sanitaire, les peintures intérieures, les planchers chauffant/refroidissant et le revêtement de sol en céramique.

Les lots regroupant la majeure partie des solutions béton sont les lots 2 et 3, et ne contribuent qu'à hauteur de 15 % à l'exigence ICconstruction. Les produits contribuant le plus sont les blocs bétons pour les murs (4 %), les semelles filantes pour les fondations (4 %), la dalle de compression (3 %) et la chape intérieure (2 %). A noter que pour ces produits, l'ensemble des données sont issues de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire.

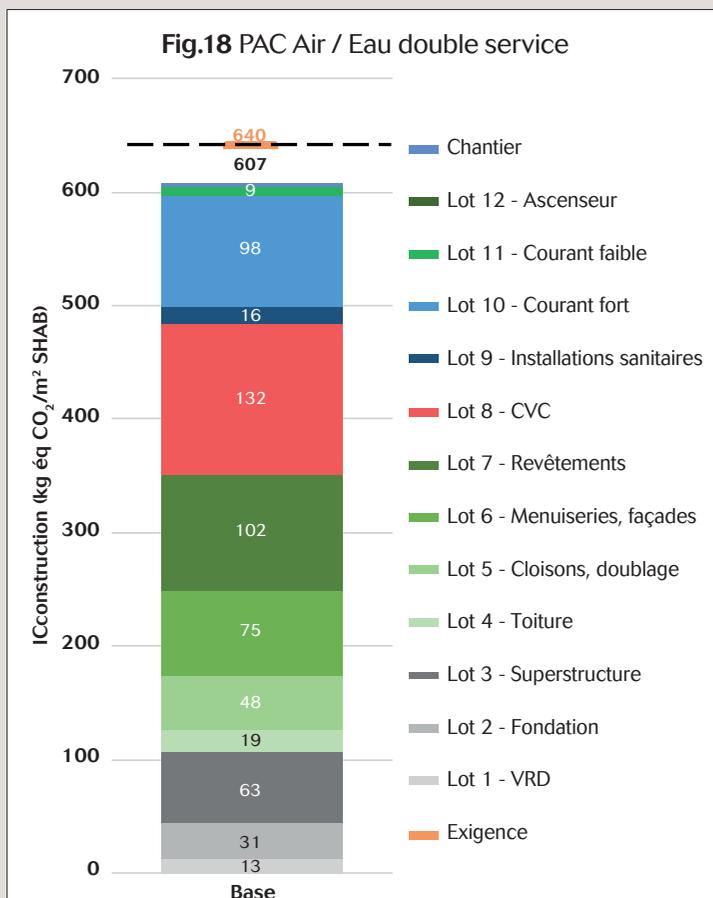
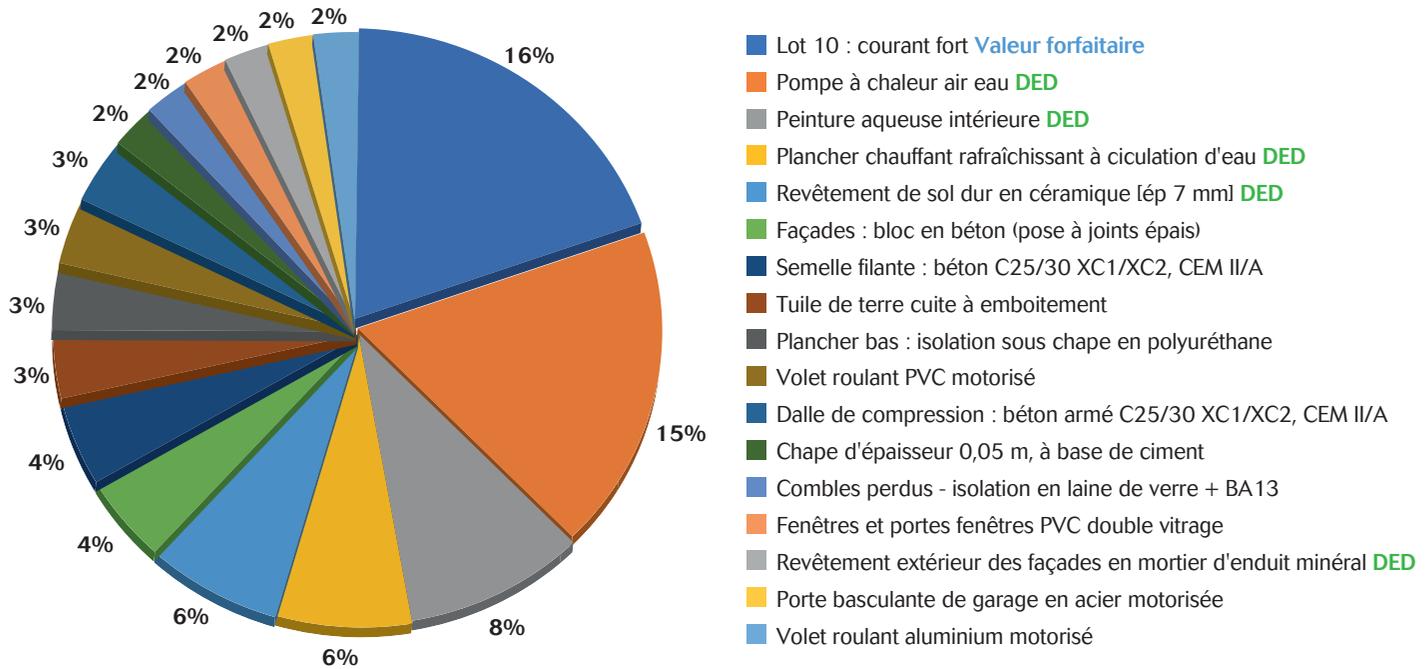


Fig. 19



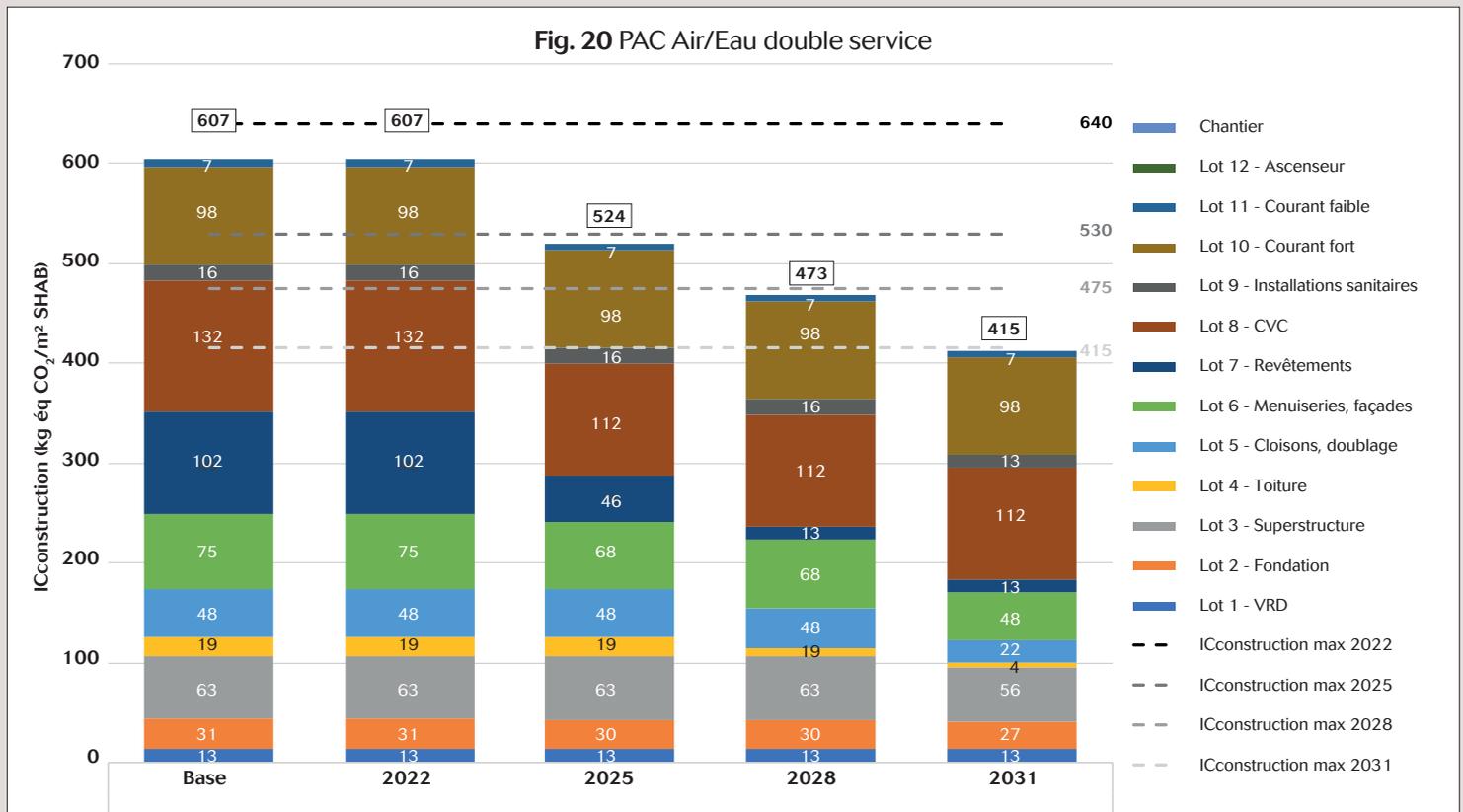
### LEVIERS D'OPTIMISATION POUR LES FUTURES EXIGENCES ICCONSTRUCTION

Pour les seuils ultérieurs (2025, 2028 et 2031), des analyses ont été réalisées en activant différents leviers d'optimisation afin d'évaluer les possibilités de respect de l'exigence ICconstruction, IT. 91.

La mise en place de ces différents leviers permet ainsi à la maison étudiée de passer les différents seuils à venir, et comme le montre les résultats et les leviers identifiés, les efforts de réduction sont répartis sur l'ensemble des produits et équipements.

Ces analyses sont réalisées sur la base des données actuellement disponibles, sans prévaloir des améliorations à venir et propre à chaque fabricant et secteur industriel (par exemple, les fabricants d'équipement électrique contribuant au lot 10, dont la valeur forfaitaire n'a pas fait l'objet de projection).

| T.9         | Composant                                       | Leviers d'optimisation   |
|-------------|---|--|
| <b>2025</b> |   |  |
|             | Peinture intérieure                             | Recours à des données spécifiques (FDES à la place de DED)     |
|             | Emetteur de chauffage (plancher chauffant)      |  |
|             | Revêtement de sol céramique                     |  |
|             | Revêtement des façades                          |  |
| <b>2028</b> |   |  |
|             | Revêtement de sol céramique (séjour et chambre) | Remplacement du revêtement céramique par du revêtement parquet |
|             | Toiture   | Recours à des données spécifiques (FDES à la place de DED)     |
|             | Isolation plancher                              | Recours au produit le moins impactant                          |
| <b>2031</b> |   |  |
|             | Isolation murale                                | Recours à des solutions biosourcées                            |
|             | Dalle de compression                            | Recours à des bétons bas carbone                               |
|             | Fondation                                       |  |
|             | Menuiseries                                     | Recours à des solutions biosourcées et/ou moins impactantes    |



## BÂTIMENTS COLLECTIFS 71 LOGEMENTS

(exemple issu d'une étude réalisée par le BE Bastide & Bondoux pour CIMbéton)

### PRÉSENTATION ET CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT

Il s'agit d'un bâtiment de 71 logements collectifs pour 3 875 m<sup>2</sup> SHAB en R+5 sur sous-sol, situé en zone climatique H2b.

Plusieurs variantes, portant notamment sur des équipements de chauffage et de production de d'eau chaude sanitaire, ont été étudiées. Les grandes lignes de ces variantes sont résumées dans le tableau [T. 10] ci-contre.



|   | RE2020 - LC-H2b  |  |  |
|---|--|--|--|
|   | Chaudières gaz individuelles (Gaz-indiv)                             | Chaudières gaz collective (Gaz-coll)                                 | PAC Air/Air Double service collitive (PAO-DLJO-coll)                 |
| Murs extérieurs et Murs sur locaux non chauffés | Mur béton coulé de 160 mm<br>PSE λ = 32 de 100 mm (R=3,10)<br>Plâtre | Mur béton coulé de 160 mm<br>PSE λ = 32 de 100 mm (R=3,10)<br>Plâtre | Mur béton coulé de 160 mm<br>PSE λ = 32 de 100 mm (R=3,10)<br>Plâtre |
| Toiture terrasse                                | PU de 100 mm (R=4,5)<br>Sous face LdV 80 mm (R=2,00)<br>Plâtre       | PU de 100 mm (R=4,5)<br>Sous face LdV 80 mm (R=2,00)<br>Plâtre       | PU de 100 mm (R=4,5)<br>Sous face LdV 80 mm (R=2,00)<br>Plâtre       |
| Plancher bas                                    | Dallage<br>PU sous chape 80 mm (R=3,70)                              | Dallage<br>PU sous chape 80 mm (R=3,70)                              | Dallage<br>PU sous chape 80 mm (R=3,70)                              |
| Menuiseries                                     | PVC : 1,40   | PVC : 1,40   | PVC : 1,40   |
| Coffre volet roulant                            | Uc = 2,00  | Uc = 2,00  | Uc = 2,00  |
| Protections mobiles                             | Volets roulants électriques à gestion automatique                    | Volets roulants électriques à gestion automatique                    | Volets roulants électriques à gestion automatique                    |
| Perméabilité                                    | 1m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>                                    | 1m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>                                    | 1m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup>                                    |

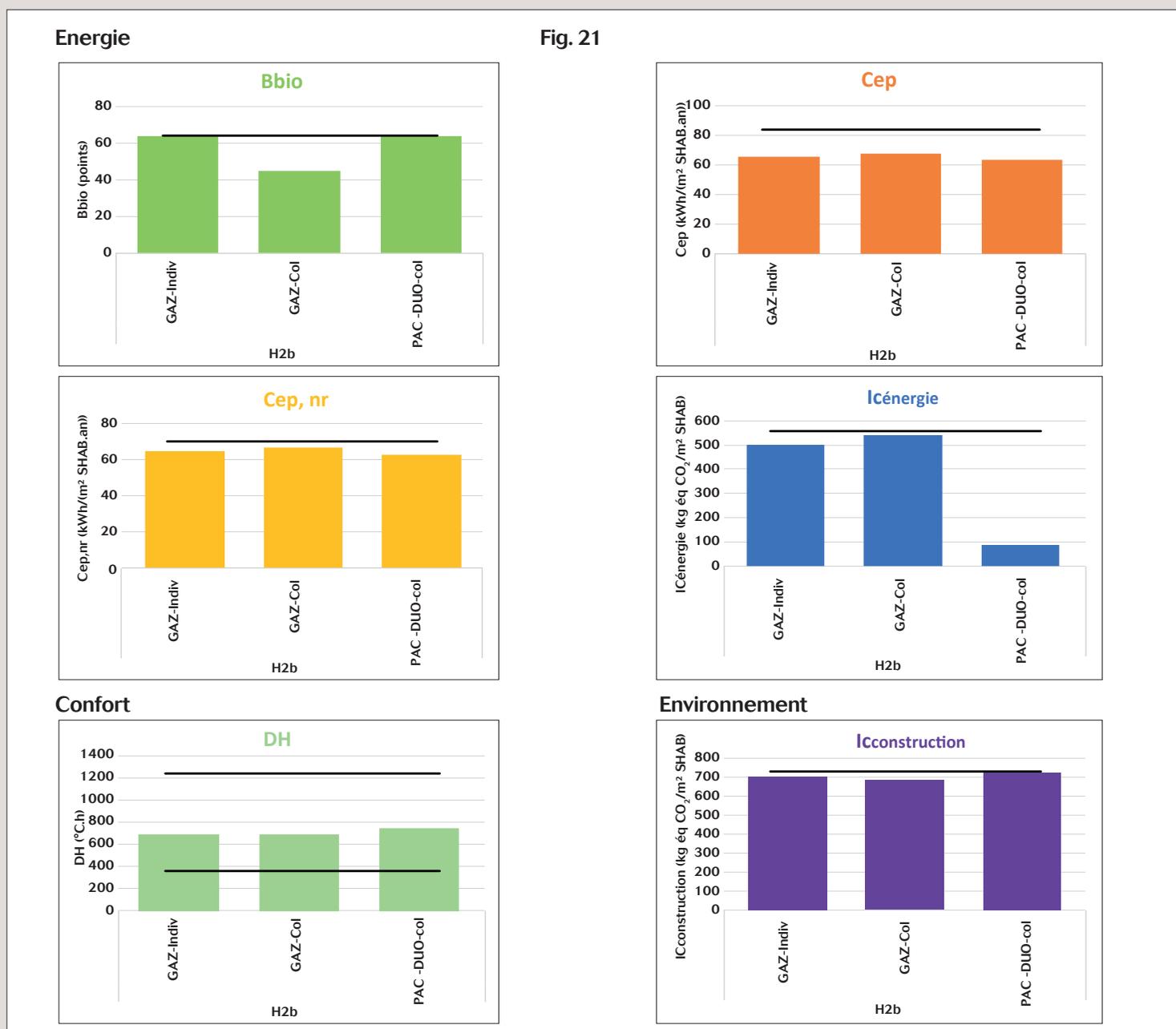
## EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

Pour ce bâtiment collectif, le détail des exigences fixées par la RE2020 pour 2022 est donné dans le tableau [T. 11] ci-contre..

| T.11                      | Domaine | Energie                        |                                |   | Carbone                                    |        | Confort |
|---------------------------|---------|--------------------------------|--------------------------------|---|--|--------|---------|
| Indicateur                | Bbio    | Cep                            | Cep, nr                        | ICénergie                                   | ICconstruction                             | DH     |         |
| Unité                     | Points  | kWhep/(m <sup>2</sup> SHAB.an) | kWhep/(m <sup>2</sup> SHAB.an) | kg éq CO <sub>2</sub> / m <sup>2</sup> SHAB | kg éq CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> SHAB | DH     |         |
| Exigences sans modulation | 65      | 85                             | 70                             | 560   | 740  | 1250   |         |
| Modulations               |         |                                |                                |   |  |        |         |
| Géo                       | 0       | 0                              | 0                              | 0   | 0  | -      |         |
| Surface                   | -0,008  | 0,019                          | 0,019                          | 0,019                                       | -0,09                                      | -      |         |
| Combles                   | 0       | 0                              | 0                              | 0   | 0  | -      |         |
| Bruit                     | 0       | 0                              | 0                              | 0   | 0  | Cat. 1 |         |
| Infra                     | -       | -                              | -                              | -   | 53   | -      |         |
| VRD                       | -       | -                              | -                              | -   | 0  | -      |         |
| DED                       | -       | -                              | -                              | -   | 0  | -      |         |
| Exigences avec modulation | 64,5    | 83                             | 69                             | 549   | 726  | 1250   |         |

## RÉSULTATS SUR LES 6 INDICATEURS À SEUILS

Les résultats sont présentés dans l'illustration en [Fig. 21] ci-dessous. Ces résultats montrent que les trois variantes respectent les seuils fixés sur les six exigences.



## FOCUS SUR L'EXIGENCE ICCONSTRUCTION

Ce focus a été réalisé sur la variante chaudières gaz individuelles.

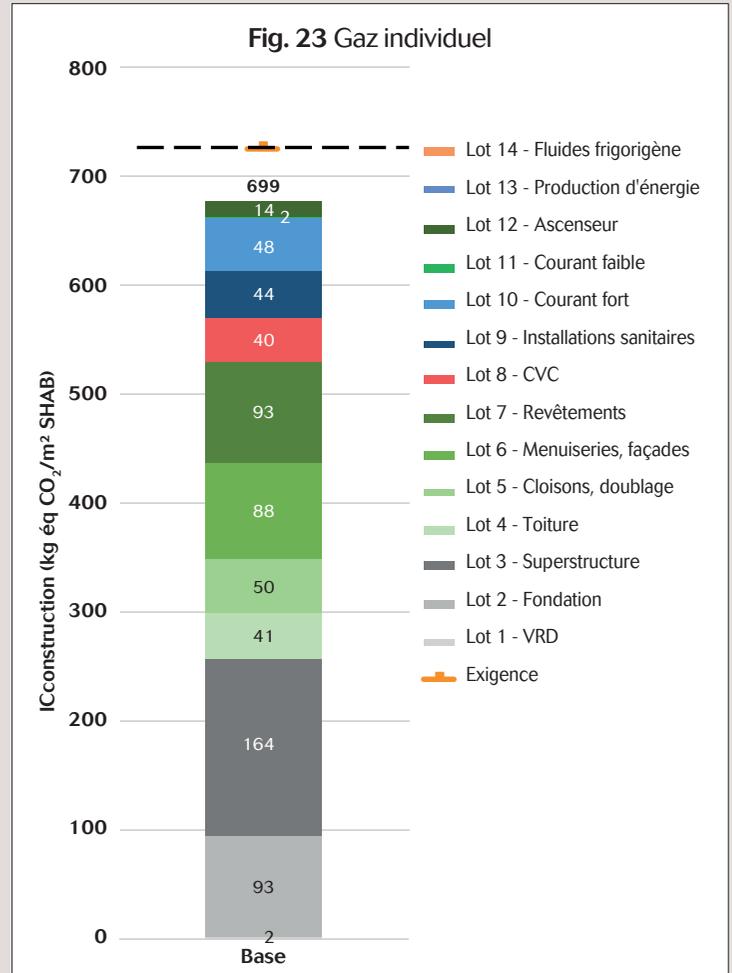
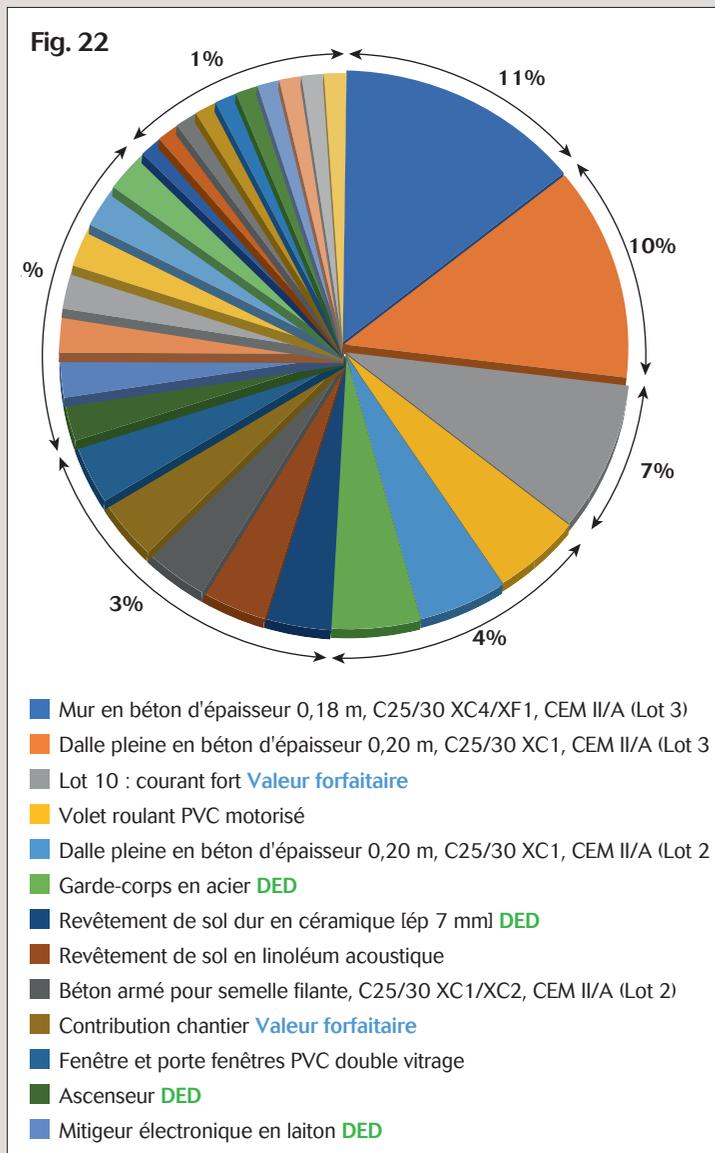
Les lots 2,3, 6 et 7 sont les plus contributeurs et représentent 62 % de l'exigence ICconstruction, [Fig. 22].

Les murs (voiles) et les planchers (dalle pleine) en béton sont les produits les plus contributeurs, respectivement 11 % et 14 % (10 % pour les planchers de la superstructure du lot 2 et 4 % pour les planchers de l'infrastructure du lot 2).

Les lots regroupant la majeure partie des solutions béton sont les lots 2 et 3, et contribuent à hauteur de 36 % à l'exigence ICconstruction, [Fig. 23].

Outre les murs et planchers béton abordés précédemment, les fondations contribuent à hauteur de 3 %. A noter que pour ces produits, l'ensemble des données sont issues de Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire.

Le recours au DED est cependant assez important pour d'autres composants et équipements : réseau électrique, garde-corps, revêtement de sol céramique, ascenseur, chaudière gaz, peinture, VMC, ... (13 sur les 28 postes contribuant à 80 % de l'exigence).

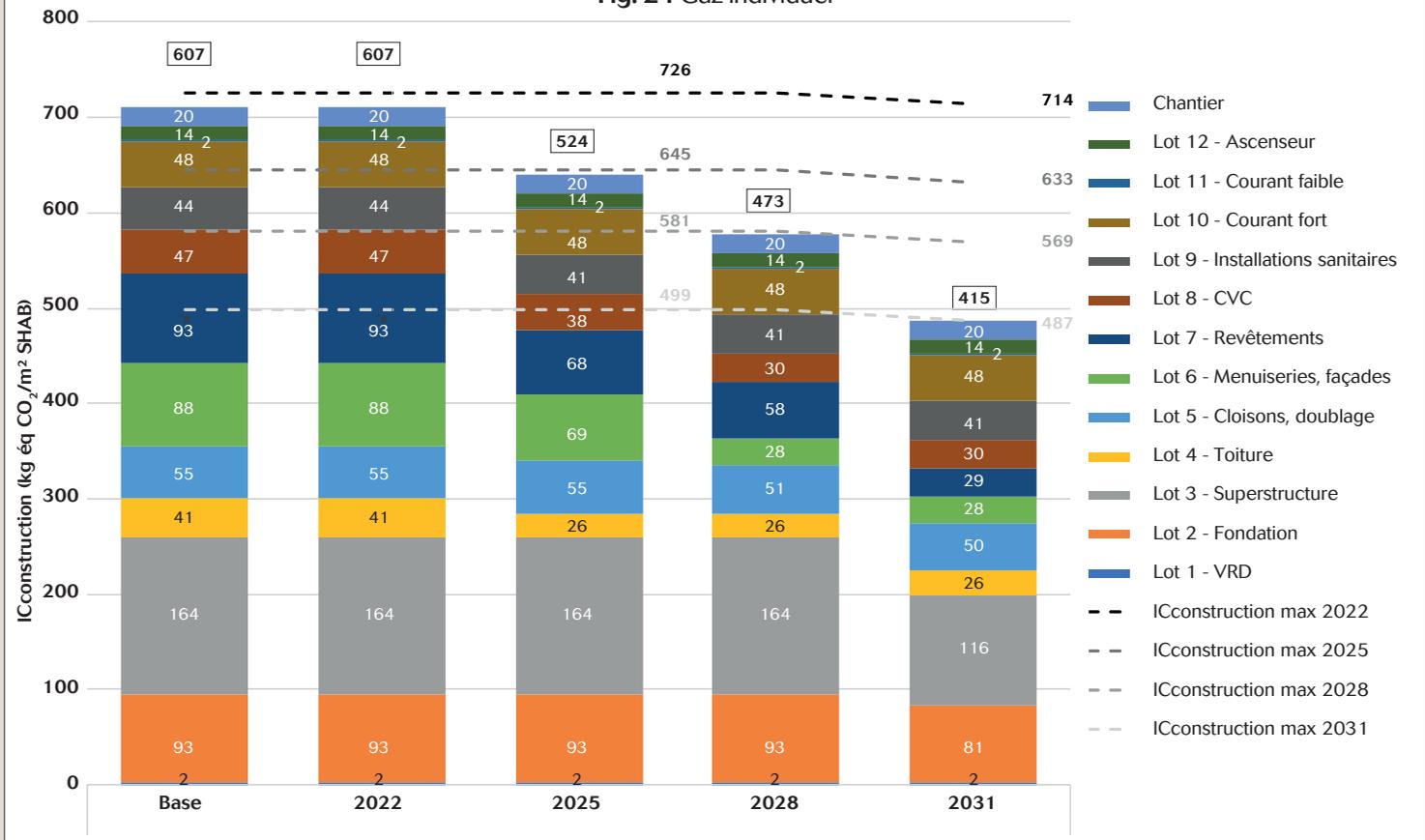


## LEVIERS D'OPTIMISATION POUR LES FUTURES EXIGENCES ICCONSTRUCTION

Pour les seuils ultérieurs (2025, 2028 et 2031), des analyses ont été réalisées, à titre pédagogique, en activant différents leviers d'optimisation afin d'évaluer les possibilités de respect de l'exigence ICconstruction.

| T.12        | Composant                                  | Leviers d'optimisation                                     |
|-------------|--|--|
| <b>2025</b> |  |  |
|             | Peinture intérieure                        | Recours à des données spécifiques (FDES à la place de DED) |
|             | Emetteur de chauffage (plancher chauffant) |  |
|             | Conduit de VMC                             |  |
|             | Revêtement de sol céramique                |  |
|             | Garde-corps                                |  |
| <b>2028</b> |  |  |
|             | Revêtement de façade                       | Recours à des données spécifiques (FDES à la place de DED) |
|             | Porte palière                              |  |
|             | Radiateur                                  | Recours au produit le moins impactant                      |
|             | Menuiserie PVC                             |  |
|             | Isolation des murs                         | Recours à de la laine de verre                             |
| <b>2031</b> |  |  |
|             | Dalles pleines en béton                    | Recours à des bétons bas carbone                           |
|             | Voiles en béton                            |  |
|             | Volets roulants                            | Recours au produit le moins impactant                      |

Fig. 24 Gaz individuel



La mise en place de ces différents leviers permet ainsi au bâtiment étudié de passer les différents seuils à venir, et les efforts de réduction sont répartis sur l'en-

semble des produits et équipements. Ces analyses sont réalisées sur la base des données actuellement

disponibles, sans prévaloir des améliorations à venir et propre à chaque fabricant et secteur industriel (par exemple, les fabricants d'équipement électrique contri-

buant au lot 10, dont la valeur forfaitaire n'a pas fait l'objet de projection).

## BÂTIMENTS COLLECTIFS 40 LOGEMENTS

(exemple issu d'une étude réalisée par le BE Pouget Consultants pour CIMbéton)

### PRÉSENTATION ET CARACTÉRISTIQUES DU BÂTIMENT

Il s'agit d'un bâtiment de 40 logements collectif pour 2 120 m<sup>2</sup> SHAB en R+5 sur sous-sol, situé en zone climatique H2b.

Les principales caractéristiques du bâtiment sont présentées dans le tableau IT. 131. Ces caractéristiques sont fixées de manière à ce que le bâtiment soit conforme aux six exigences réglementaires, car l'objectif initial de cette étude se focalisait sur l'analyse de l'exigence ICconstruction.



| T.13 | Élément  | Caractéristique   |
|------|--|---|
|      | Ciment utilisé pour fondations / infrastructure / superstructure | CEM IIA (saisie sous BETie)   |
|      | Type de fondations   | Superficielles  |
|      | Parking souterrain   | Oui   |
|      | Type de toiture  | Toiture terrasse avec étanchéité bitumineuse  |
|      | Cloison intra-logement   | Cloison à âme alvéolaire  |
|      | Porte de distribution  | Menuiserie bois et huisseries bois  |
|      | Porte palière  | Menuiserie bois et huisseries métalliques (avec respect des norme de résistance au feu) |
|      | Isolant façade   | PSE 120 mm  |
|      | Isolant sous chape   | PUR 120 mm  |
|      | Isolant PH RDC   | PSE 180 mm  |
|      | Isolant toiture accessible                                       | PUR 80 mm   |
|      | Isolant toiture inaccessible                                     | PUR 140 mm  |
|      | Revêtement extérieur   | Enduit  |
|      | Menuiseries extérieures  | PVC   |
|      | Occultations solaires  | VR PVC motorisés  |
|      | Revêtements sol logements  | PVC + Carrelage   |
|      | Revêtement sol circulations communes                             | Moquette  |

### EXIGENCES RÉGLEMENTAIRES

Pour ce bâtiment collectif, le détails des exigences fixées par la RE2020 pour 2022 est donné dans le tableau [T. 14].

| T. 14                     |         |                            |                            |                                      |                                      |         |
|---------------------------|---------|----------------------------|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|
| Domaine                   | Energie |                            |                            | Carbone                              |                                      | Confort |
| Indicateur                | Bbio    | Cep                        | Cep, nr                    | ICénergie                            | ICconstruction                       | DH      |
| Unité                     | Points  | kWhép/<br>(m² SHAB.<br>an) | kWhép/<br>(m² SHAB.<br>an) | kg éq<br>CO <sub>2</sub> /m²<br>SHAB | kg éq<br>CO <sub>2</sub> /m²<br>SHAB | DH      |
| Exigences sans modulation | 65      | 85                         | 70                         | 560                                  | 740                                  | 1250    |
| Modulations               |         |                            |                            |                                      |                                      |         |
| Géo                       | 0       | 0                          | 0                          | 0                                    | 0                                    | -       |
| Surface                   | -0,011  | 0,025                      | 0,025                      | 0,025                                | -0,0287                              | -       |
| Combles                   | 0       | 0                          | 0                          | 0                                    | 0                                    | -       |
| Bruit                     | 0       | 0                          | 0                          | 0                                    | 0                                    | Cat. 1  |
| Infra                     | -       | -                          | -                          | -                                    | 30                                   | -       |
| VRD                       | -       | -                          | -                          | -                                    | 0                                    | -       |
| DED                       | -       | -                          | -                          | -                                    | 0                                    | -       |
| Exigences avec modulation | 64,3    | 87,1                       | 71,8                       | 574                                  | 749                                  | 1250    |

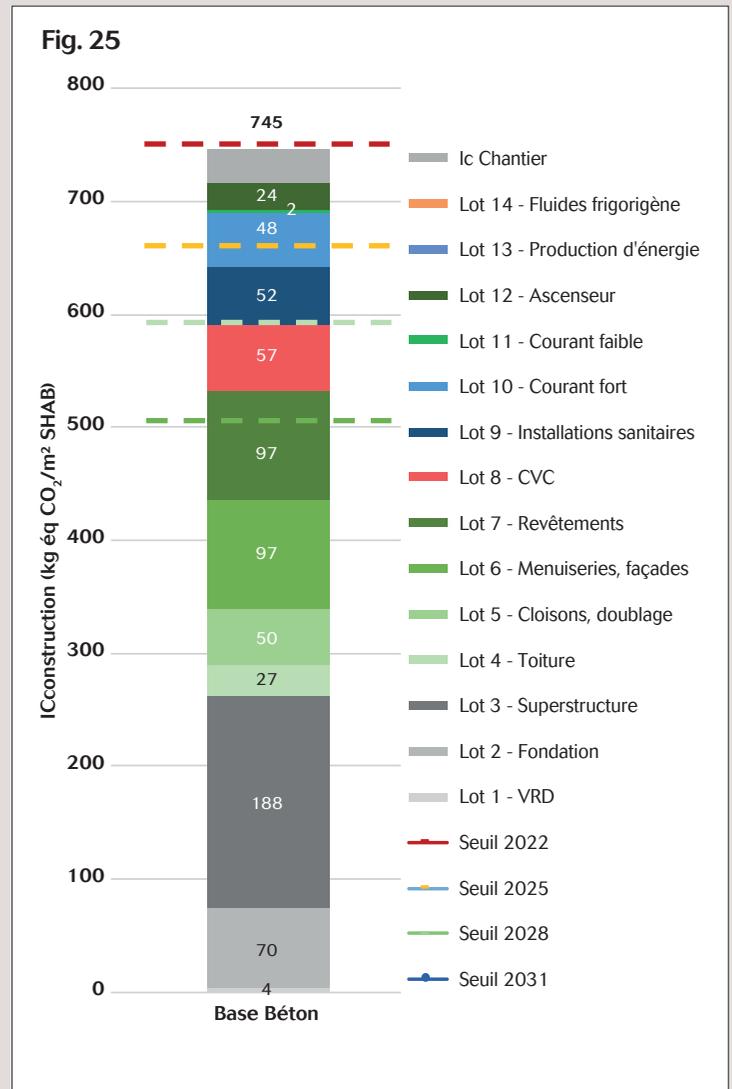
### RÉSULTATS POUR L'EXIGENCE ICCONSTRUCTION

Le bâtiment tel que définit est conforme à l'exigence ICconstruction pour le seuil 2022. Pour les seuils ultérieurs (2025, 2028 et 2031), des optimisations vont être nécessaires afin d'atteindre les seuils fixés.

Les lots 2, 3, 6 et 7 sont les plus

contributeurs et représentent 60 % de l'exigence ICconstruction.

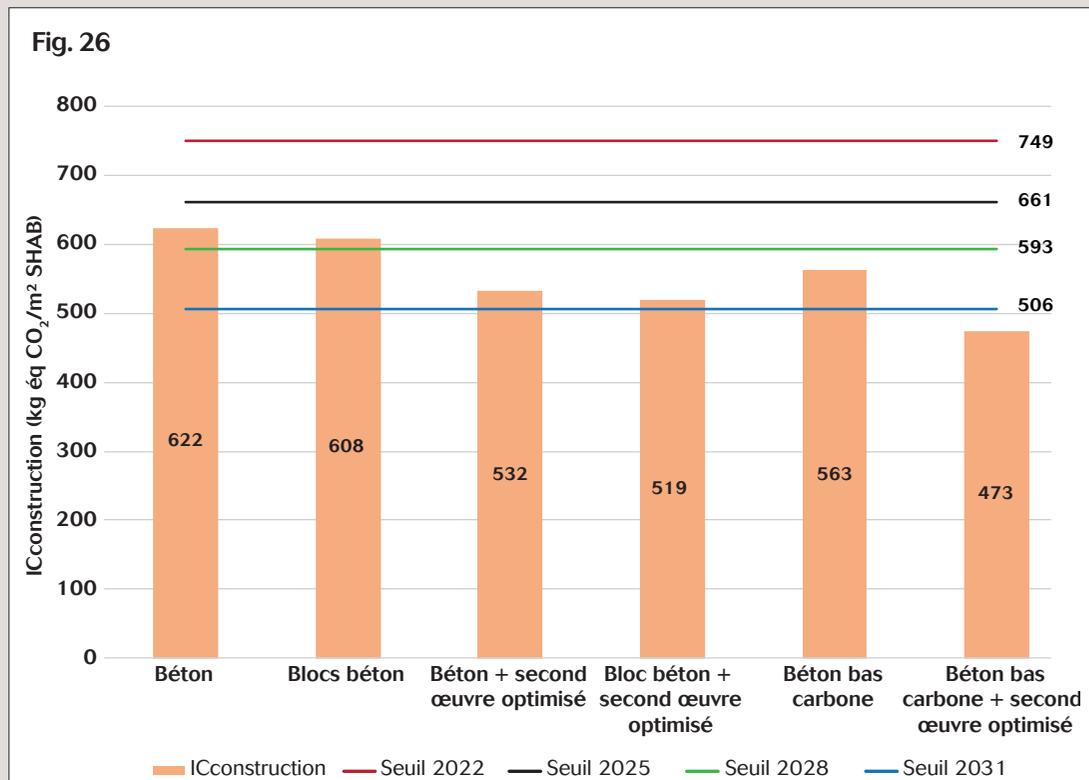
Les murs (voiles) et les planchers (dalle pleine) en béton du lot 3 Superstructure sont les produits les plus contributeurs, respectivement 10 % et 14 %.



## LEVIERS D'OPTIMISATION POUR LES FUTURES EXIGENCES ICCONSTRUCTION

Pour cette étude, la recherche du respect de l'exigence ICconstruction aux futurs seuils s'est articulée autour de plusieurs leviers d'optimisation :

- Optimisation des données environnementales disponibles aussi bien sur le gros œuvre, que le second œuvre et les équipements (à l'exception des lots 10 et 11), c'est-à-dire recherche des données environnementales les moins impactantes et recours à certaines solutions biosourcées
- Analyse de différents systèmes constructifs en béton : béton prêt à l'emploi (avec recours à des formulations de bétons bas carbone) et/ou produits en béton préfabriqué (blocs béton notamment)
- Prise en compte de réduction des impacts des produits de construction liée aux améliorations sectorielles (par exemple, plan de transition sectoriel). Comme le montre la [Fig. 26], avec



l'application de certains leviers d'optimisation uniquement, le seuil 2025 est atteint. Pour 2028 et 2031, la combinaison, voire l'ensemble de ces leviers d'optimisation doit être

déclenché afin d'atteindre les seuils fixés, et notamment le recours à des solutions béton bas carbone et bétons préfabriqués. ■

## Le label d'État

En octobre 2020, la Ministre déléguée auprès de la Ministre de la Transition Écologique, chargée du Logement, a missionné le Plan Bâtiment Durable, pour animer les travaux conduisant à l'élaboration du label d'État qui sera associé à la RE2020.

### Ce label a deux objectifs :

- Valoriser les bâtiments qui anticiperont les étapes de la RE2020, c'est-à-dire ceux qui prennent de l'avance sur la courbe d'apprentissage fixée par la réglementation.
- Prendre en compte des thèmes et critères nouveaux, ainsi que la capacité des concepteurs à inno-

ver, afin de préfigurer les bâtiments d'après-demain. Pour mener à bien les travaux devant aboutir à la promulgation de ce label dans les plus brefs délais, le Plan Bâtiment Durable s'est rapproché de 3 associations, Alliance HQE – Effinergie – Collectif des Démarches Quartiers et Bâtiments Durables au sein d'un GIE (Groupement d'Intérêt Ecologique) avec

comme objectif de piloter la mise en œuvre du label, par délégation. A la date de publication du présent document, aucune information technique fiable n'est en mesure d'être communiquée sur le contenu de ce futur label. ■

# Conclusion

Sur un plan énergétique, la RE2020 reste globalement dans la continuité de la RT2012. Elle va conduire progressivement, comme les réglementations thermiques précédentes, à la disparition des solutions techniques les moins performantes au profit de celles ayant un rapport performances/coût plus élevé. Les solutions en béton trouvent pleinement leur place dans cette démarche de progrès.

Si on intègre à cette réflexion globale l'inconfort estival et le nouvel indicateur réglementaire associé (DH), on peut imaginer de façon caricaturale deux concepts opposés :

- D'un côté des bâtiments à faible inertie thermique, nécessitant capteurs, moteurs et automatismes afin de maîtriser au plus près, les apports solaires, la sur-ventilation, le chauffage et les besoins de climatisation ;
- D'un autre côté des bâtiments basés sur une conception passive poussée, massifs, inertes, « Low-Tech » (c'est-à-dire sans trop d'automatismes et de systèmes importés à entretenir), potentiellement tolérants dans leur pilotage et confortables toute l'année, moyennant à l'usage le respect de quelques règles simples et de bon sens.

Les solutions en béton, de par leur grande variété, leur capacité d'adaptation à toutes les tendances architecturales et leur compatibilité avec les différents principes d'isolation, peuvent répondre à ces deux concepts.

Sur le plan carbone, les bâtiments en béton peuvent passer les seuils de la RE2020 sans pour autant être obligés de faire automatiquement appel à des leviers

d'optimisation, malgré le désavantage apporté par la méthode de calcul « dynamique simplifiée ».

Notre filière s'est fixée une trajectoire de décarbonation de ses solutions. Mais ayons bien à l'esprit que le sujet principal n'est pas la décarbonation du béton, mais la décarbonation du bâtiment. C'est donc l'affaire de tous, énergéticiens, industriels, mais aussi maîtres d'ouvrages et maîtres d'œuvre au regard des choix architecturaux et technico-économiques qu'ils feront à l'avenir pour la conception de leurs ouvrages.

L'ensemble de la filière est bien au rendez-vous de la RE2020 et sera au rendez-vous des prochaines RE dont les ambitions de performances ont été fixées par les Pouvoirs Publics jusqu'en 2031 ; elle s'inscrit comme un acteur important, innovant et efficace de la décarbonation des bâtiments neufs. Et à un horizon plus lointain, la trajectoire de la filière ciment-béton s'inscrit pleinement dans les objectifs de la SNBC. Le béton est aujourd'hui et sera encore demain un allié solide, performant et vertueux des acteurs de la construction. ■