

# RÉHABILITATION DU BÂTIMENT C3 ET DE L'INFIRMERIE



## SIMULATION DYNAMIQUE - PERFORMANCE ÉNERGIE CARBONE

☞ fiche synoptique

PRO

:: olivier martinez — enerco conseils 2018 ::

### Besoins et consommations de chauffage et ECS

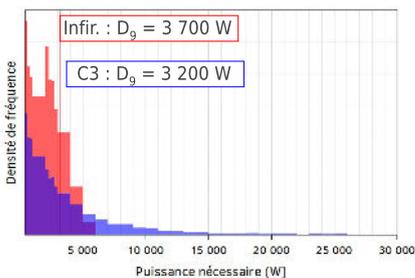
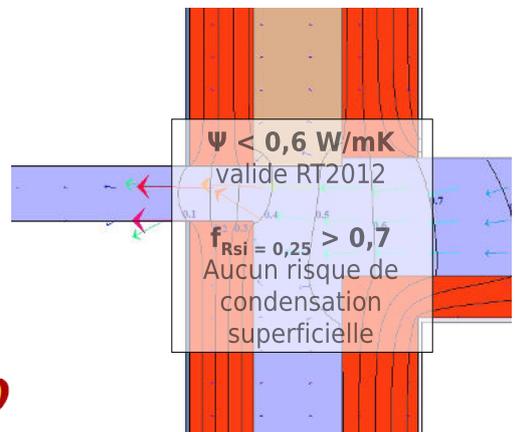
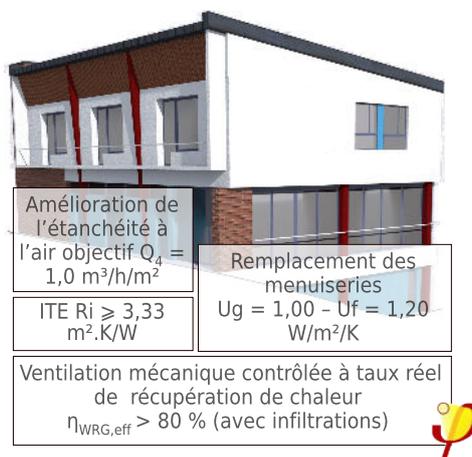
**Rappel** : Cette présente fiche de synthèse illustre uniquement les phénomènes les plus caractéristiques du projet, des rapports plus exhaustifs, en particulier sur les hypothèses de calcul, lui sont joints. Basée sur des Simulations Énergétiques Dynamiques, elle s'intéresse plus spécifiquement aux diverses consommations. Rappelons qu'aucune de ces études ne prétend à prédire les consommations réelles mais uniquement à orienter les travaux.

### Amélioration drastique de l'enveloppe dans le respect du patrimoine

En comparaison avec la phase précédente (APD), les modifications sont mineures. Elles intègrent des épaisseurs différentes d'isolation thermique extérieure (isolants de 80, 145, 160, 180 et 240 mm d'épaisseur) pour effacer simplement les fruits et contre-fruits actuels des façades. Cependant, le niveau d'isolation global des parois extérieures verticales est augmenté dans les deux bâtiments malgré la réduction de l'épaisseur au rez-de-chaussée de l'infirmerie. Toujours au niveau de l'enveloppe, nous avons fait le choix de maintenir les balcons (et remplacer les fenêtres par un ensemble fixe + porte) afin de préserver la structure architecturale faite de poteaux et de poutres. La performance énergétique ne peut être le seul critère de décision, sans quoi nous mettrions à mal le patrimoine existant, sa durabilité et sa désirabilité. Cependant, nous avons veillé au faible impact énergétique et à l'absence de risque de condensation consécutifs à ce choix.



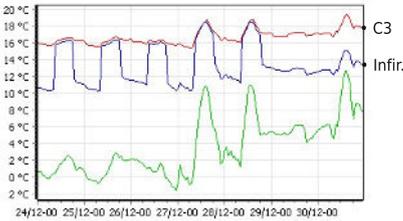
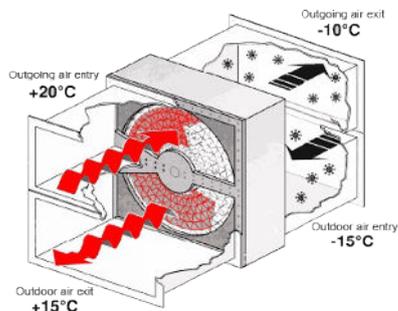
**Amélioration de la performance et du confort** tout en respectant l'architecture du mouvement moderne du XX<sup>ème</sup> siècle.



**Profils statistiques des besoins en puissance de chauffage** dans chacun des deux bâtiments.

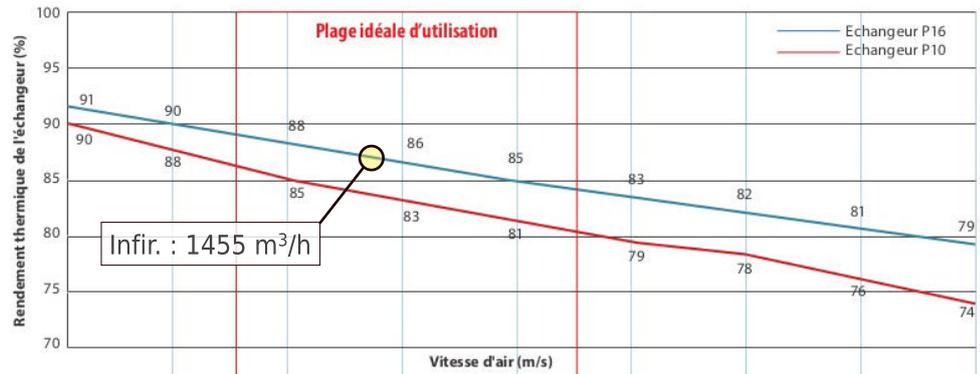
Les équipements et systèmes ont été définitivement actés tout en gardant en tête de permettre la mise en œuvre des trois bureaux en option dans le bâtiment C3, sans modification majeure des installations techniques. Ainsi, la ventilation et le générateur de chauffage sont légèrement sur-dimensionnés. Chauffer les près de 70 m<sup>2</sup> supplémentaires avec l'installation prévue ici ne génèrera pas de sous-dimensionnement sauf à ne pas anticiper d'éventuelles relances du chauffage en rez-de-jardin. Notons que si resp. 6 kW et 29 kW sont nécessaires dans le bâtiment C3 et l'infirmerie, 90 % du temps, 3,5 kW suffisent au maintien du confort (scénarios Th-BCE/Hébergement ou Bureau\*).

\* Ces scénarios supposent, en particulier, une occupation nocturne des chambres et diurne des bureaux. La consigne de chauffage est de 19 °C avec une réduction de 3°C uniquement dans les bureaux, de 19 h à 9 h.



**La récupération passive de chaleur** sur l'air extrait reste possible sans préchauffage jusqu'à -22 °C à l'extérieur. Ici, même durant la semaine la plus froide de l'année, l'air est soufflée à 16°C minimum en période occupée.

Grâce à la récupération de chaleur de très haute efficacité ( $\eta > 86\%$  dans l'infirmerie à débit nominal) qui équipe les ventilations mécanique double-flux centralisées, le besoin de chaleur est contraint entre 27 et 32 kWh/m<sup>2</sup>/an avec une étanchéité à l'air "standard" ( $Q_4 = 1,7\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ ). L'étanchéité mesurée au stade clos-couvert ( $Q_4 = 0,28\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ ) diminue le besoin d'environ 20 % (-10 % pour  $Q_4 = 1,0\text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ , exigence CCTP).



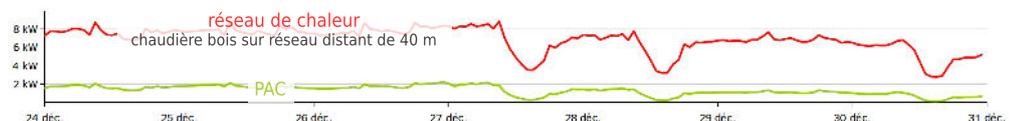
En terme de confort, cette solution de renouvellement permet de souffler de l'air toujours à plus de 16 °C même par températures extérieures négatives. Dans l'Infirmerie où l'on consent à une réduction de la consigne de chauffage de 3 °C, la température de soufflage chute, la nuit, jusqu'à 10 °C.

Cet état de fait limite les besoins en puissance de chauffage. Ainsi, durant la semaine la plus froide, dans le bâtiment C3, la plupart des chambres ne demandent guère plus de 300 W pour maintenir la consigne de 19 °C. Seules la chambre 1 et la salle à manger peuvent avoir des besoins supérieurs à 1 000 W du fait d'un plus grand volume ou du contact avec l'escalier non chauffé. Notons que malgré la bonne orientation, l'essentiel des calories est apporté par le chauffage en hiver (cf. profil des puissances cumulées ci-contre pour la chambre 2). Par conséquent, les pics d'apports solaires peuvent occasionner des surchauffes en milieu ou fin d'après-midi (déphasage d'une heure) même durant la saison de chauffe. On retrouve un comportement similaire dans l'Infirmerie. Dans les deux cas, les protections solaires doivent donc jouer un rôle essentiel.

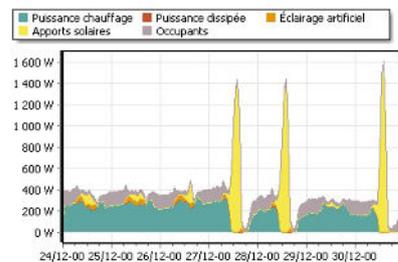
Alors que dans un premier temps, notre équipe de maîtrise d'œuvre devait profiter d'une installation de chauffage mis en place par d'autres, le maître d'ouvrage nous a finalement confié, durant cette phase PRO, le choix des systèmes. Nous avons opté pour des équipements différents, guidés par la variabilité de la consigne de chauffage et les besoins en ECS.

### Consommations de chauffage et ECS dans le bâtiment C3

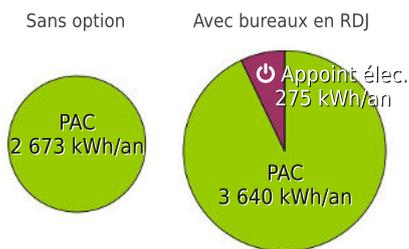
Dans le bâtiment C3 où l'occupation est continue avec une consigne de chauffage monotone et des besoins en eau chaude sanitaire relativement importants (hébergement avec douches), nous avons opté pour une pompe à chaleur air-eau alimentant – en particulier lorsqu'elle n'est plus sollicitée pour chauffer les locaux – un ballon sanitaire assez volumineux (500 l). La rentabilité économique de ce choix est immédiate par rapport à un réseau de chaleur, plus coûteux à l'investissement comme à l'usage (cf. ci-dessous comparaison des consommations de la PAC à celle d'un réseau de chaleur). Elle s'amortit en moins d'une quinzaine d'années par rapport à une chaudière à condensation en permettant ensuite un enrichissement jusqu'à 7 %/an du surinvestissement initial consenti.



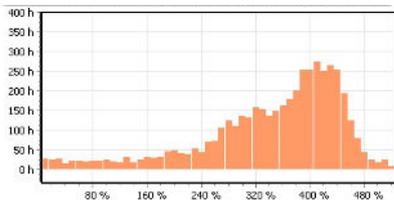
Une des difficultés a été d'anticiper la possible implantation de bureaux en rez-jardin (en option) sans sur-dimensionner la machine thermodynamique pour ne pas occasionner d'usures prématurées. Actuellement, la machine serait sous-dimensionnée pour 16 h max. consécutives en cas de fourniture de chauffage également aux bureaux en option, ce qui constitue un compromis raisonnable.



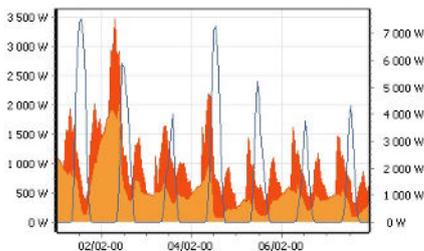
**Les déperditions dans le bâtiment C3** sont compensées, pour l'essentiel, par les émetteurs de chauffage même si ceux-ci sont de très faibles puissances (ici, la chambre 2).



**Comparaison des consommations électriques** pour assurer le chauffage du bâtiment C3 selon l'option choisie



**Répartition en nombre d'heures d'usage des COP pour le chauffage dans le bâtiment C3.**



**Concomitance entre la chute des consommations de chauffage et ECS et le pic de production photovoltaïque, ce qui libère la PAC pour produire de l'ECS en autoconsommation et la stocker (bâtiment C3).**  
 ■ chauffage ■ ECS — production photovoltaïque (axe Y de droite)

Le rendement annuel moyen de la pompe à chaleur est évalué à 345 % mais le COP dépasse 4 (chauffage seul) durant près de 40 % du temps d'utilisation. Avec le régime d'eau basse température (55/45 °C) choisi, l'appoint (résistance électrique de 2 kW qui chauffe l'eau distribuée dans les radiateurs) n'est jamais sollicité. Il permet, cependant, d'envisager l'augmentation de la surface chauffée en occasionnant une consommation très limitée de 275 kWh/an (pour presque autant d'heures d'activation).

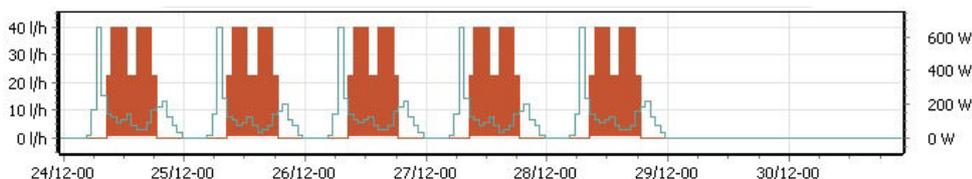
Notons qu'un fonctionnement à très basse température (35/30 °C) permettrait de réduire la consommation d'environ 8 % alors qu'un fonctionnement à haute température (75/65 °C) l'augmenterait de 37 % (sans l'option des bureaux en RDJ).

La modélisation des consommations d'ECS est plus complexe et hasardeuse. Elle dépend, en effet, de besoins très difficile à appréhender à ce jour mais également des caractéristiques de l'installation finalement mise en œuvre. Cependant, si on suppose des besoins proches de studios et des performances de la PAC moyenne pour la production ECS (COP = 2,7 pour A7/W45), on peut s'attendre à une consommation légèrement supérieure à celle du chauffage (2 893 kWh/an). Il est donc important de pouvoir utiliser la PAC dans sa plage de fonctionnement la plus efficace.

Rappelons que, quoique mal orientée, la toiture du bâtiment C3 permettrait une production photovoltaïque importante et nettement supérieure aux consommations cumulées de cet hébergement. L'essentiel de la production se ferait autour du midi solaire alors même que les besoins de chauffage s'effondrent. La pompe à chaleur serait donc disponible pour produire et stocker de l'ECS de façon "gratuite", en autoconsommant la production photovoltaïque. Si la rénovation de la toiture du bâtiment C3 n'est pas envisagée à cette heure (coût élevé lié à la reprise complète de la charpente), une réfection de l'ensemble des couvertures des hébergements pourrait être étudiée ultérieurement.

### Consommations de chauffage et ECS dans l'Infirmierie

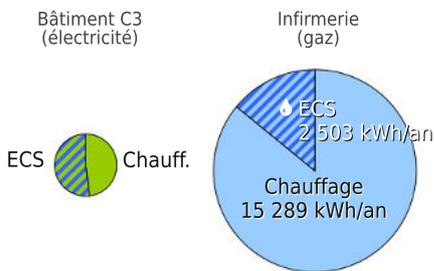
À l'inverse du bâtiment C3, les besoins d'ECS sont ici faibles (cf. profil de puisage hebdomadaire supposé ci-dessous) et la consigne de chauffage variable à l'image de l'occupation, uniquement diurne (représentée par une surface pleine ci-dessous).



Pour répondre à ces deux caractéristiques, nous avons fait le choix de remplacer la chaudière en place — assez récente mais dont l'adaptation dans le bâtiment rénové est difficile — par une chaudière également au gaz mais à condensation. L'amortissement économique se fait en seulement quelques années avec un enrichissement à 30 ans de près de 500 % du surinvestissement initial consenti.

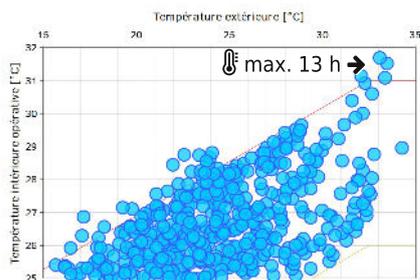
La réduction nocturne de la consigne de chauffage (de 19 à 16 °C) s'avère une source notable d'économies puisque la consommation annuelle est réduite de 30 % par cette seule programmation. Cependant, cela a des conséquences en terme de dimensionnement puisque la chaudière doit être capable de fournir un large panel de puissances pour pouvoir répondre aux relances comme au fonctionnement de croisière en journée. Si 75 % des puissances fournies au chauffage sont inférieures à 5 kW, 5 % sont supérieures à 13 kW et 1 % à 24 kW. La chaudière choisie ( $P_{\text{nominale}} = 29 \text{ kW}$ ) peut répondre à cette variabilité grâce à ces capacités de modulation avec beaucoup plus de facilités qu'une pompe à chaleur.

Le rendement moyen annuel (PCI) est de 104 % pour le chauffage et d'un peu plus de 100 % pour l'ECS. Les faibles températures de fonctionnement du chauffage permettent de profiter à plein de la condensation des gaz.

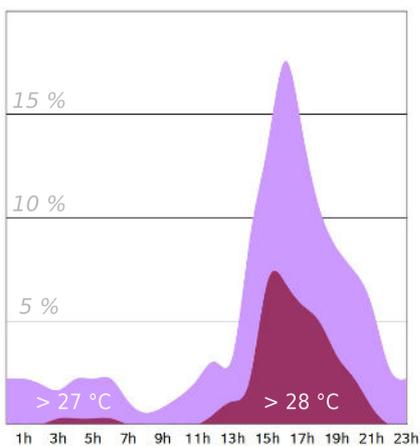


**Comparaison des principales consommations des chaudières du bâtiment C3 (à gauche, électricité) et de l'Infirmierie (à droite, gaz).**

## Besoins et consommations de climatisation



**Les surchauffes sont rares, même dans le bureau le plus défavorisé de l'infirmerie.** Seules 13 h sont véritablement hors de nos capacités naturelles d'adaptation à la chaleur (Text > 33 °C).



**La probabilité annuelle de surchauffe** est très nettement supérieure en fin d'après-midi, ici dans la chambre 2.

## Éclairage naturel



Quoique le besoin de chauffage des 2 bâtiments soit voisin, la différence de surface mais surtout de rendement annuel de leur système de chauffage respectif, fait que l'infirmerie a des consommations de gaz plus de 3 fois supérieures aux consommations électriques du C3. Notons qu'en terme de prélèvement des ressources, le facteur de conversion énergie primaire - énergie finale de l'électricité absorbe l'essentiel de cet écart.

Pour terminer sur cette problématique, soulignons que si les consommations de chauffage diminuent d'un facteur 26 dans le C3, les factures associées ne sont, elles, réduites que d'un facteur 12. En effet, le coût du kWh proposé par votre fournisseur d'électricité (selon facture décembre 2017) est, en moyenne, plus de deux fois supérieur au kWh que vous avez négocié en gaz. Sachant que 40% du coût du kWh électrique est dû aux taxes et contributions à l'usage du réseau, on ne peut que s'interroger sur l'intérêt d'une production locale (cf. § sur la production photovoltaïque page précédente) associée à de l'autoconsommation.

## Une réhabilitation qui prend en compte au mieux le confort

Si l'amélioration de l'enveloppe permet une réduction importante du besoin de chauffage, a contrario, elle peut être source de surchauffes et donc d'un besoin de rafraîchissement. Cependant, dans ces deux bâtiments, la climatisation n'a jamais été jugée nécessaire au regard des courbes de confort adaptatif (cf. ci-contre).

Les risques de surchauffes sont relativement faibles dans l'infirmerie à condition d'un bon usage des protections solaires et de l'ouverture des fenêtres pour assurer une surventilation naturelle des locaux aux moments propices. En début de chantier, nous avons fait le choix de mettre en œuvre, en remplacement du mur rideau existant, des baies vitrées à contrôle solaire. Cette solution ne bouleverse pas le confort, n'occasionne pas, non plus, de besoins de chauffage supplémentaires mais elle permet de rendre les zones d'accueil et les locaux mitoyens encore un peu plus confortables en période chaude sans desservir l'accès à la lumière du jour.

A contrario, le bâtiment C3 peut souffrir d'une exposition longue à des températures élevées pour certains locaux (chambres orientées au Sud). L'usage des protections solaires et l'ouverture des baies sont nécessaires, parfois tôt dans l'année, pour éviter les surchauffes. En particulier, le salon tempéré pourrait afficher des températures de plus de 40 °C au mois de septembre si on ne prend pas ces précautions.

Cependant, ces surchauffes ne se rencontrent qu'en journée, le soleil est le principal vecteur de ces phénomènes, ce dès fin mai et jusqu'à mi-octobre. Ainsi, dans la chambre 2, alors qu'il y a une probabilité annuelle de mesurer une température supérieure à 28 °C nulle ou quasiment nulle de 22 h à 10 h, elle est de 18 % entre 16 h et 17 h. Cette valeur vaut pour un usage modéré des protections solaires extérieures (50 % fermées) et l'ouverture des fenêtres aux heures favorables. En occultant totalement la fenêtre, on peut, réduire la surchauffe à quelques 30 h/an (au lieu de 130 h), soit 0,37 % du temps d'occupation. La température maximale rencontrée chute alors de 33 °C à 29 °C (pour 36 °C extérieurs).

## La lumière naturelle toujours présente

Avec des  $FLJ_{moyen}$  respectivement supérieurs à 1,3 % et 1,7 %, les chambres et la salle à manger du bâtiment C3 répondent au label HQE appliqué dans les lycées de la Région Rhône-Alpes.

De la même manière, l'ensemble des locaux de l'infirmerie peuvent revendiquer le label HQE à l'exception du bureau de l'assistante sociale et de la salle de rencontre Familles qui, pour des raisons inhérentes à l'existant, souffrent d'un moins bon accès à la lumière du jour.

Nous terminons cette fiche de synthèse en proposant quelques comparaisons et en s'interrogeant sur le bilan environnemental du projet. Pour ce faire, nous avons fait le choix de nous appuyer sur l'[expérimentation Énergie-Carbone](#) en cours, qui préfigure la prochaine "réglementation thermique" pour les bâtiments neufs. À ce jour, le référentiel n'a pas été adapté pour les opérations de rénovation, cependant, il est possible de tirer quelques enseignements.

L'ensemble de la conception de la maîtrise d'œuvre a été accompagné par des simulations dynamiques, c'est ce qui est présenté plus haut. Nous avons également procédé à des calculs dits "RT Existant" pour valider le niveau de performance BBC Rénovation 2009 Tertiaire. Enfin, pour pouvoir effectuer une comparaison avec les constructions actuelles, nous avons effectué un calcul RT2012 ainsi qu'un bilan carbone (méthode E+C-) que nous vous présentons ici (bâtiment C3).

La première évidence est que les résultats en terme de consommations divergent tous les uns des autres. Si les calculs "RT Existant" et "RT2012" s'accordent sur les consommations d'éclairage (méthodes similaires), la première estime une consommation de chauffage près de 3 fois supérieure à la seconde. On peut penser que le moteur le plus récent est le plus réaliste, appréhendant avec plus de précisions le comportement de ce bâtiment et de ses équipements qui, après rénovation, est dans les standards les plus élevés des bâtiments neufs actuels. Quid de la pertinence d'utiliser encore un moteur de calcul obsolète sur ce type de rénovation lourde ?

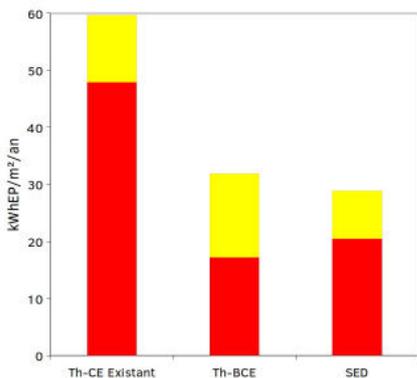
Les simulations annoncent, elles, des consommations de chauffage proches de la RT2012, quoiqu'un peu supérieures, mais différent fortement sur l'éclairage (pour les mêmes puissances installées). En travaillant à un pas de temps infra-horaire et en modélisant les échanges au niveau de chaque paroi, les simulations permettent plus de précisions et, par conséquent, d'orienter les travaux. Les calculs réglementaires en sont incapables et ne devraient jamais servir à cet objectif. À chaque méthode son rôle ! Rappelons qu'aucune n'a d'ailleurs la prétention de pouvoir prédire les consommations à venir, ne serait-ce du fait que de l'imprévisibilité des conditions climatiques et de l'usage réel du bâtiment.

S'il n'est soumis qu'à la RT Existant, il s'avère que le bâtiment C3 est déjà conforme à la RT2012 et peut sans doute, même, prétendre à effinergie+. Le fait de conserver la structure porteuse et la maçonnerie existante permet de limiter l'empreinte environnementale de l'opération : le niveau 2 du référentiel Énergie-Carbone est atteint avec un score inférieur à  $500 \text{ kg}_{\text{ég. CO}_2} / \text{m}^2_{\text{sdp}}$  pour une période d'étude de 50 ans (niveau 1 : 1050 ; niveau 2 : 750), soit l'équivalent de près de 4 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> émises chaque année.

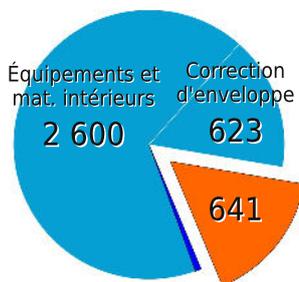
Dans ce score, les consommations énergétiques annuelles (particulièrement réduites ici, faut-il le rappeler) sont largement minoritaires et ne représentent que 16 % de la valeur totale. C'est l'équivalent des émissions de gaz à effet de serre du trajet quotidien moyen domicile-travail d'une seule personne sur à peine 100 jours en zone à dominante rurale (29 km/aller, 215 jrs, voiture diesel < 2L, conducteur seul) selon l'[éco-comparateur de l'ADEME](#).

Le cycle de vie des matériaux de construction et des équipements mis en œuvre est, de loin, la principale source de gaz à effet de serre. Mais à peine 20 % de la responsabilité est à attribuer aux matériaux rapportés sur l'enveloppe, les équipements sont les vecteurs largement majoritaires de cette pollution. Prenons garde, cependant, à noter qu'il s'agit là des hypothèses du référentiel E+C- avec un traitement forfaitaire des équipements et des données environnementales par défaut pour l'ensemble des matériaux d'origine végétale. Ces derniers ne sont pas particulièrement valorisés dans la base INIES imposée (cf. ci-contre).

Quoiqu'il en soit, rénover avec des ambitions élevées, en limitant les équipements, est une voie vertueuse. Produire une enveloppe très efficace a un impact immédiat et durable sur les consommations sans handicaper outre mesure le bilan carbone. C'est bien ce que nous espérons avoir proposé au maître d'ouvrage : une conception sobre et efficace.

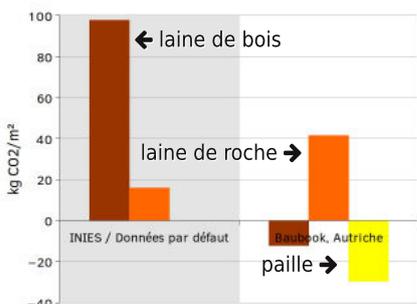


**Comparaison des consommations en énergie primaire** évalués selon les méthodes réglementaires et les simulations thermiques (bâtiment C3).  
■ Chauffage ■ Eclairage



**Répartition des sources d'émissions des gaz à effet de serre** en kg équiv. CO<sub>2</sub> par an.

- Produits de Construction et Équipements
- Consommations et rejets d'eau
- Consommations énergétiques



**Comparaison des émissions de gaz à effet de serre** selon des bases de données différentes (R = 5 m<sup>2</sup>.K/W - DVT : 50 ans).