



La pierre massive
au défi de
la réglementation
environnementale
2020

13^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC

25 NOVEMBRE 2020

HÔTEL HOLIDAY INN - 92110 CLICHY



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC



La pierre massive
au défi de
la réglementation
environnementale
2020

MERCREDI 25 NOVEMBRE 2020

HÔTEL HOLIDAY INN PARIS

PORTE DE CLICHY
2, RUE DU 8 MAI 1945 - 92110 CLICHY

PARTICIPATION AUX FRAIS : 35,00 € TTC

COMPREND :
ACCÈS AUX CONFÉRENCES, REPAS, PAUSE, DOSSIER

DANS LA LIMITE DES PLACES DISPONIBLES (85 MAXI)

CONTACT
NADÈGE VERRIER
VERRIER.N@CTMNC.FR
TÉL : 01 44 37 50 00

INSCRIPTION À L'AIDE DU BULLETIN JOINT,
AVANT LE 6 NOVEMBRE 2020

PROGRAMME

ANIMATEUR : Gilles Martinet, secrétaire général du SNROC

- 9H30 - 9H45 **INTRODUCTION**
Jean-Louis Vaxelaire, vice-président du CTMNC
- 9H45 - 10H30 **DE LA RT 2012 À LA RE 2020**
Nathalie Tchang, Tribu Energie
- 10H30 - 11H15 **ETAT D'AVANCEMENT DE LA THÈSE**
« La pierre naturelle dans un contexte d'évolution réglementaire environnementale de la construction des bâtiments, étude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de bâtiments à base de pierre calcaire »
Tristan Pestre, CTMNC
- 11H15 - 12H00 **PIERRE MASSIVE ET RÉGLEMENTATION THERMIQUE : RETOUR D'EXPÉRIENCE**
Elisabeth Polzella, Architecte D.P.L.G.
- 12H15 - 13H45 **PAUSE DÉJEUNER**
- 14H00 - 14H45 **PROJET OEHM**
« De la caractérisation hygro-thermique locale des matériaux à une approche intégrée de l'Optimisation Énergétique de l'Habitat Méditerranéen »
André Chrysochoos, Université Montpellier
- 14H45 - 15H45 **TABLE RONDE**
COMMENT INSCRIRE LA PIERRE DANS LA RE 2020 ?
PARTICIPANTS :
 - Nathalie Tchang
 - Emmanuel Antczak, Université d'Artois
 - Elisabeth Polzella
 - André Chrysochoos
 - Olivier Leroy, Carrières de Noyant.
- 16h00 **SYNTHÈSE ET CONCLUSIONS**
Jean-Louis Vaxelaire, vice-président du CTMNC



M13 PORTE DE CLICHY
ou MAIRIE DE CLICHY

RER C PORTE DE CLICHY

HÔTEL HOLIDAY INN PARIS

PORTE DE CLICHY
2, RUE DU 8 MAI 1945 - 92110 CLICHY
SALLE FUSION

MÉTRO M13
PORTE DE CLICHY OU MAIRIE DE CLICHY

RER C
PORTE DE CLICHY

CONTACT
NADÈGE VERRIER
VERRIER.N@CTMNC.FR
TÉL : 01 44 37 50 00



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

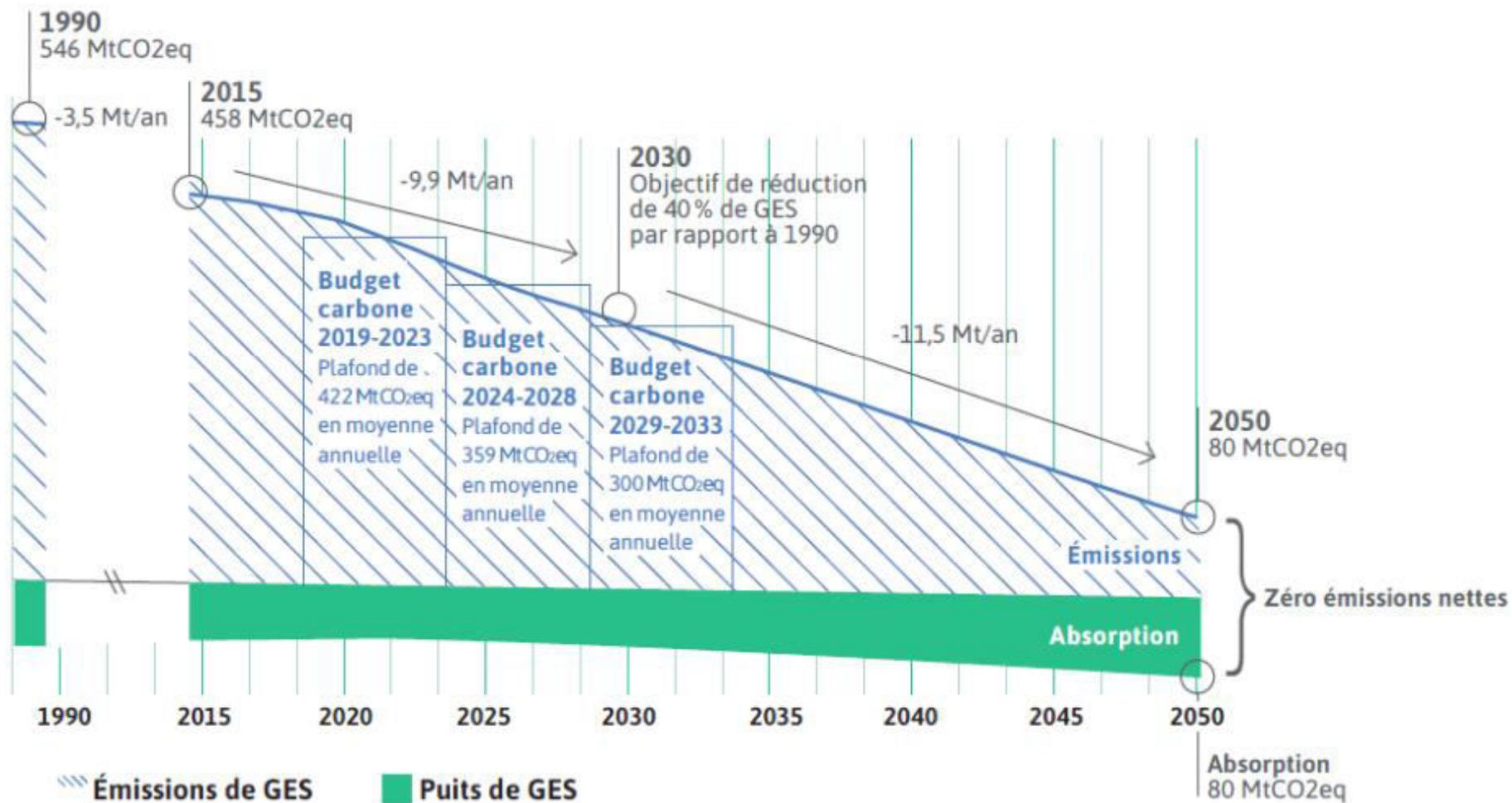
De la RT2012 à la RE2020

septembre 2021



Contact : **Nathalie TCHANG**
140-142 rue du Chevaleret 75013 PARIS
Tel : 01.43.15.00.06
Mail : mail@tribu-energie.fr
web : www.tribu-energie.fr

La SNBC



Évolution des émissions et des puits de GES sur le territoire français entre 1990 et 2050 (en MtCO₂eq). Inventaire CITEPA 2018 et scénario SNBC révisée (neutralité carbone)

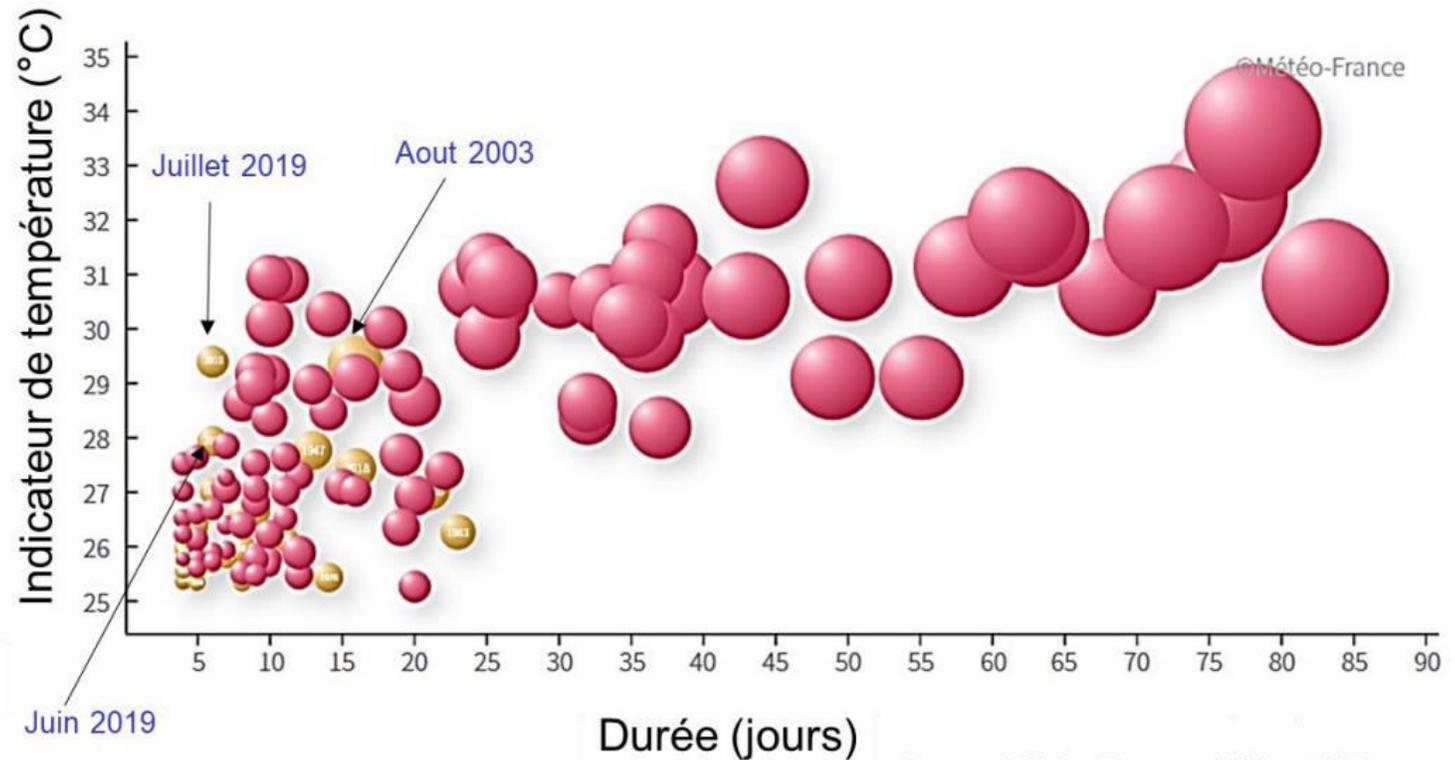
Le changement climatique

Les vagues de chaleur prévues vers la fin du siècle (2071-2100) sous scénario RCP 8.5 seront bien plus sévères que celle de 2003



Dans un futur plus lointain (au-delà de 2050) la vague de chaleur de 2003 est considérée comme normale.

Les vagues de chaleur deviennent de plus en plus fréquentes, longues et intenses **et ceci indépendamment de l'îlot de chaleur urbain.**



Source Météo-France / Climat HD 21

Organisation des travaux RE2020

TRAVAUX PRÉPARATOIRES

Contributions écrites des acteurs (ayant une expertise à apporter sur les sujets techniques)

15 Groupes d'EXPERTISE
(analyse objective de sujets techniques)

Retours d'expérience de l'expérimentation

(difficultés rencontrées, analyse de l'observatoire, travaux complémentaires de modélisation)



CONCERTATION

4 Groupes de CONCERTATION
(expression des positions des acteurs)
+ CSCEE

(dès le premier trimestre 2019)

Propositions sur :

1. la méthode de calcul
2. la production des données
3. les exigences
4. les outils d'accompagnement
(pour préparer les acteurs à la mise en vigueur de la future réglementation)

Arbitrages de l'État

→ **Élaboration de la RE2020**

Communiqué de presse 18/02/21

Avec la RE2020, le Gouvernement poursuit trois objectifs principaux :

- donner la priorité à la sobriété énergétique et à la décarbonation de l'énergie ;
- diminuer l'impact carbone de la construction des bâtiments ;
- en garantir le confort en cas de forte chaleur.

Calendrier :

- Entrée en vigueur au 1/01/22 pour les logements
- Juillet 2022 pour les bureaux et enseignement
- Date encore plus tardive pour les autres tertiaires



Textes réglementaires



Exigences

- Décret n°2121-1004 du 29/07/2021
 - (1) MI&IC
 - (1b) – BUR&ENS
 - (2) – autres TER
- Arrêté du 4/08/2021

Données environnementales

- Décret déclaration environnementale
- Arrêté déclaration environnementale
- Arrêté Vérification

Méthodes

- Arrêté du 4/08/2021
 - Annexe II : Règles générales
 - Annexe III : Méthode de calcul « Th-BCE 2020 »
 - Annexe IV : Règles « Th-Bat 2020 »

Attestations

- Décret Attestations
- Arrêté Attestations

Les différences entre RT2012 / E+C- / RE2020

Indicateur	RT 2012	E+C-	RE2020
Statut	Réglementation (Depuis 2011)	Expérimentation (depuis fin 2016)	Réglementation (à partir de janvier 2022)
Surface de référence	Sref (Srt)	Srt pour E+ SDP C-	Shab en logement SU autres usages (dont bureaux)
Besoins bioclimatique (Bbio)	Besoins de froid comptés uniquement pour les bâtiments CE2 dans le Bbiomax et climatisés pour Bbio		Besoins de froid comptés systématiquement
Indicateurs Energie	Cep	BilanBEPOS	Cep,nr et Cep
Postes de consommation	Chauffage Refroidissement Eau chaude sanitaire Eclairage Auxiliaires	Chauffage Refroidissement Eau chaude sanitaire Eclairage Auxiliaires Mobiliers Immobiliers	Chauffage Refroidissement Eau chaude sanitaire Eclairage Auxiliaires Parking (éclairage et ventilation) Eclairage des parties communes Ascenseurs ; escalators
Electricité produite	En négatif x 2,58 dans une limite de 15kWhep/m ² .an en logements	Autoconsommable : effacé Complément : En négatif x 1 (bonus E3/E4)	Autoconsommable : effacé Export : x 0
Indicateurs Confort d'été	Tic (°C)	Tic (°C)	Degré-heure (°C.h)
Indicateurs carbone	-	EGES PCE EGES Global	Icenergie Icconstruction
Calcul carbone	-	ACV Statique	ACV dynamique

Champs d'application



DECRET/ARRETE 1 :

Habitation

Bureaux

**Enseignement primaire
et secondaire**

DECRET/ARRETE 2 ?

Crèche

Universités et bâtiments de
recherche

Hôtels

Restaurants

Commerces

Équipements sportifs

Établissements de santé

EHPAD, EHPA

Bâtiments à usage industriel et
artisanal

Salles polyvalentes

Médiathèques



I.1.Art.1

Musées

Salles de spectacle

Piscines

Établissements pénitentiaires

Gares routières et ferroviaires

Tribunaux et palais de justice

Aérogares

Bâtiments situés dans les départements
d'outre-mer

Dates d'application

Publication des textes prévisionnelles

Décret 28/07/2021
Résidentiel

Bureaux et enseignement
primaire & Secondaire

Autres tertiaires

2021

2022

2023

2024

01/01



Résidentiel

01/07



Bureaux et enseignement
primaire & Secondaire

Autres tertiaires

Dates d'application

RE2020 : Exigences de résultats

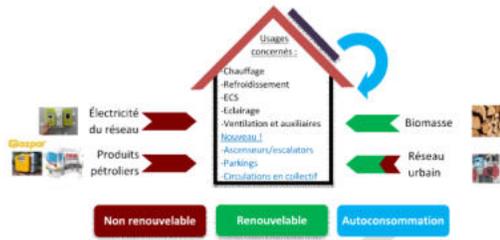
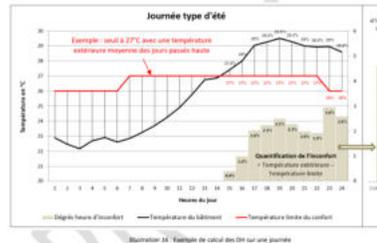


Illustration 8 : Synthèse des flux énergétique pris en compte par la RE2020

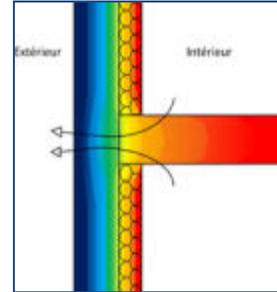


Energie	Bbio [points]	Besoins bioclimatiques	Evaluation des besoins de chaud , de froid (que le bâtiment soit climatisé ou pas) et d'éclairage .	EVOLUTION
	Cep [kWhep/(m ² .an)]	Consommations d'énergie primaire totale	Evaluation des consommations d'énergie renouvelable et non renouvelable des 5 usages RT 2012 : chauffage, refroidissement, eau chaude sanitaire, éclairage, ventilation et auxiliaires + 1. éclairage et/ou de ventilation des parkings 2. éclairage des circulations en collectif 3. électricité ascenseurs et/ou escalators	EVOLUTION
	Cep,nr [kWhep/(m ² .an)]	Consommations d'énergie primaire non renouvelable		NOUVEAU
Carbone	Ic_{énergie} [kg eq. CO ₂ /m ²]	Impact sur le changement climatique associé aux consommations d'énergie primaire	Introduction de la méthode d'analyse du cycle de vie pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des énergies consommées pendant le fonctionnement du bâtiment, soit 50 ans .	NOUVEAU
	Ic_{construction} [kg eq. CO ₂ /m ²]	Impact sur le changement climatique associé aux « composants » + « chantier »	Généralisation de la méthode d'analyse du cycle de vie pour l'évaluation des émissions de gaz à effet de serre des produits de construction et équipements et leur mise en œuvre : l'impact des contributions « Composants » et « Chantier ».	NOUVEAU
Confort d'été	DH [°C.h]	Degré-heure d'inconfort : niveau d'inconfort perçu par les occupants sur l'ensemble de la saison chaude	Évaluation des écarts entre température du bâtiment et température de confort (température adaptée en fonction des températures des jours précédents, elle varie entre 26 et 28°C).	NOUVEAU

RE2020 : Exigences de moyens



Traiter la perméabilité à l'air en résidentiel *



Traiter les ponts thermiques

Suivre la consommation réelle d'énergie du bâtiment (ou estimation en résidentiel)



Mettre en place des protections solaires*

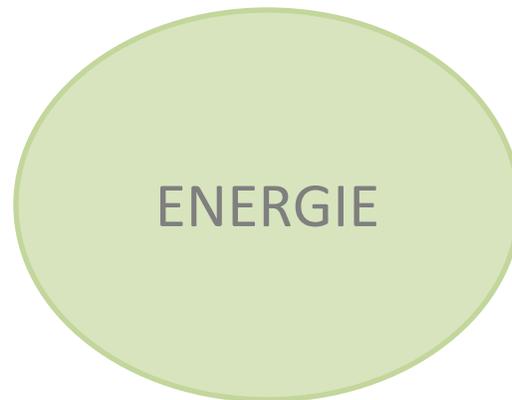


Système de ventilation vérifié en logements



Mettre en place d'une quantité suffisante de surfaces vitrées en résidentiel (~1/6 SHAB) *

Indicateurs ENERGIE



exigence



exigence

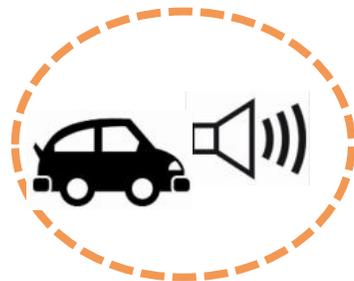


exigence



exigence

Coefficients de modulation Bbio

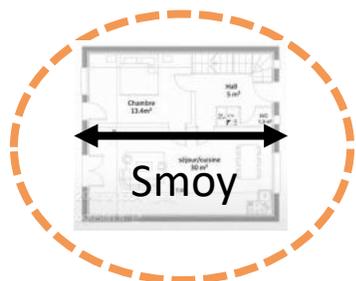


Bbiomax

Chaud

Froid

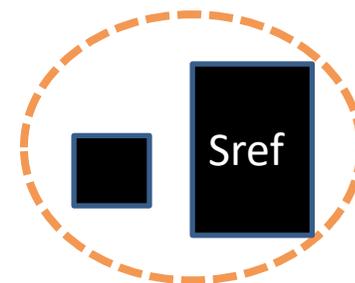
Eclairage



63 points



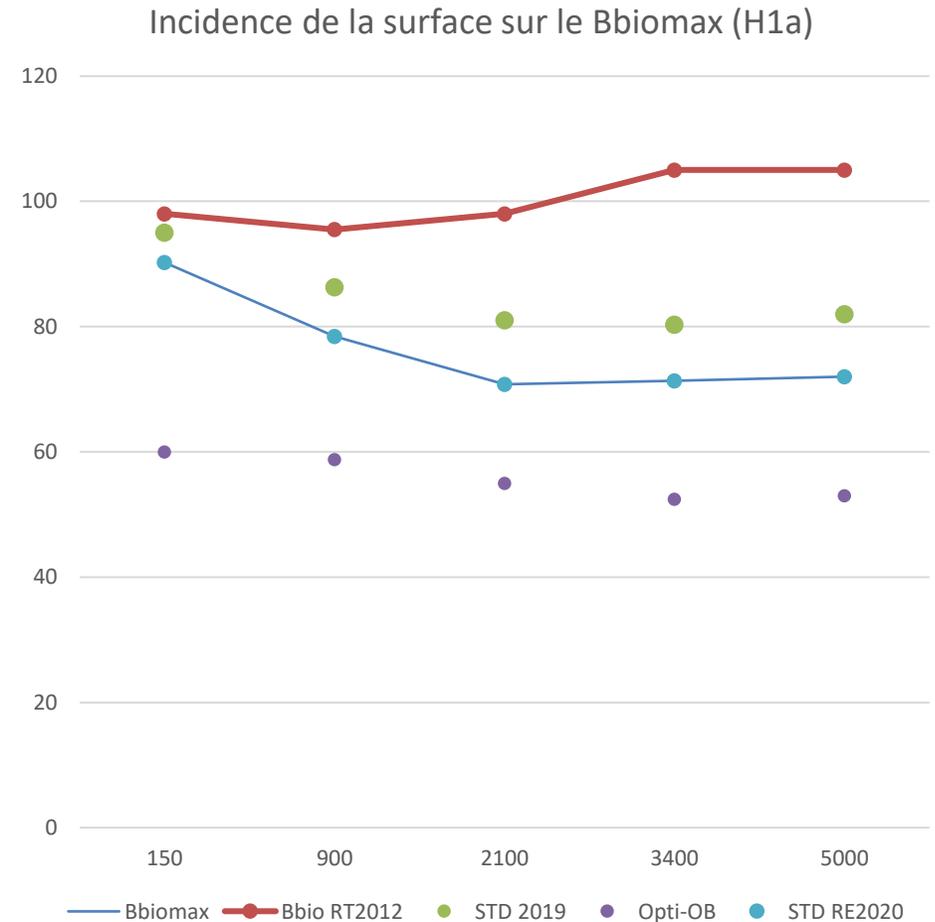
65 points



Incidence technique - Isolation

→ Renforcement de l'isolation considérable, via l'exigence Bbiomax RE2020 :

	Bbiomax RT2012	Standard 2019	Bbiomax RE2020
Murs	R=2,5 8cm $\lambda=0,032$	R=3,12 10cm $\lambda=0,032$	R=4,35 14cm $\lambda=0,032$
Toiture terrasse	R=4,5 10cm $\lambda=0,022$	R=6,3 14cm $\lambda=0,022$	R=6,3 14cm $\lambda=0,022$
Plancher bas	R=4,5 15cm sous dalle $\lambda=0,032$	R=4,5 15cm sous dalle $\lambda=0,032$	R=4,5 + R=2,2 15cm sous dalle + 6cm sous chape $\lambda=0,032$
Baies	Uw=1,4 / Sw=0,42 / Tlw=0,5	Uw=1,4 / Sw=0,42 / Tlw=0,5	Uw=1,4 / Sw=0,45 / Tlw=0,58
Ponts thermiques	L9=0,6	L9=0,6	L9=0,6



Exemple Bbiomax en Immeuble collectif



Collectif

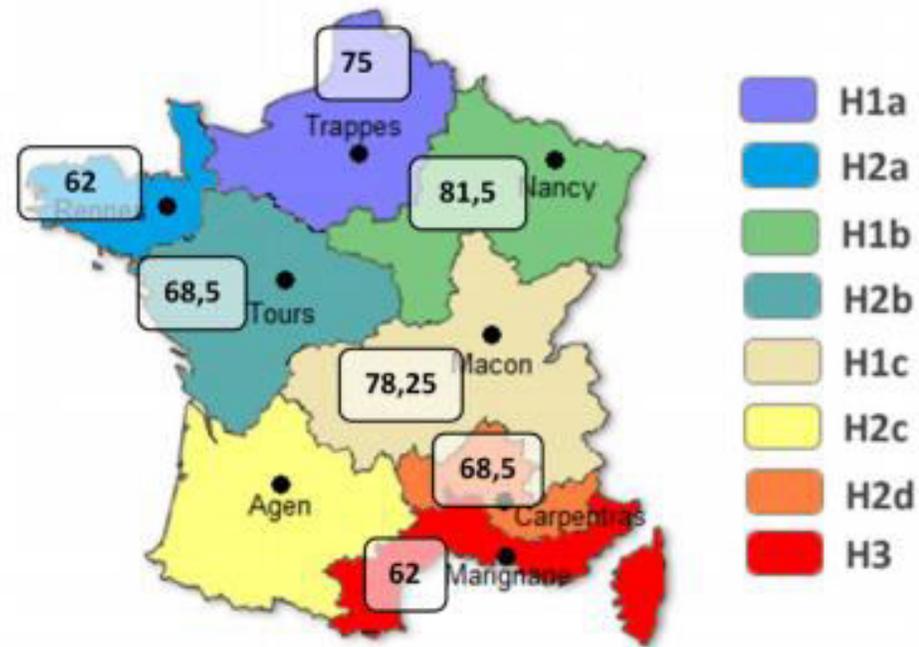
Srt = 1 000 m²

Nb de logement : 20

Altitude < 400 mètres

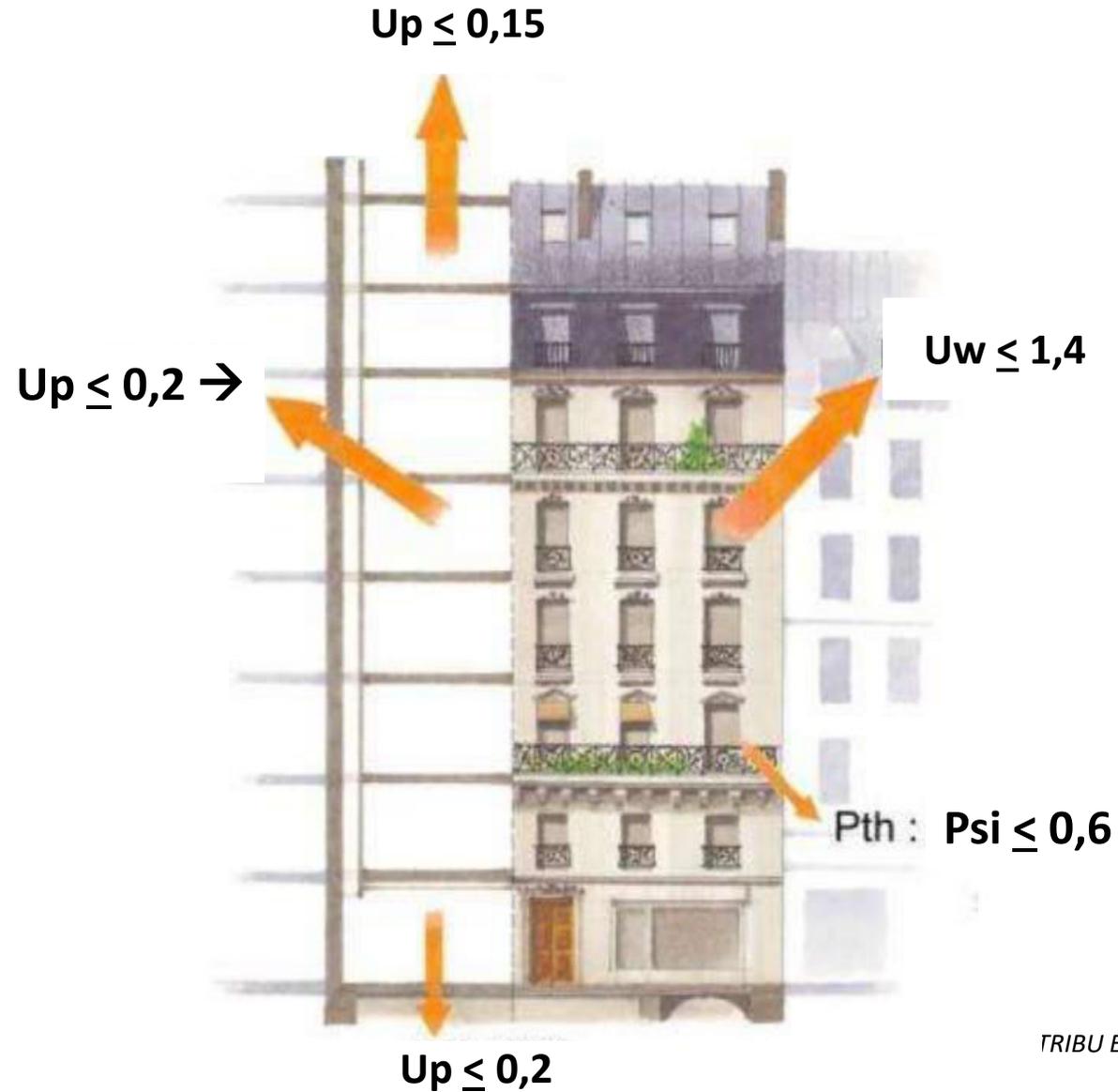
Pas de surface de
plancher < 1,8 mètre

Exposition au bruit :
Aucune (classe Br1)



Source : Guide RE2020

Bbio & bâtiment en pierres



Coefficients de modulation Cep



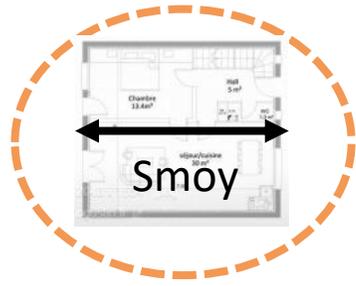
Cep_{max}
Chauffage ; ECS ;
éclairage ;
refroidissement ;
auxiliaires ;
déplacements ; parking ;
ecl parties communes



2,3



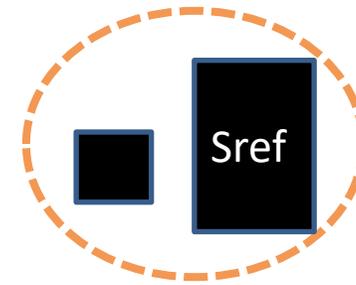
1



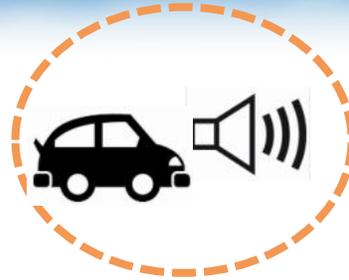
75 kWhep/m².sref



85 kWhep/m².sref



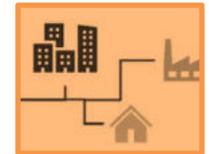
Coefficients de modulation Cep,nr



2,3

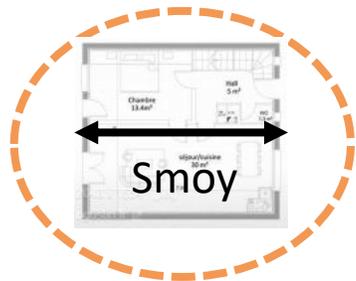


0



1-Tenr

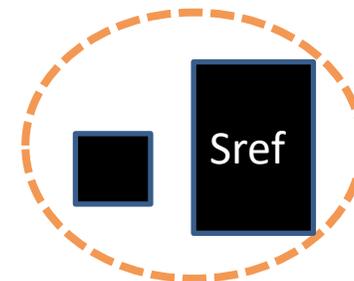
Cep,nr^{max}
Chauffage ; ECS ;
éclairage ;
refroidissement ;
auxiliaires ;
déplacements ; parking ;
ecl parties communes



55 kWhep/m².sref



70 kWhep/m².sref



1

Exemple Cep/Cep,nr max en Immeuble collectif



Collectif

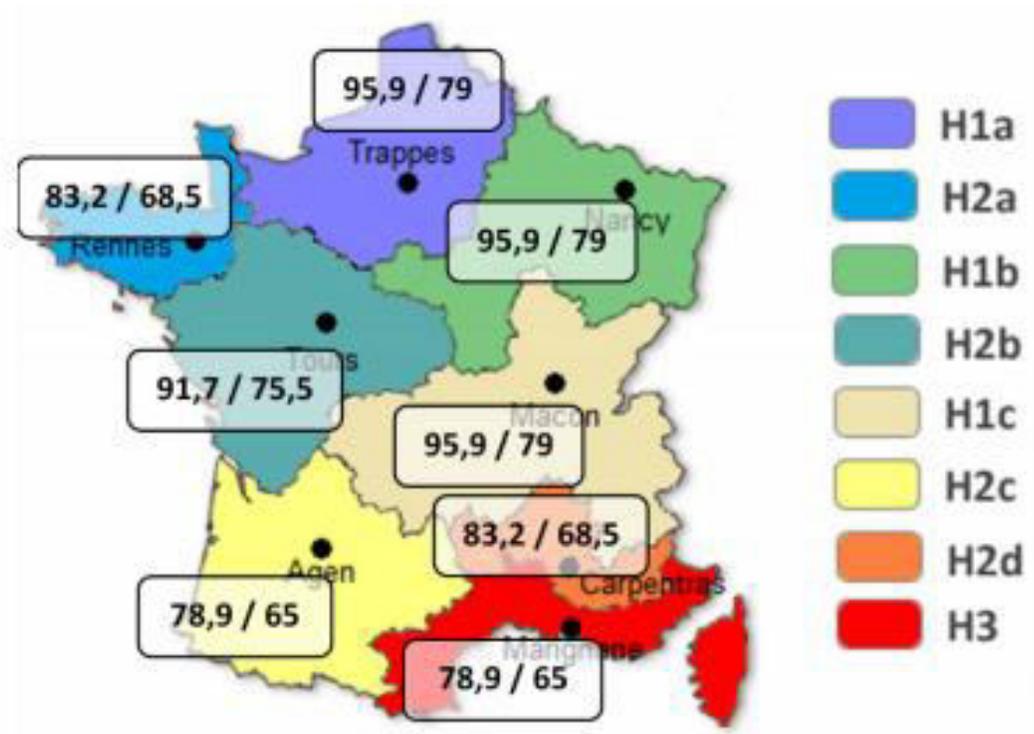
Srt = 1 000 m²

Nb de logement : 20

Altitude < 400 mètres

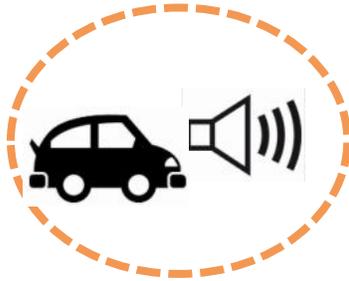
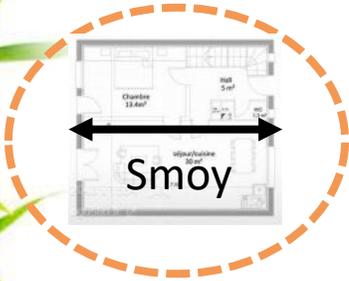
Pas de surface de
plancher < 1,8 mètre

Exposition au bruit :
Aucune (classe Br1)

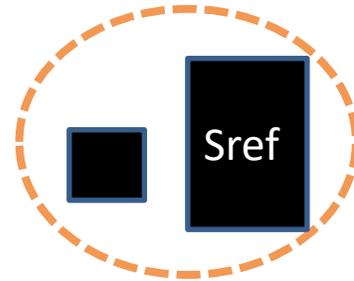


Source : Guide RE2020

Coefficients de modulation Icénergie



Icénergie_{max}
 Chauffage ; ECS ;
 éclairage ;
 refroidissement ;
 auxiliaires ;
 déplacements ; parking ;
 ecl parties communes



160kgCO₂/m².50ans



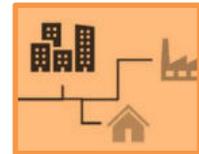
kgCO ₂ /m ² .50ans	2022 à 2024	2025 à 2027	>2028
raccordés à un réseau de chaleur urbain	560	320	260
autres cas	560	260	260



64-79g/kWh



30g/kWh



DPE

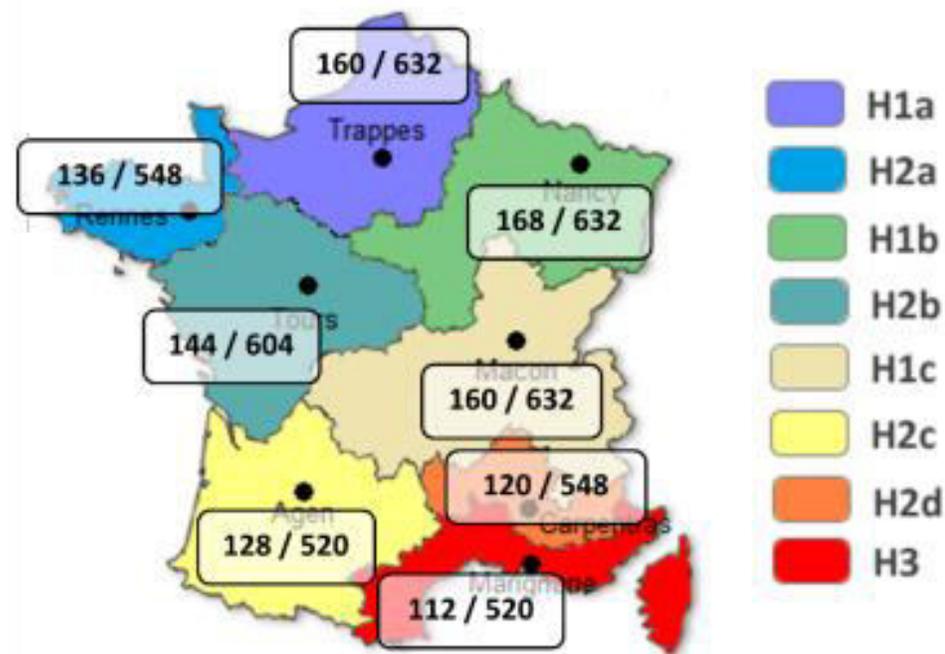


227g/kWh

Exemple Icénergie max en maison/collectif



Exigences pour un permis déposé au 1^{er} janvier 2022
MI / Collectif



Source : Guide RE2020

IC 14 logements : Synthèse 2022-2025

	Cep	Cep,nr	Icénergie
Gaz indiv	✓	✓	✓
Gaz coll + CET coll	! Opti ITI en H2b ✓ H1a et H3	! Opti ITI en H1a, H2b ✓ H3	✓
Gaz coll + CESC	✓	✓	✓
Effet Joule + CET indiv + PV	! Opti ITI en H1a, H2b H3 ✓ H3	! Opti MOB en H3 ✗ H1a, H2b	✓
Effet Joule + CET coll + PV	! Opti MOB en H2b ✓ H3 ✗ H1	! Opti MOB en H3 ✗ H1a, H2b	✓
PAC DS	✓	✓	✓
PAC TS	✓	! Opti ITI en H1a, H2b ✓ H3	✓
RCU 0% (0,227 gCO2/kWh)	✓	! Opti ITI/MOB en H1a, H2b et H3	✓
RCU 50% (0,1 gCO2/kWh)	✓	✓	✓
RCU 70% (0,05 gCO2/kWh)	✓	✓	✓

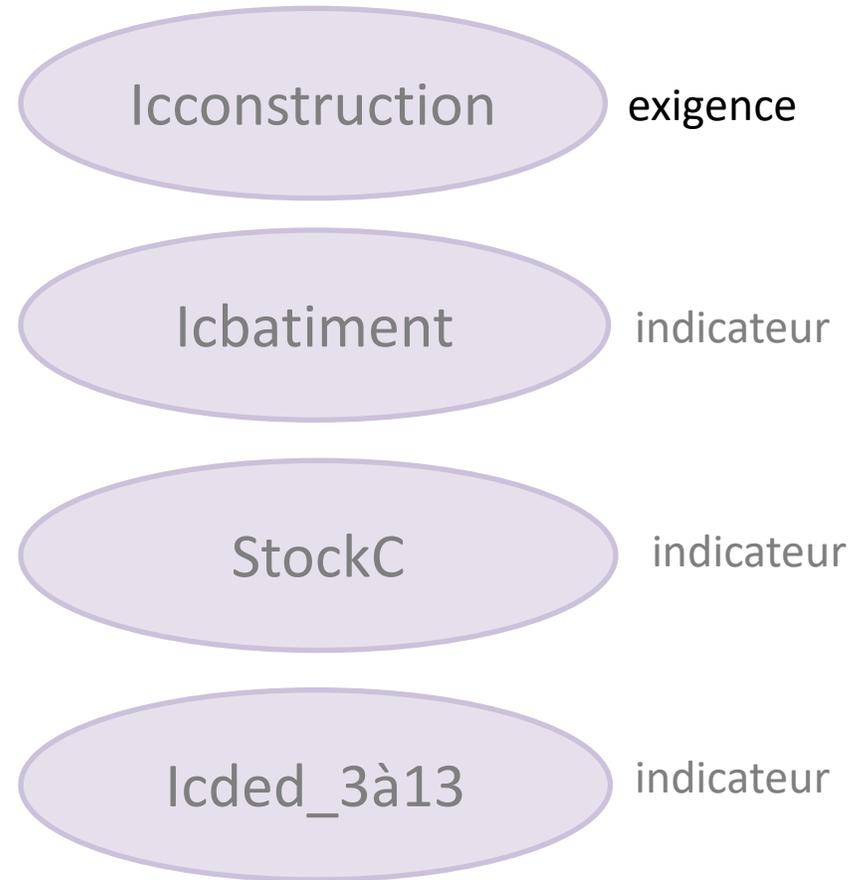
IC 14 logements: Synthèse >2025

	Cep	Cep,nr	Icénergie
Gaz indiv	✓	✓	✗
Gaz coll + CET coll	! Opti ITI en H2b ✓ H1a et H3	! Opti ITI en H1a, H2b ✓ H3	✓
Gaz coll + CESC	✓	✓	✗ En H1a et H2b ! STD H3
Effet Joule + CET indiv + PV	! Opti ITI en H1a, H2b H3 ✓	! Opti MOB en H3 ✗ H1a, H2b	✓
Effet Joule + CET coll + PV	! Opti MOB en H2b ✓ H3 ✗	! Opti MOB en H3 ✗ H1a, H2b	✓
PAC DS	✓	✓	✓
PAC TS	✓	! Opti ITI en H1a, H2b ✓ H3	✓
RCU 0% (0,227 gCO2/kWh)	✓	! Opti ITI/MOB en H1a, H2b et H3	✗
RCU 50% (0,1 gCO2/kWh)	✓	✓	✓
RCU 70% (0,05 gCO2/kWh)	✓	✓	✓

Indicateurs Carbone



CARBONE



Indicateurs Carbone



	Inclus	Exclus
Temporel	<ul style="list-style-type: none">▶ Fabrication des composants du bâtiment▶ Chantier de construction et de terrassement▶ L'utilisation du bâtiment et sa maintenance▶ La déconstruction ou démolition du bâtiment	<ul style="list-style-type: none">▶ Démolition préalable à la construction▶ Dépollution et remise en état de la parcelle
Physique	<ul style="list-style-type: none">▶ Tous les éléments du permis de construire : bâtiment et parcelle*▶ Les usages de l'énergie de la méthode de calcul énergétique▶ Les usages de l'eau prévus par le permis de construire	<ul style="list-style-type: none">▶ Les déplacements des acteurs du chantier▶ Les déplacements des usagers▶ Les déchets d'activités▶ Les équipements mobiliers

* Dans le calcul des indicateurs de la RE 2020, on ne compte pour la parcelle que les parkings aériens et réseaux

Source : Guide RE2020

Exigence Carbone



Icconstruction

=

Iccomposant

+

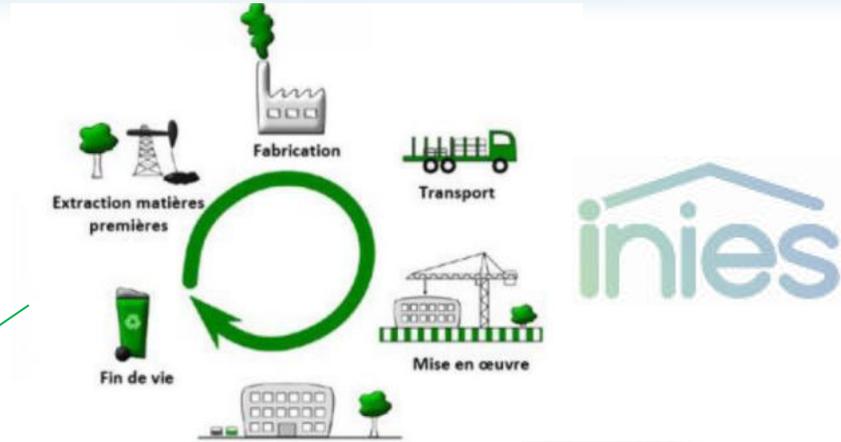
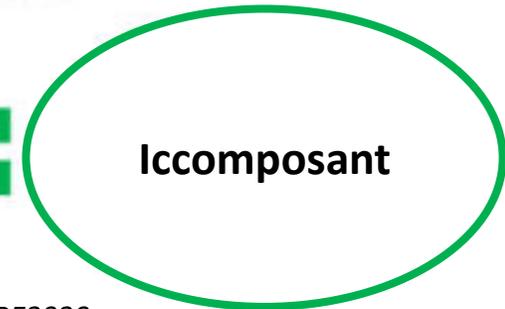
Icchantier



Iccomposant : calcul ACV

Durée de vie du bâtiment : 50ans

Saisie par le modélisateur



Source : guide RE2020



lccomposant : ACV dynamique

ACV statique: La date d'émission des GES n'est pas prise en compte dans le calcul de l'impact sur le changement climatique.

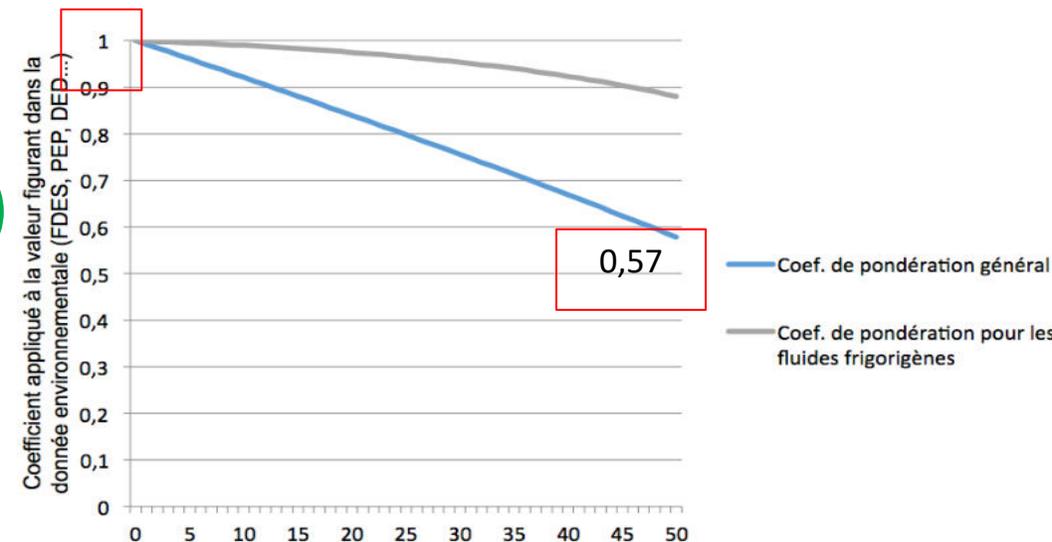


ACV dynamique: Pondération des émissions de GES en fonction de l'année d'émission

→ Ainsi, plus une émission a lieu tôt, plus son impact est important sur le potentiel de réchauffement climatique ; plus elle est tardive, plus son impact est faible



La distinction ne s'applique qu'au calcul des impacts des GES sur le réchauffement climatique



lccomposant : Données environnementales



Résumé des différents types de fiches



Niveau de détail		
Méthode détaillée	DED (Données environnementales par défaut)	Ce sont des valeurs par défaut. Elles sont établies par le CSTB sur la base de FDES/PEP quand elles existent
	FDES/PEP spécifiques	Collectives FDES/PEP réalisées par une organisation professionnelle pour une famille de produit (ex : laine de verre de résistance thermique R=XX)
		Individuelles Propre à un produit en particulier (ex : laine de verre de marque X et de modèle Y) ou gamme de produit pour les PEP

Valeurs forfaitaires possibles pour les lots 8.1 ; 9 ; 10.

RE2020 – ACV dynamique

Exemple :

Cas 1 : Bois 1 m³

(Poutre en bois lamellé taillée fabriquée en France)

ACV statique:

- Etape de production: -559 kg CO₂ eq.
- Etape du processus de construction : 24,7 kg CO₂ eq.
- Etape d'utilisation : 0 kg CO₂ eq.
- Etape de fin de vie : 638 kg CO₂ eq.
- **Total cycle de vie: 104 kg CO₂ eq.**

ACV dynamique :

- Etape de production: -559 kg CO₂ eq.
- Etape du processus de construction : 24,7 kg CO₂ eq.
- Etape d'utilisation : 0 kg CO₂ eq.
- Etape de fin de vie : 364 kg CO₂ eq.
- **Total cycle de vie: -170 kg CO₂ eq.**

X 0,57

Cas 2 : Acier 1 kg

(Poutrelle en acier utilisée comme élément d'ossature)

ACV statique:

- Etape de production: 1,41 kg CO₂ eq.
- Etape du processus de construction : 0,16 kg CO₂ eq.
- Etape d'utilisation : 0 kg CO₂ eq.
- Etape de fin de vie : 0,043 kg CO₂ eq.
- **Total cycle de vie: 1,61 kg CO₂ eq.**

ACV dynamique

- Etape de production: 1,41 kg CO₂ eq.
- Etape du processus de construction : 0,16 kg CO₂ eq.
- Etape d'utilisation : 0 kg CO₂ eq.
- Etape de fin de vie : 0,025 kg CO₂ eq.
- **Total cycle de vie: 1,60 kg CO₂ eq.**

X 0,57



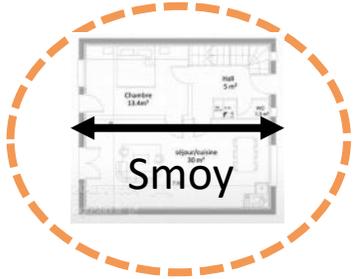
Coefficients de modulation Icconstruction

VRD



Icconstruction_{max}

DED



	2022 à 2024	2025 à 2027	2028 à 2030	> 2031
	640	530	475	415
	740	650	580	490

kq éq. CO2/m²



Exemple Icconstruction max en immeuble collectif



Collectif

Srt = 1 000 m²

Nb de logement : 20

Altitude < 400 mètres

Pas de surface
de plancher < 1,8 mètre

Ic_lot1 ≤ 10 kg éq.CO₂/m²

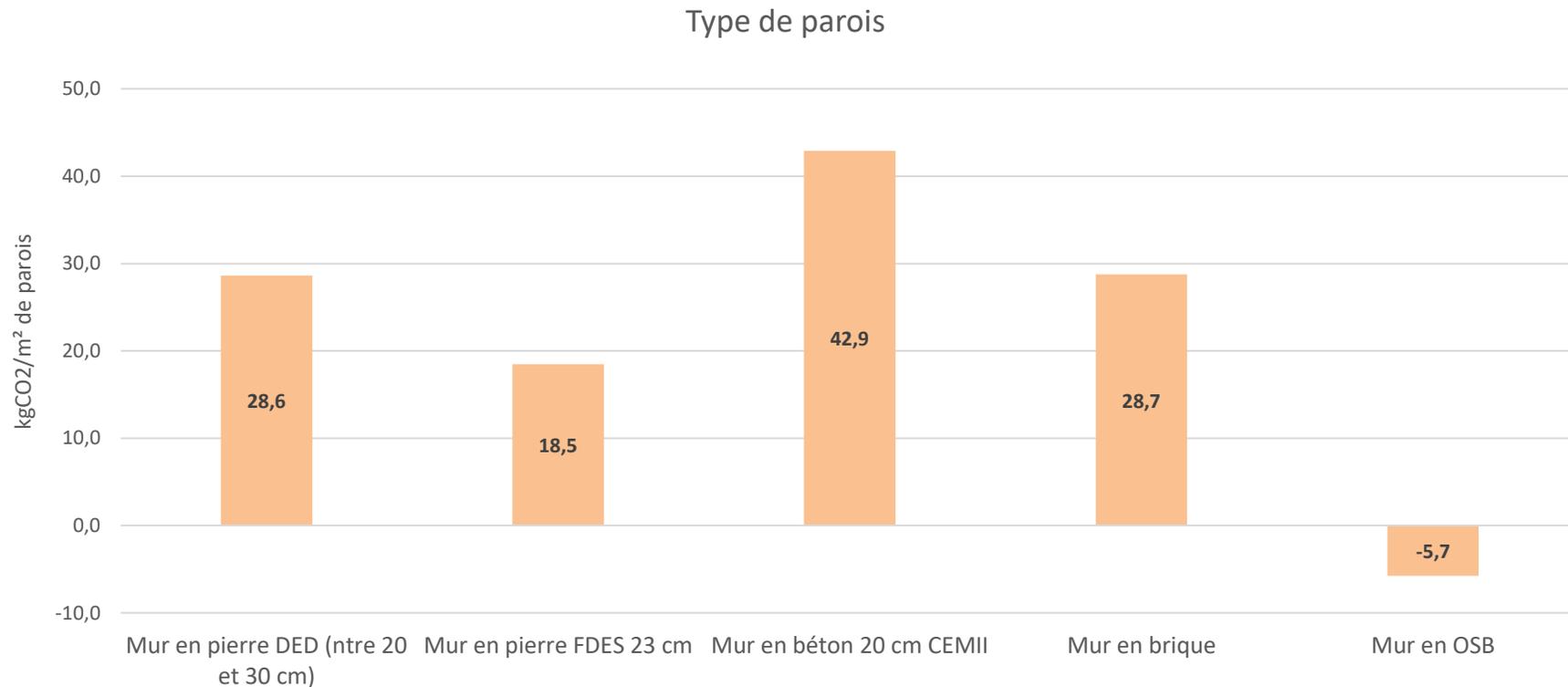
Ic_lot2 ≤ 40 kg éq.CO₂/m²

Ic_(ded-3à13) ≤ 250 kg éq.CO₂/m²



Source : Guide RE2020

Ic construction & bâtiment pierres



Les valeurs affichées ci-dessus sont les impacts pour 1 m² de parois. Afin de voir la différence à l'échelle d'un bâtiment il faut appliquer la part de surface de façade par rapport à la surface habitable (45 % en logement).

Indicateurs CONFORT d'ETE



CONFORT
D'ETE

DH

exigence

DH : Le nombre de degrés-heures d'inconfort estival, évalué pour chaque partie de bâtiment thermiquement homogène, est exprimé en °C.h, et noté DH. Il exprime la durée et l'intensité des périodes d'inconfort dans le bâtiment sur une année, lorsque la température intérieure est supposée engendrer de l'inconfort.

RE2020 - Confort adaptatif

Notion de confort adaptatif :

On somme sur toute l'année l'intensité de l'inconfort pondérée par le nombre d'heures en inconfort → on calcule pour chaque heure :

- La température limite de confort
- La température opérative
- La différence entre ces 2 températures

Les degrés-heure d'inconfort s'expriment en heures

Conventionnellement la RE2020 fixe le seuil d'inconfort consensuel à 26°C avec la possibilité de le relever jusqu'à 28°C en journée (capacité d'adaptation plafonnée à +2°C). La période de jour en été est par convention 7h-22h, sur cette période le seuil d'inconfort peut varier entre 26 et 28°C (la nuit il est fixé à 26°C).

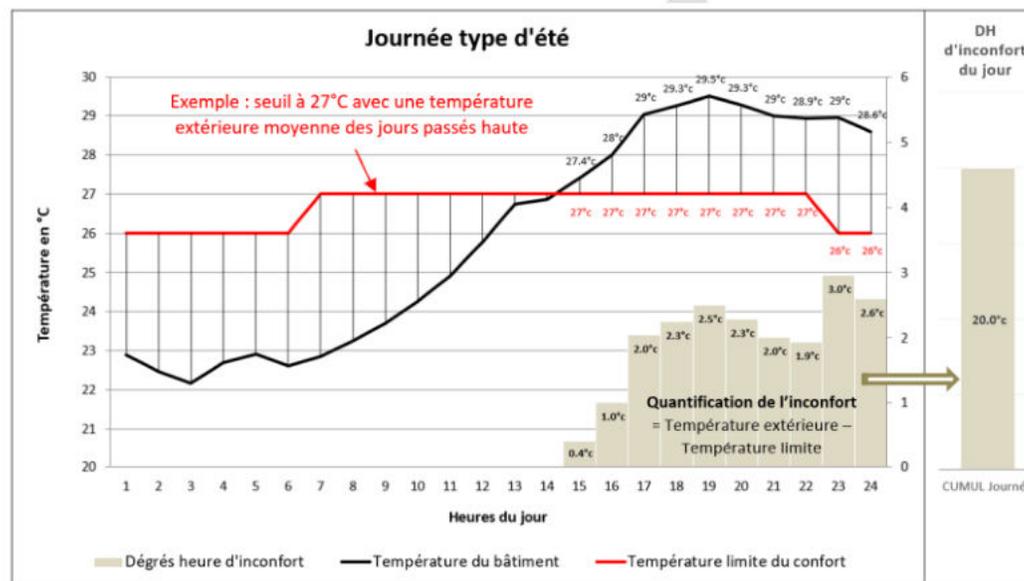


Illustration 16 : Exemple de calcul des DH sur une journée

Grands Principes Confort d'été



Source : Guide RE2020

Climatisation fictive :

Consommations calculées avec le scénario météo conventionnel et non caniculaire pour être homogène avec le calcul des consommations de climatisation réelle (calcul énergétique).

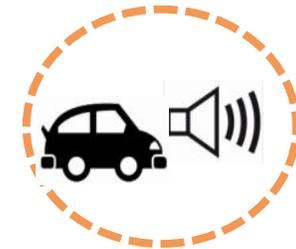
Paramètres : correspond à des valeurs Ecodesign et conventionnelles lorsque les valeurs Ecodesign sont absentes.

Confort d'été



Catégorie 1	Catégorie 2
1250	1850

DH_{max}



	Catégorie 1, sauf parties de bâtiments climatisés en zones H2d et H3	Catégorie 1 climatisé, en zone H2d et H3	Catégorie 2 (Br2 ou Br3 + H2d ou H3)
$Smoy_{lgt} \leq 20 \text{ m}^2$	1250	1600	2600
$20\text{m}^2 < Smoy_{lgt} \leq 60 \text{ m}^2$	1250	$1700 - 5 * Smoy_{lgt}$	$2850 - 12,5 * Smoy_{lgt}$
$Smoy_{lgt} > 60 \text{ m}^2$	1250	1400	2100

Incidence au fil du calendrier

SYSTEMES ENERGETIQUES



Chaudière gaz proscrite sauf dérogation (éventuellement hybride PAC/Gaz) et EJ avec beaucoup de difficultés – Il reste Pompe à chaleur ; chaudières Bois ; RCU vertueux



Toutes les solutions passent aisément. Cependant la chaudière gaz collective peut nécessiter une ENR ou un léger renforcement sur le bâti et la solution effet joule avec difficulté.

Gaz + ENR ; Bois ; RCU vertueux ; PAC ; radiateurs serveurs + CET

2022

2025

2028

2031

Toutes solutions passent

FDES/PEP+ et frugalité/matériaux et/ou béton bas carbone ; mixte construction

FDES/PEP++ et frugalité/matériaux **et** béton bas carbone ; mixte construction

FDES/PEP+++ **et** frugalité/matériaux **et** biosourcés++

MATERIAUX & EQUIPEMENTS

* Impact important de la compacité et bonus pour le réemploi considéré à 0

SURCOUT DE CONSTRUCTION

< 1%

1-5%

5-10%

>15%



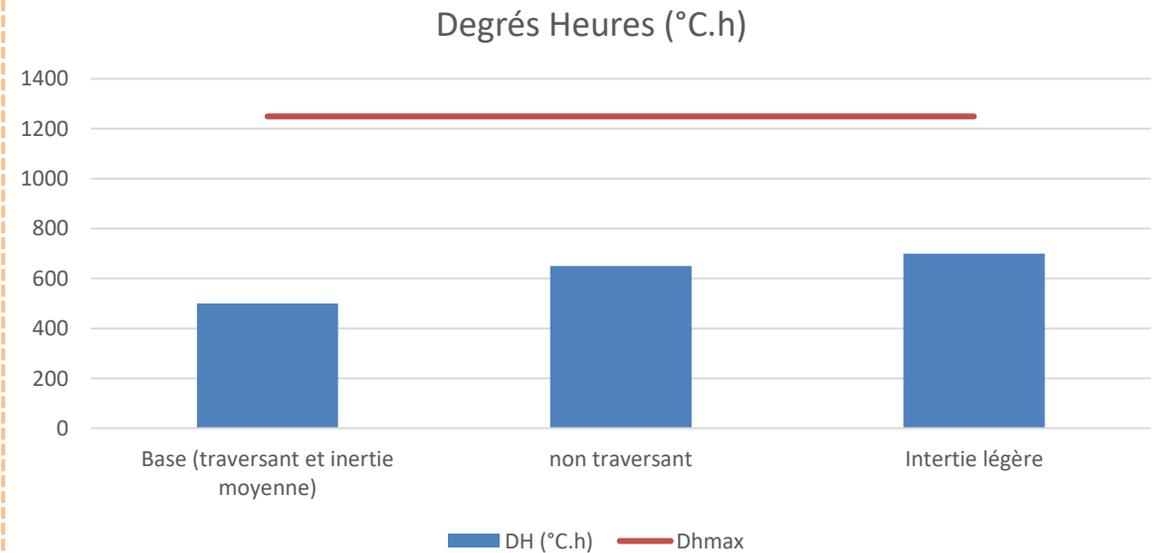
Incidences techniques en résidentiel confort d'été

Impact RE2020

- Hors zones H2d et H3, les degrés-heures ne sont pas contraignants et n'incitent pas à une conception optimisée en matière de confort d'été. Il est possible de réaliser des logements non traversants, sans inertie, sans dépasser l'exigence DHmax...
- En zones H2d et H3, très contraignants (traversants ; inertie ; brasseurs d'air... nécessaires).
- Heureusement, les exigences minimales demandent la mise en place de protections solaires minimales (type volets ; stores extérieurs ;...) sur l'ensemble des baies d'un logement.



Illustration sur un immeuble collectif en zone H1



En attente

- Parution des textes BUR/ENS ; attestations ;...
- Logiciels de calcul évalués
- Calendrier plus précis sur les autres usages



Les accompagnements des acteurs

❑ 1 / Les Outils d'accompagnement de la RE 2020

- Guide RE2020 DHUP / Cerema [Guide RE2020 DHUP / Cerema](#).
- Mallette pédagogique ADEME/AICVF <https://aicvf.org/>
- Décomposition du Prix Global et Forfaitaire - DPGF « type » - ADEME/AICVF <https://aicvf.org/>
- Fiche décryptage RE2020 – Cerema <https://www.cerema.fr/fr>
- Dossier internet – Cerema <https://www.cerema.fr/fr/actualites/RE2020>
- Webinaires RE2020 – Cerema <https://www.cerema.fr/fr/actualites/mise-oeuvre-re2020-webinaire-explications-techniques-du> et <https://www.cerema.fr/fr/actualites/webinaire-re2020-enjeux-premieres-cles-lecture-decryptage-du> et <https://www.cerema.fr/fr/actualites/webinaire-re2020-evolutions-nouveautes-nouvelle>
- Guide d'accompagnement des Bureaux d'Etudes – ADEME/AICVF <https://aicvf.org/>
- « Construire ma maison avec la RE2020 » - ADEME <https://www.ademe.fr/>
- Cahiers techniques RE2020 dans la presse professionnelle
- Plaquette « Petit Essentiel » : Réduire l'impact carbone des bâtiments <https://www.cerema.fr/fr/centre-ressources/boutique/reduire-impact-carbone-batiments>

❑ 2/ Les Formations de la maîtrise d'ouvrage et de la maîtrise d'œuvre

- MOOC "Réglementation environnementale 2020" – ADEME/CSTB <https://www.mooc-batiment-durable.fr/courses/course-v1:CSTB+2021MOOCBAT03+SESSION01/about>
- la Formation multimodale "Réglementation environnementale 2020" – ADEME en format e-learning [La RE2020 et l'accompagnement des acteurs en bref : « quels outils, quelles formations ? » - Le site "www.RT-bâtiment.fr" devient le site "RT-RE-bâtiment" \(rt-batiment.fr\)](#)



Supports mis à disposition de la profession :



La pierre massive
au défi de
la réglementation
environnementale
2020

PRÉSENTATION DE LA THÈSE

« La pierre naturelle dans un contexte d'évolution réglementaire environnementale de la construction, étude des transferts hygrothermiques au sein de composants d'enveloppes de bâtiments »

13^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021

Tristan PESTRE
Chef de projet CTMNC



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC

PRÉAMBULE

Convention Industrielle de Formation par la Recherche, co-financement Association Nationale de la Recherche et de la Technologie et CTMNC

CTMNC

Centre Technique de Matériaux Naturels de Construction

Missions

Normalisation
Qualité
Veille technologique
Informations techniques
R&D

Implantation

Paris
Clamart
Limoges



LGCgE

Laboratoire de génie civil et géo-environnement

Équipes de recherche

Modélisation des problèmes couplés
Matériaux innovants
Matériaux Béton & Composites
Écosystèmes terrestres
Habitat et ville intelligente

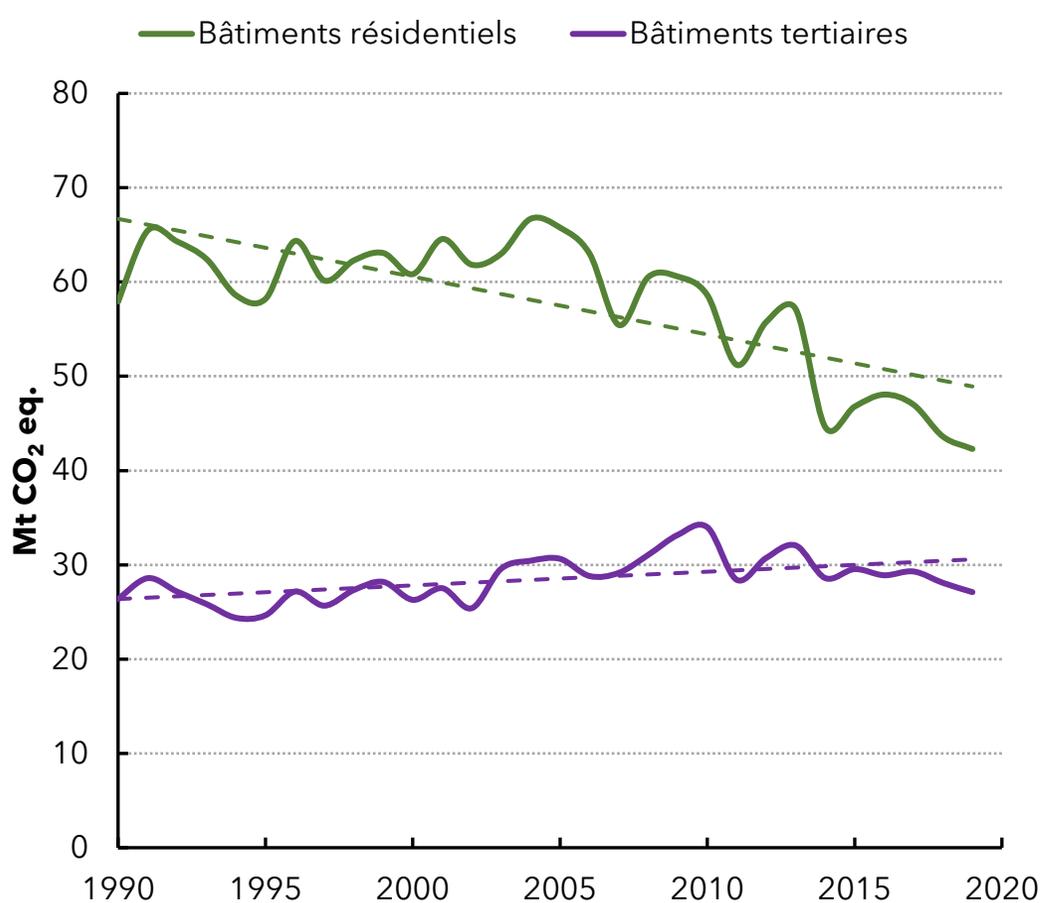
Implantation

Béthune
Lille
Douai

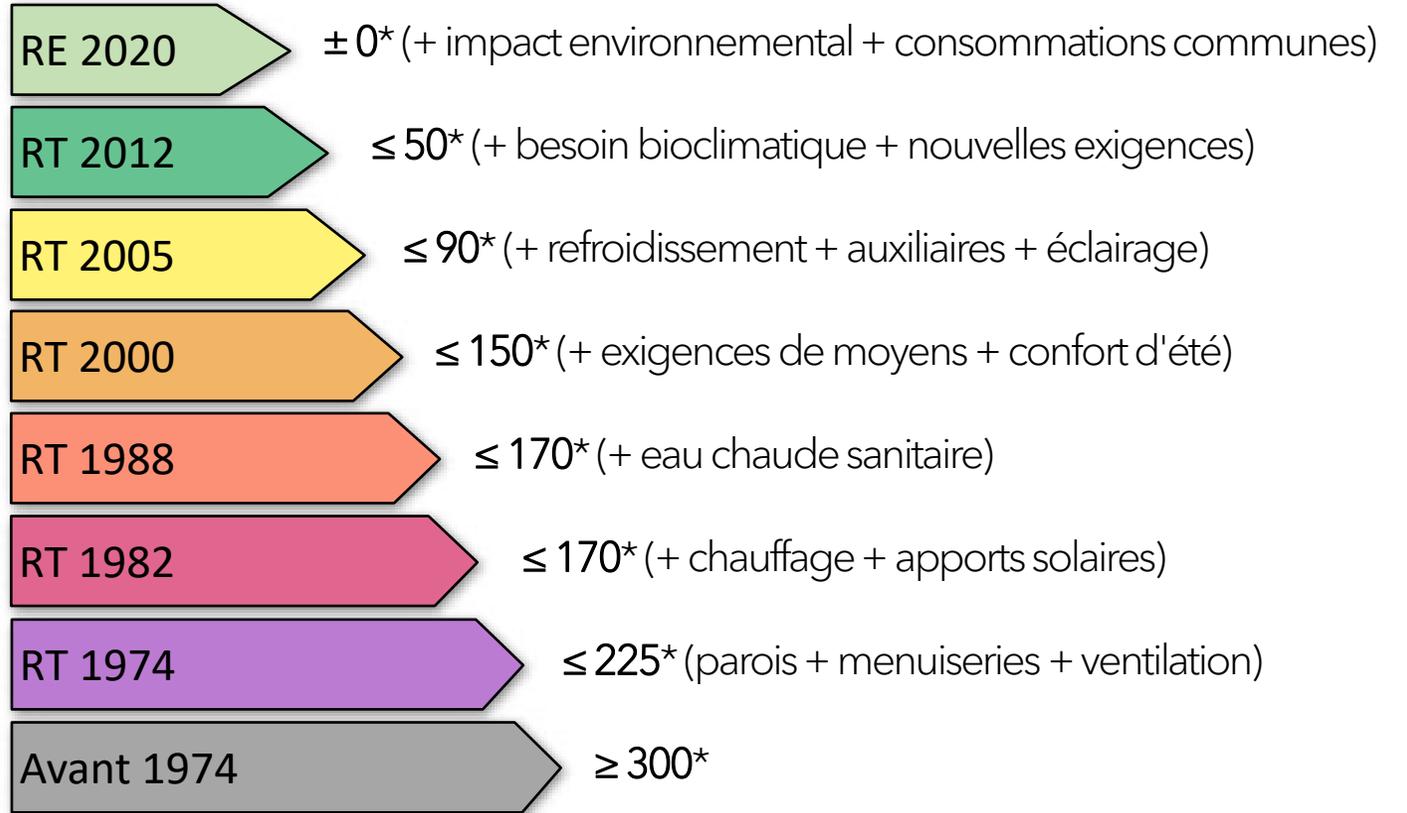


CONTEXTE ET ENJEUX

Émissions de GES pour les 5 usages



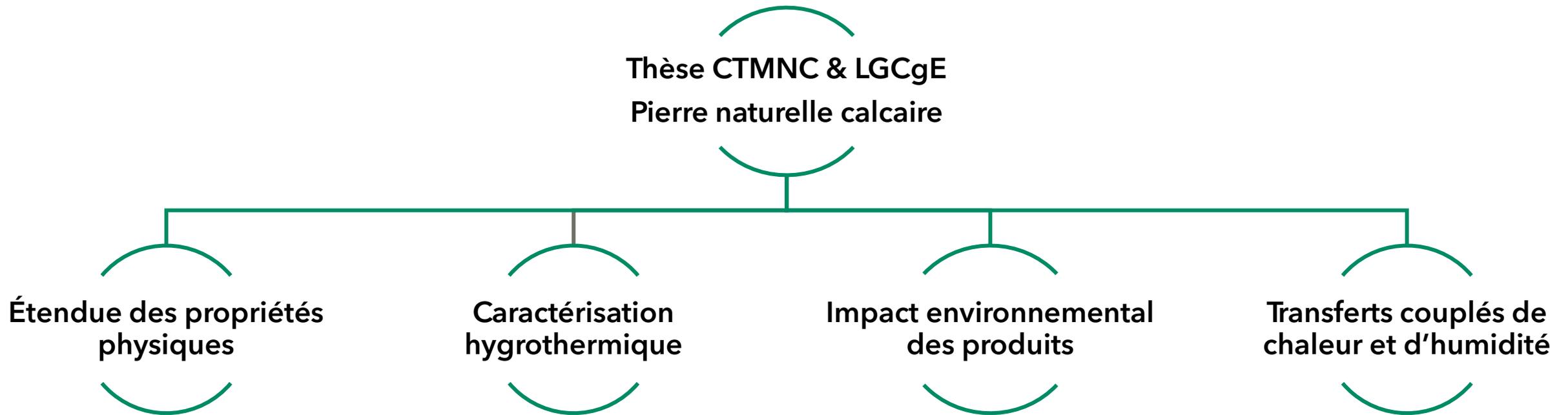
Source: CITEPA 2021



*Consommations moyennes (approximations) en kWh_{EP}/(m².an)

PROBLÉMATIQUE ET APPROCHE DES RECHERCHES

La pierre naturelle est-elle adaptée à la construction de bâtiments énergétiquement performants et à faible impact environnemental ?



PLAN

La pierre naturelle

Propriétés hygrothermiques des calcaires

Performance énergétique des enveloppes

Impact environnemental des maçonneries en pierre

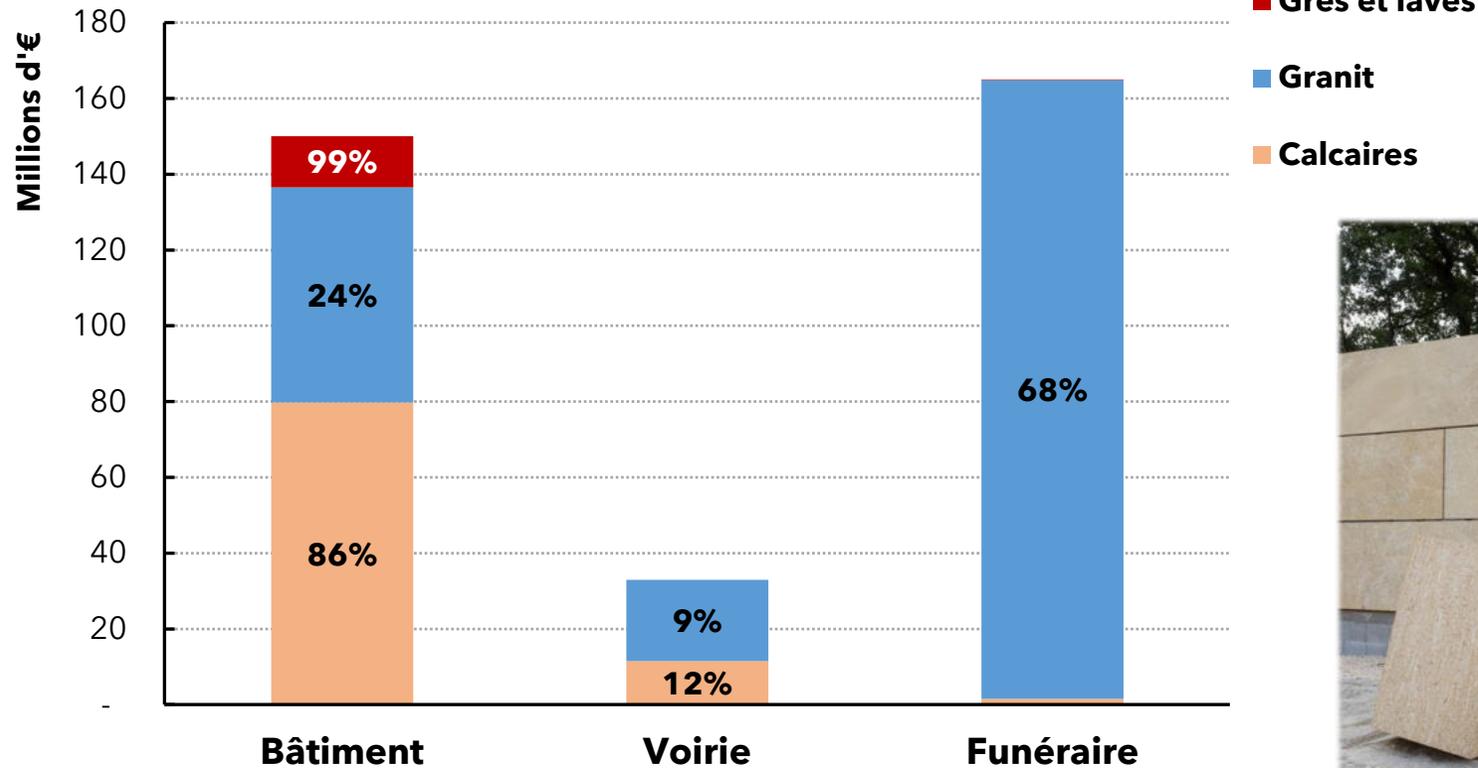
Défi relevé ?



LA PIERRE NATURELLE

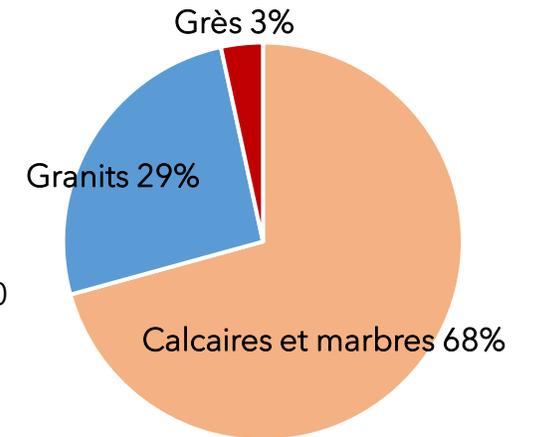
La filière des Roches Ornementales et de Construction

Utilisation des produits par types de pierres et par secteurs
(CA HT)



Volumes extraits

Source : Unicem 2020



LA PIERRE NATURELLE (CALCAIRE)

Étendue des propriétés physico-mécaniques

Lithoscope® CTMNC, base de données en ligne, 60 calcaires

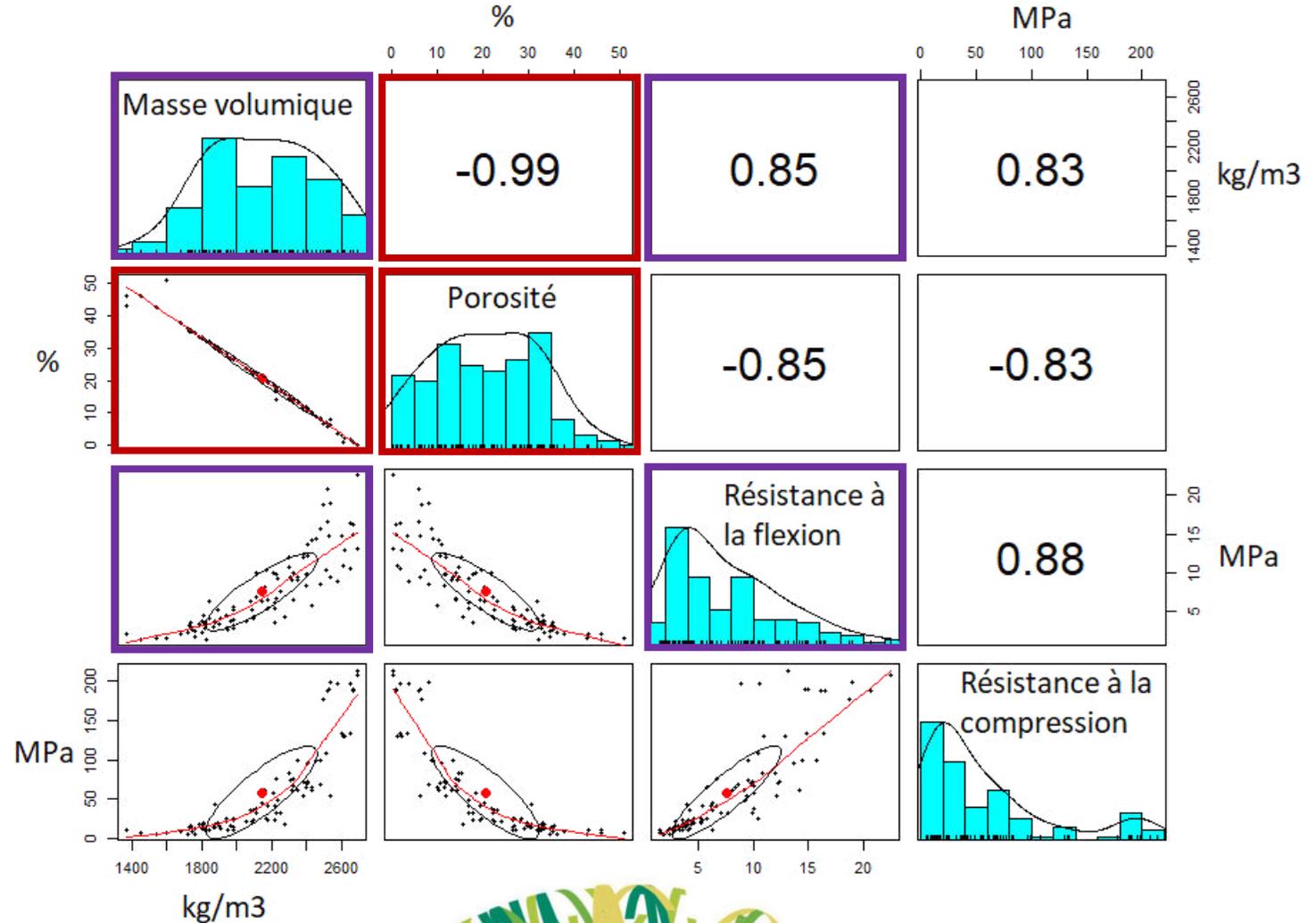
Étude sur essais du CTMNC \approx 120 calcaires, plusieurs années (450 lignes)

Exemples :

$$n_{ouverte} \approx -0,0368 \times \rho_{apparente} + 99,36$$

$$R_{compression} \approx 0,07 \times 1,003 \rho_{apparente}$$

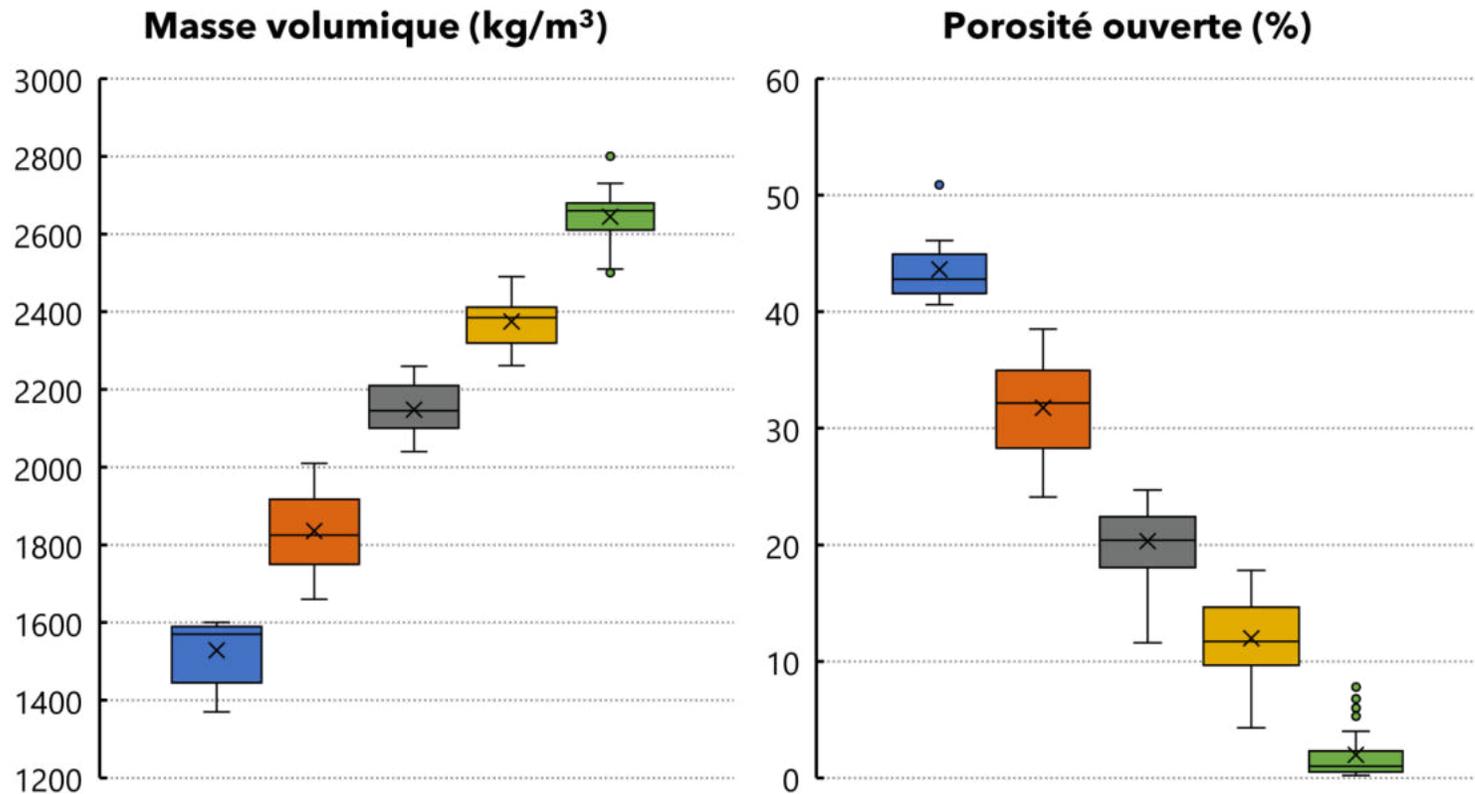
$$R_{flexion} \approx 0,13 \times 1,002 \rho_{apparente}$$



LA PIERRE NATURELLE (CALCAIRE)

Classification statistique

Analyse en composantes principales & Classification non supervisée puis supervisée



Classe	ρ [kg/m ³]	n [%]	Type de calcaire
1	$\rho > 2480$	-	Froid, marbrier
2	$2250 < \rho \leq 2480$	-	Extra-dur
3	$1980 < \rho \leq 2250$	-	Dur
4	$\rho \leq 1980$	$n \leq 36,3$	Demi-Ferme
5	$\rho \leq 1980$	$n > 36,3$	Tendre

PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

L'échantillonnage

Classe statistique				
1	2	3	4	5



PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Important pour simulation des transferts chaleur / humidité
Rôle de l'humidité (confort, santé, durabilité)

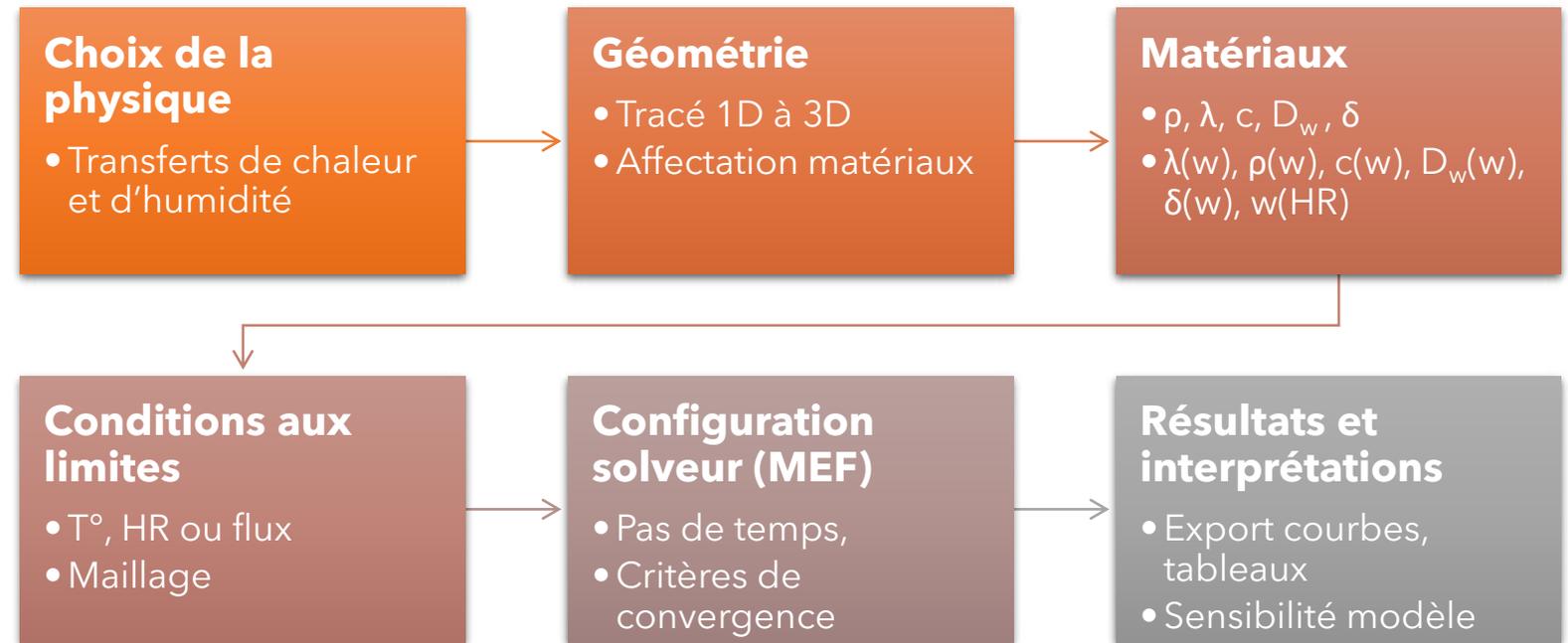
Bilan de chaleur :

$$(\rho c)_{eff} \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot q = Q$$

$$q = -[\lambda_{eff} \nabla T + L_v \delta_p \nabla(\Phi p_{sat})]$$

Bilan d'humidité :

$$G = \xi \frac{\partial \Phi}{\partial t} + \nabla \cdot \{-\xi D_w \nabla \Phi - \delta_p \nabla[\Phi p_{sat}(T)]\}$$



PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Essai	Norme/protocole	Propriété déterminée	Unité
Absorption d'eau à pression atmosphérique	EN 13755	Teneur en eau à saturation : w_{sat} Porosité à 48h : n_{48h}	[kg/m ³] [%]
Absorption d'eau par capillarité	EN 772-11 & EN 771-6	Coefficient de capillarité : $C_{w,s}$	[g/m ² .s ^{1/2}]
Transmission de la vapeur d'eau	ISO 12572	Perméabilité à la vapeur d'eau : δ Facteur de résistance à la diffusion : μ	[kg/m.s.Pa] [-]
Isotherme de sorption hygroscopique	ISO 12571	Teneur en eau en fonction de HR : $w(HR)$ Capacité de stockage d'eau : ξ	[kg/m ³]
« Moisture buffer value »	« Nordtest protocol »	Capacité tampon hydrique : MBV	[g/m ² .%HR]
Propriétés thermiques	EN 12664	Conductivité thermique : λ Capacité thermique : c	[W/m.K] [J/kg.K]

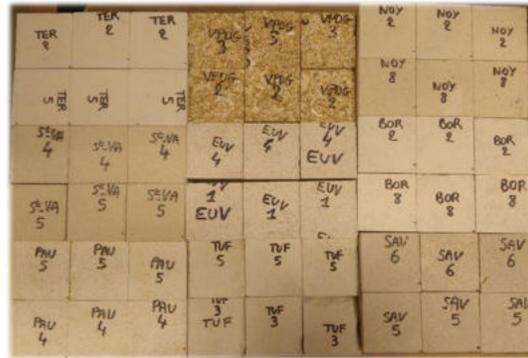
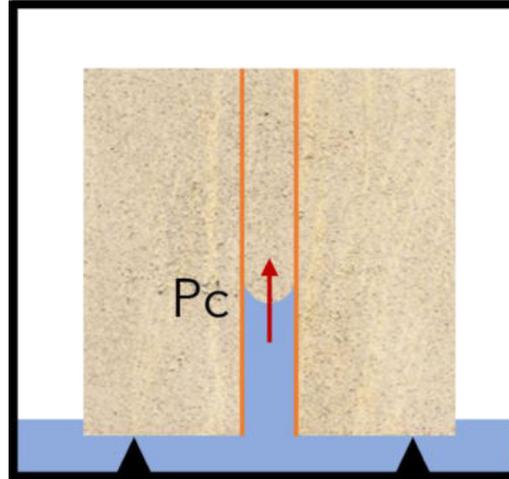


PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

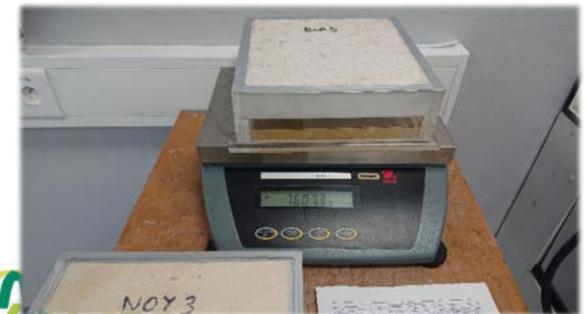
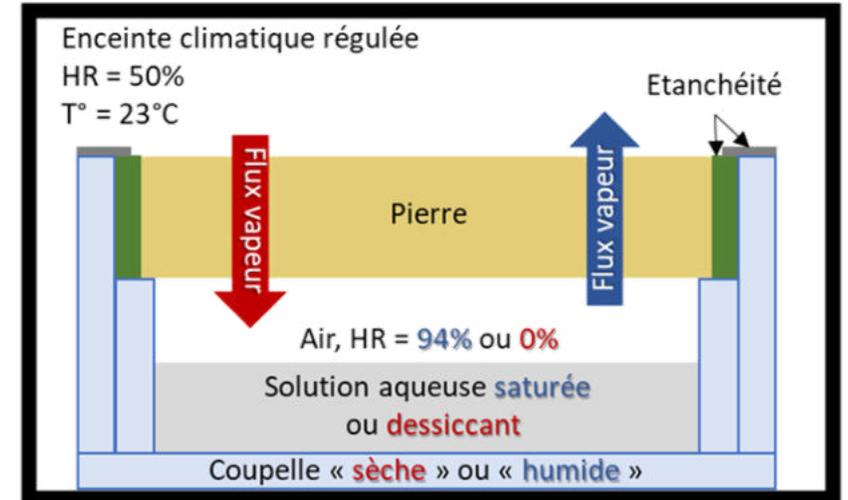
Absorption d'eau à pression atmosphérique



Absorption d'eau par capillarité

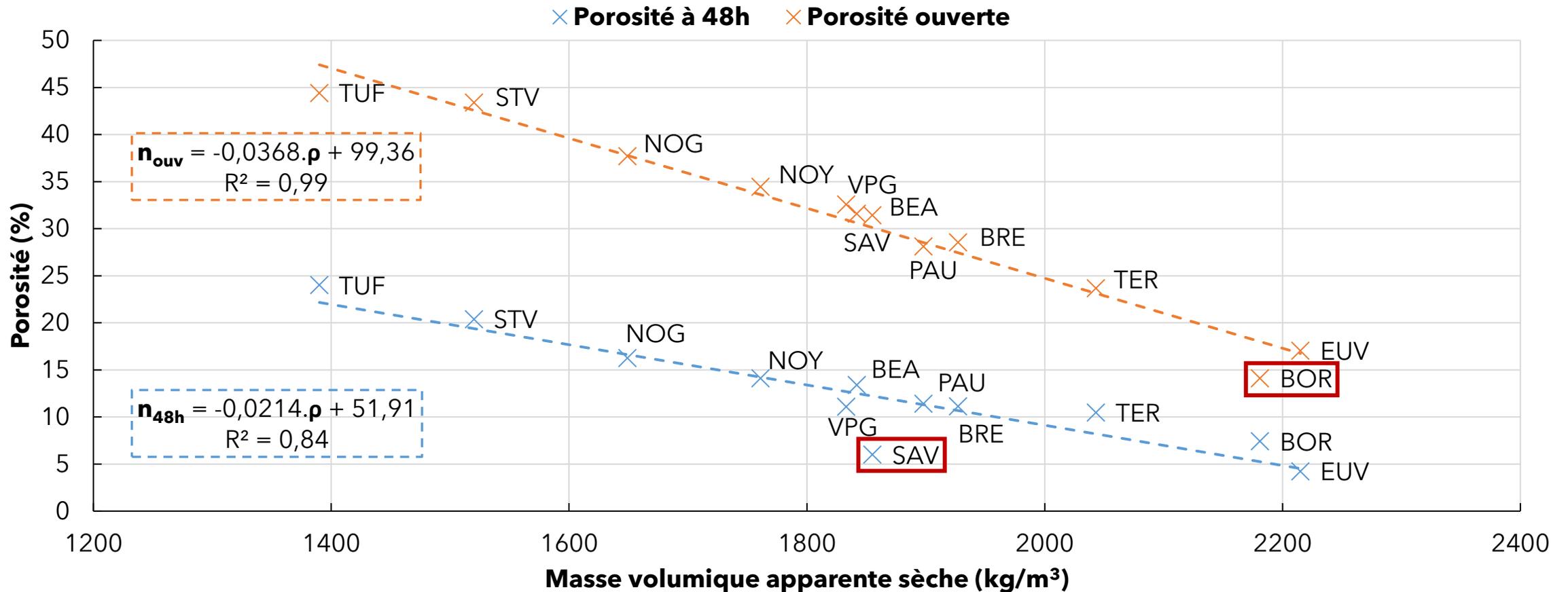


Transmission de la vapeur d'eau



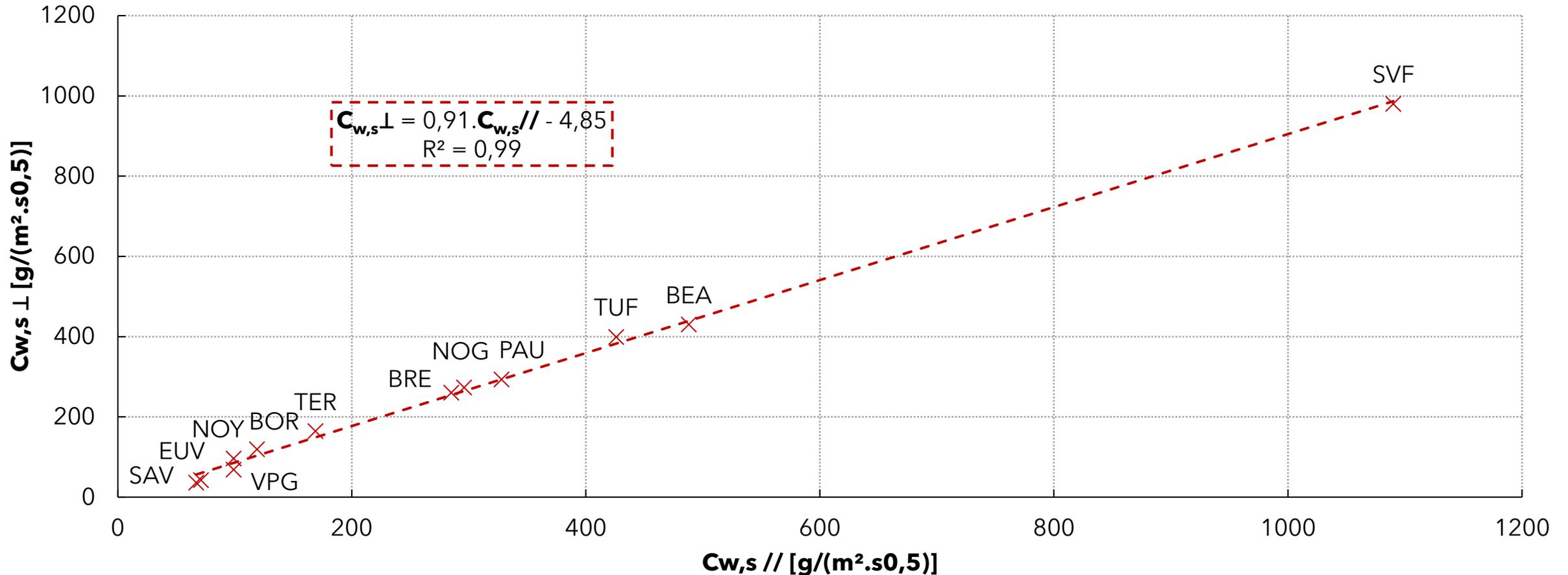
PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Liens : masse volumique et porosités (ouverte et à 48h)



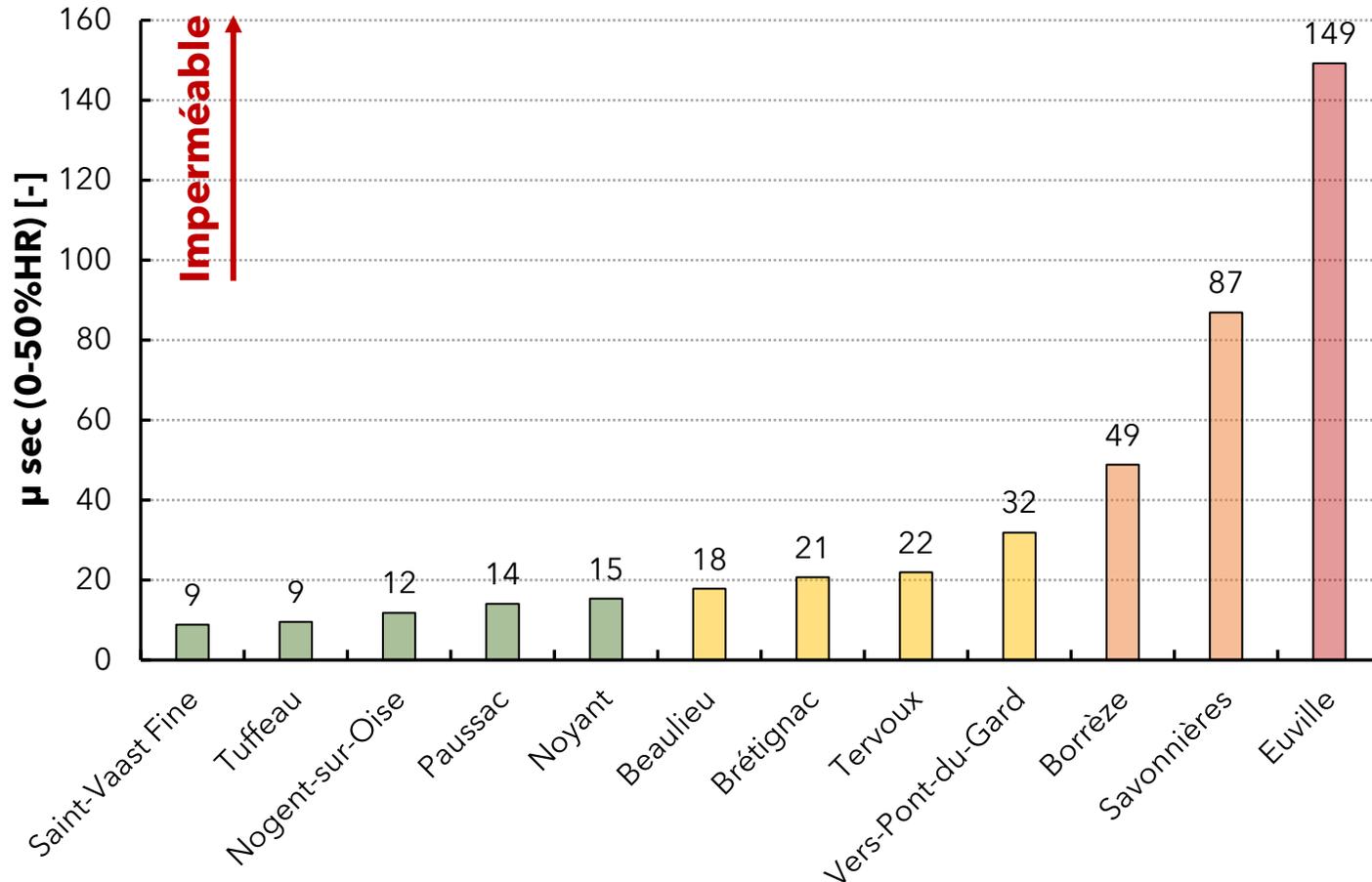
PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Liens : absorption d'eau par capillarité \perp VS $//$



PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Facteur de résistance à la diffusion de vapeur d'eau



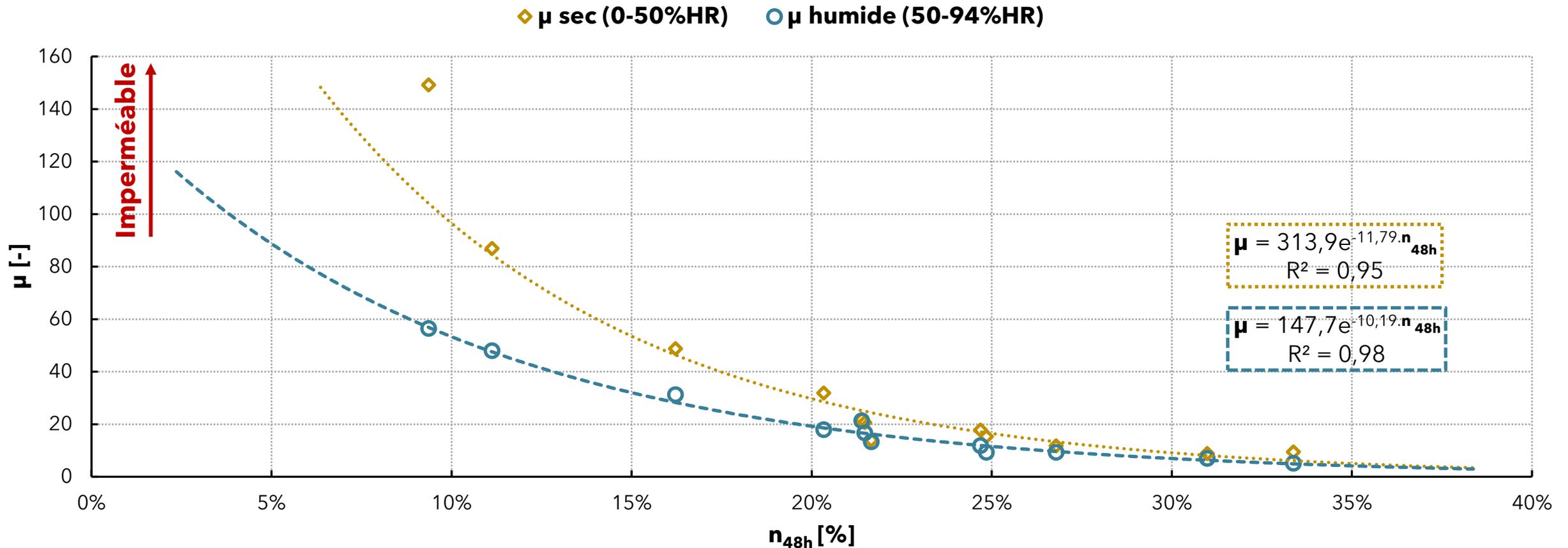
Exemples autres matériaux :

• Air et autres gaz	1
• Isolants fibreux	1-10
• Plâtres	10
• Terre cuite	16
• Bois léger	50
• Isolants alvéolaires	60-150
• Bétons	130-150
• Bitume, Asphalte	50 000
• Métaux, verre	∞

Source : Guide technique CSTB 2009 « Transferts d'humidité à travers les parois ».

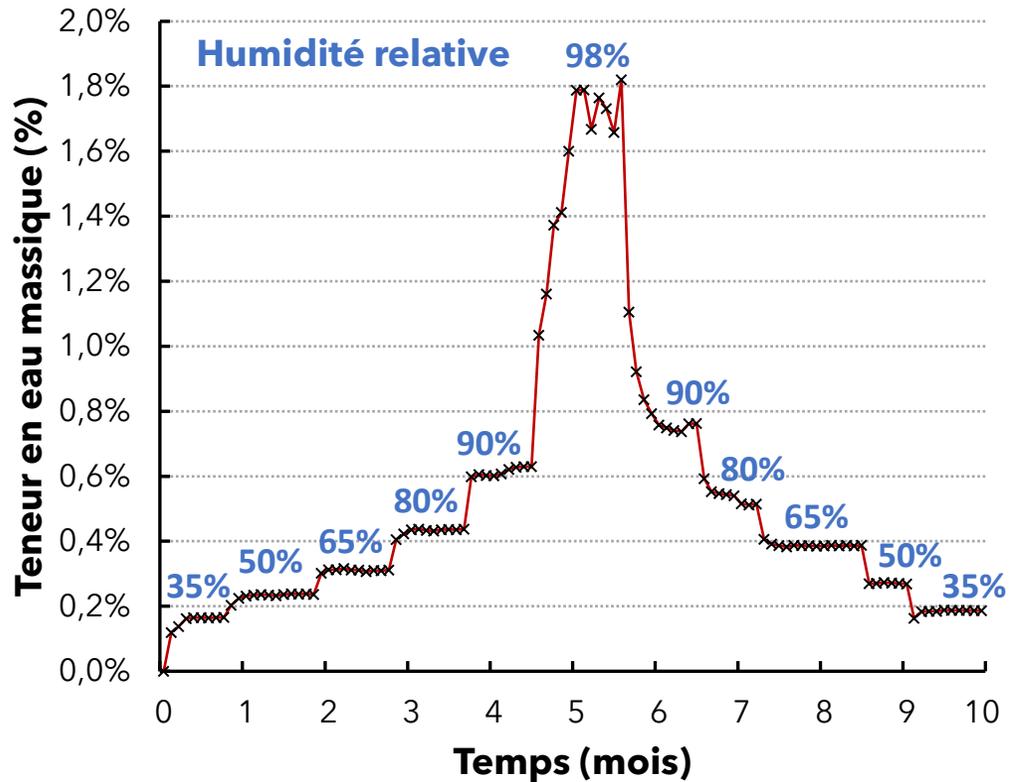
PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Liens : perméabilité à la vapeur d'eau et porosité à 48h

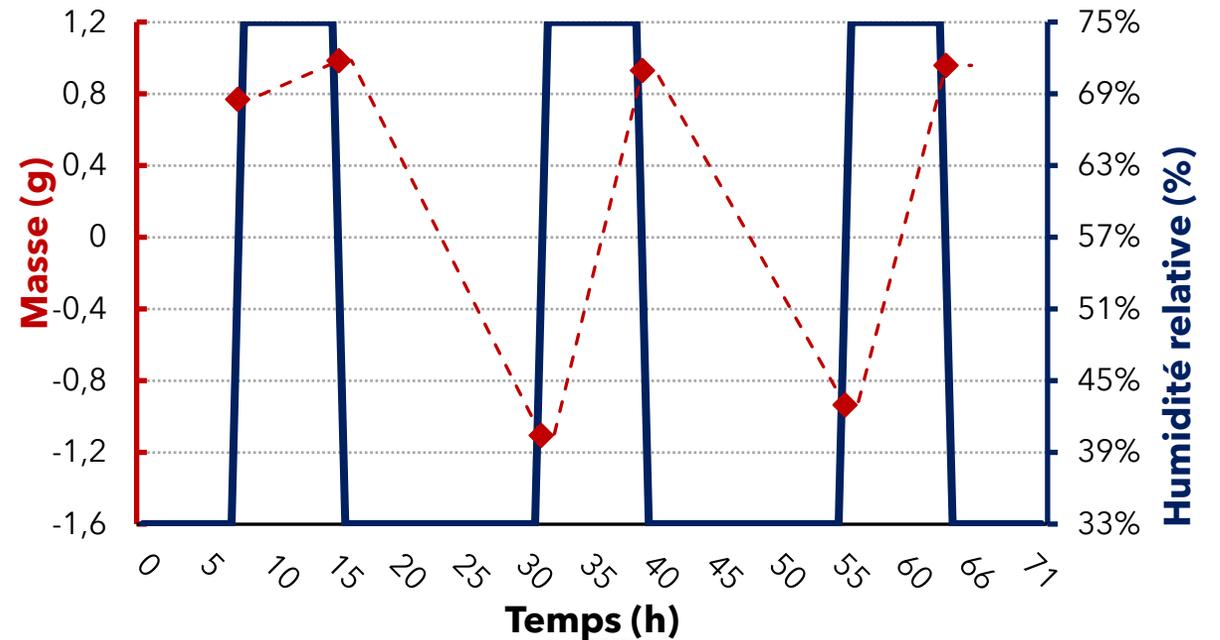


PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Isothermes de sorption et de désorption hygroscopique



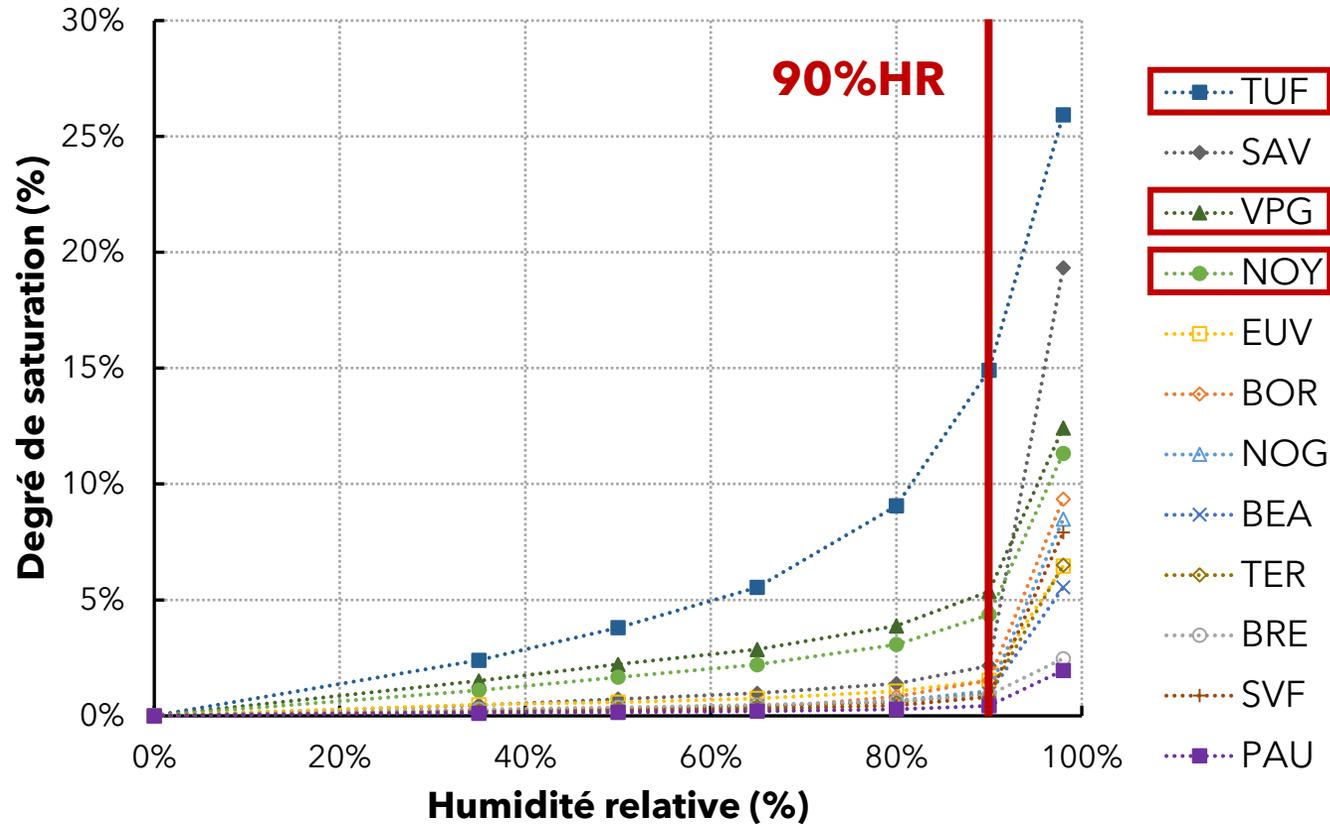
Capacité tampon hydrique (MBV)



PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Relation teneur en eau et humidité relative de l'air (à 23°C)

Isothermes de sorption



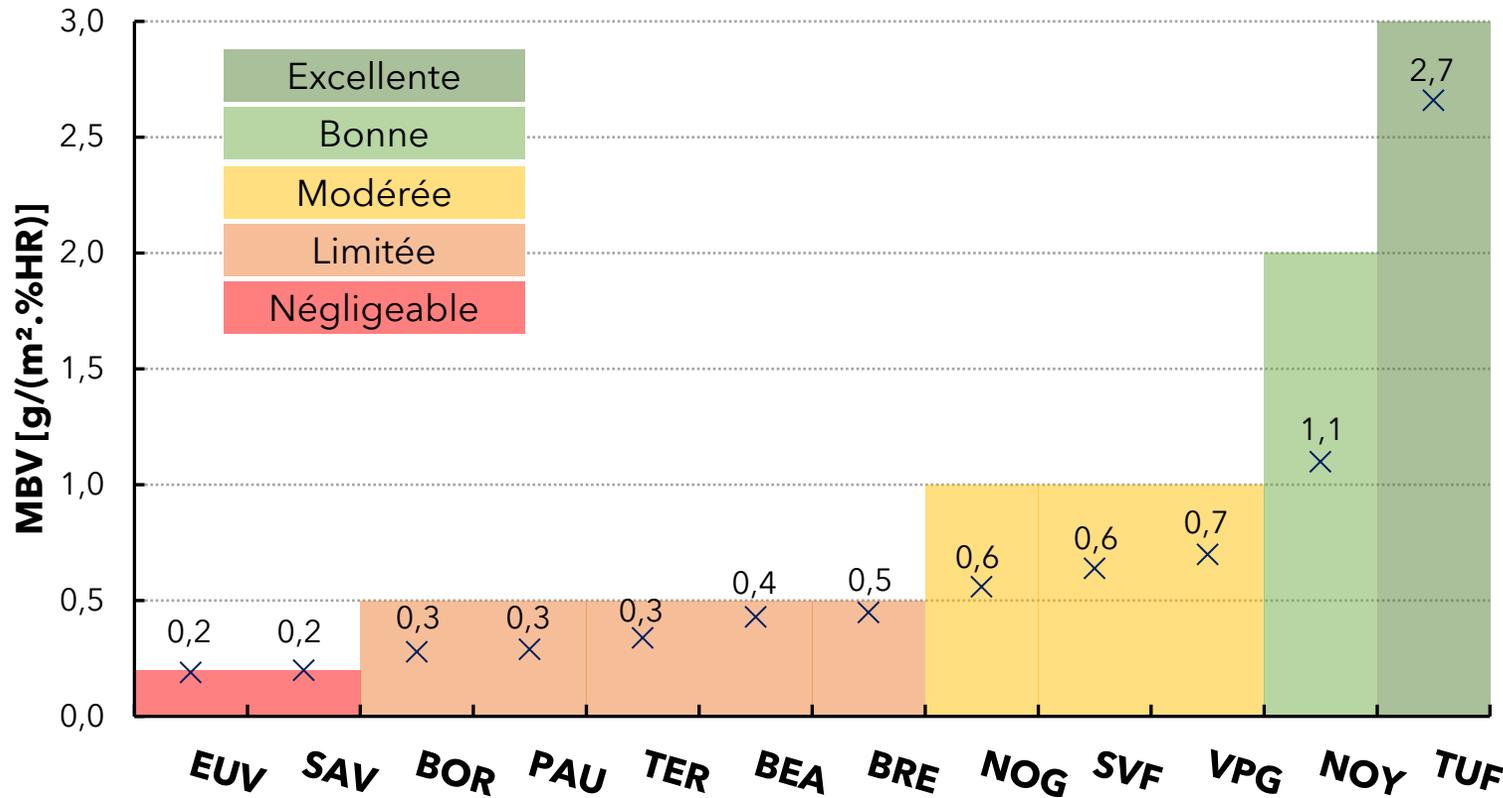
$$w = \frac{X_{12} \cdot C \cdot K \cdot HR}{(1 - K \cdot HR) \times (1 - K \cdot HR + C \cdot K \cdot HR)}$$

Modélisation GAB Moyenne S-D	X_{12}	C	K
BEA	1.63E-04	2.53E+06	9.98E-01
BOR	1.59E-04	1.89E+00	9.98E-01
BRE	1.66E-04	2.96E+06	9.58E-01
EUV	9.53E-05	2.56E+06	9.85E-01
NOG	2.36E-04	1.13E+06	1.00E+00
NOY	1.13E-03	6.24E+06	9.48E-01
PAU	6.15E-05	1.89E+06	9.92E-01
STV	2.61E-04	1.05E+06	1.00E+00
SAV	1.81E-04	1.83E+06	1.00E+00
TER	1.30E-04	8.55E+05	1.00E+00
TUF	1.02E-02	2.28E+00	8.69E-01
VPG	1.18E-03	5.75E+06	9.32E-01

PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

MBV : Capacité tampon hydrique (ou de régulation hydrique)

× MBV_{moy} @23°C



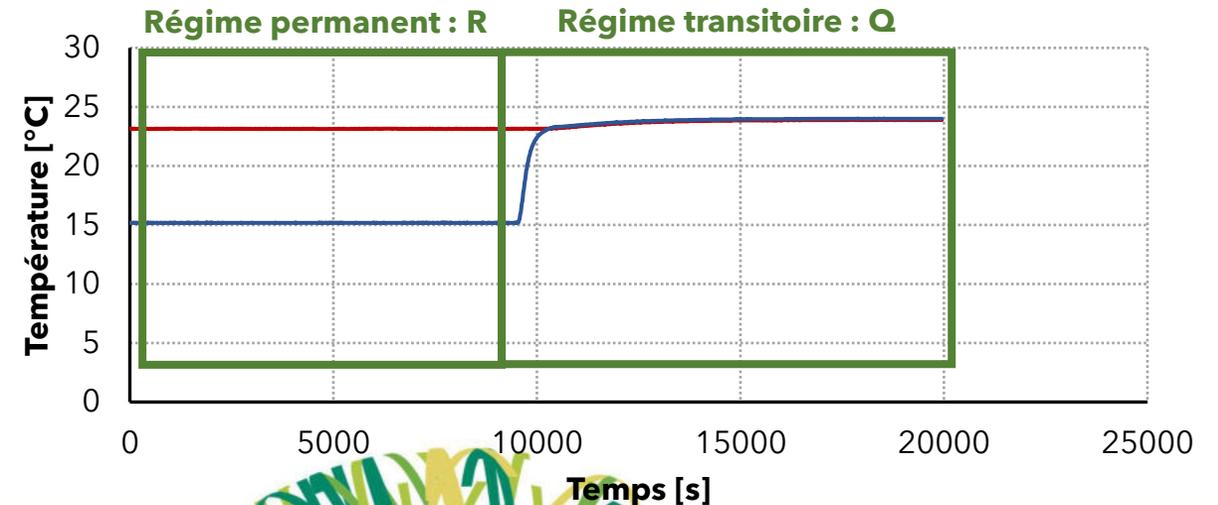
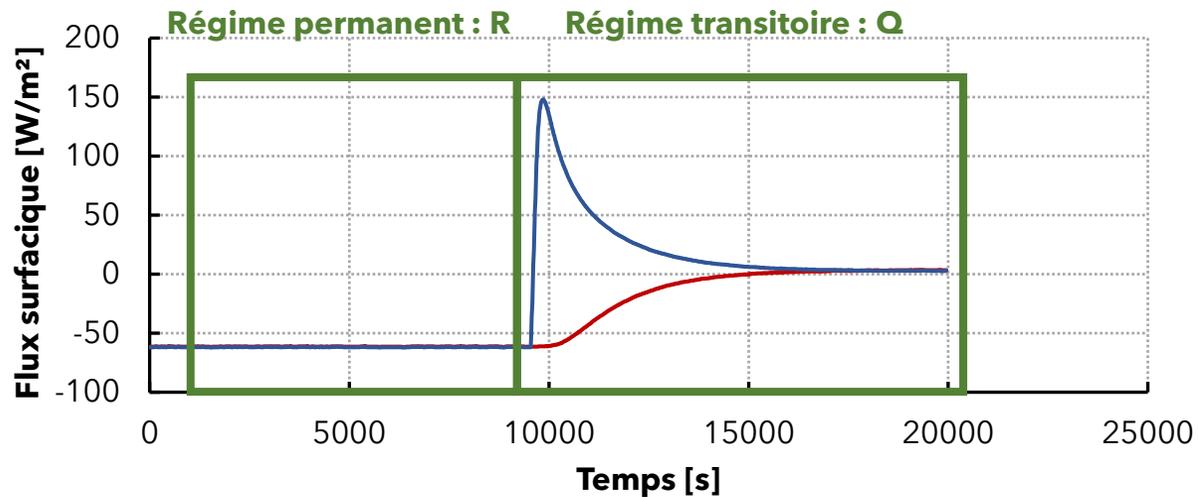
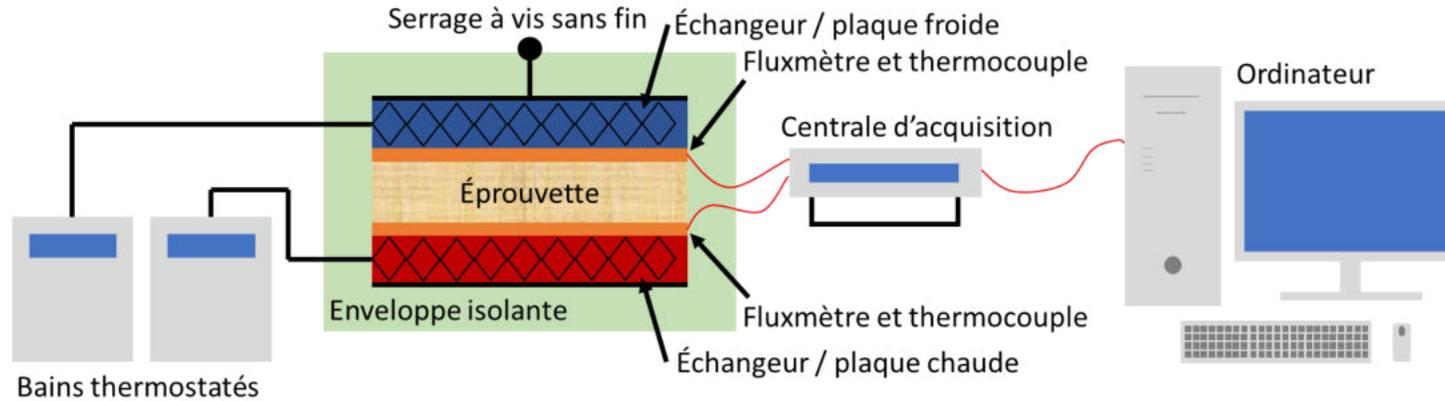
Exemples autres matériaux

• 1 Anas de lin :	3,7
• 1 Béton de chanvre :	2,2
• 1 Fibres de bois :	1,2
• 2 Planche d'épicéa :	1,1
• 2 Béton cellulaire :	1
• 1 Métisse® :	0,9
• 2 Panneau de bouleau :	0,8
• 2 Plâtre :	0,6
• 2 Brique de terre cuite :	0,5
• 2 Béton :	0,35

1 : M. ASLI 2017 & 2 : C. RODE 2007

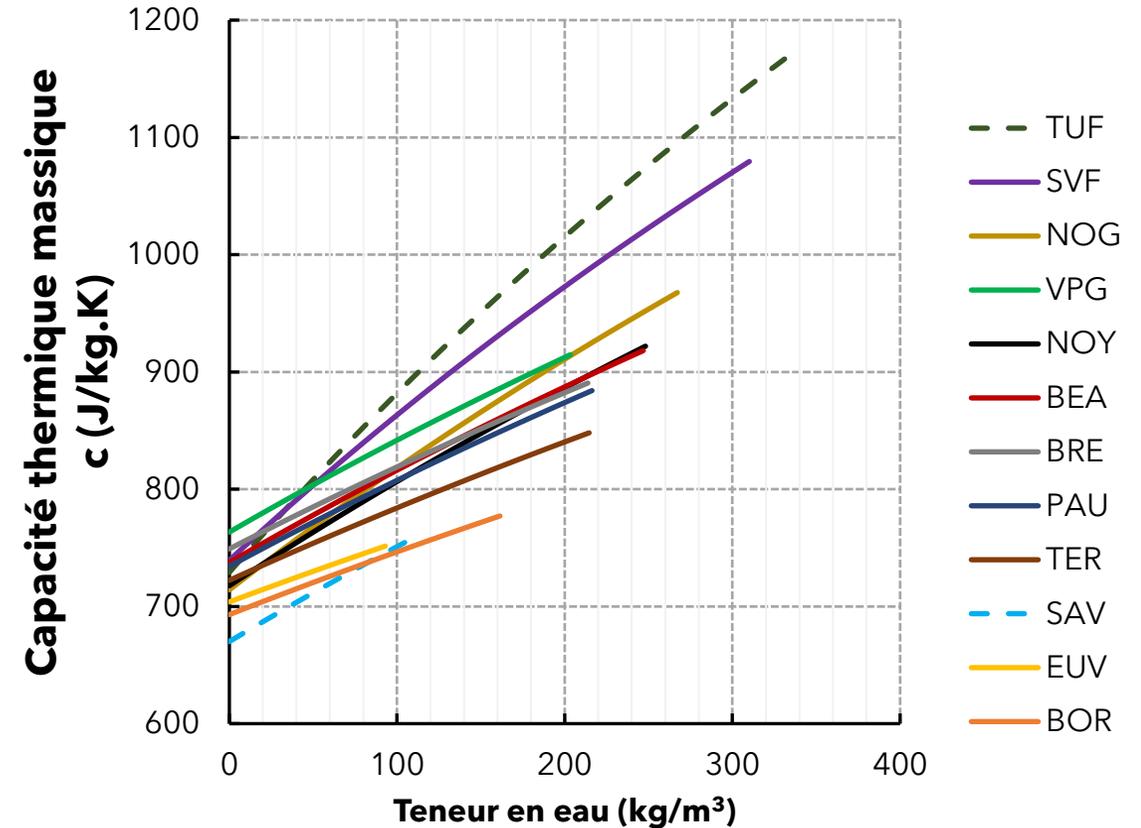
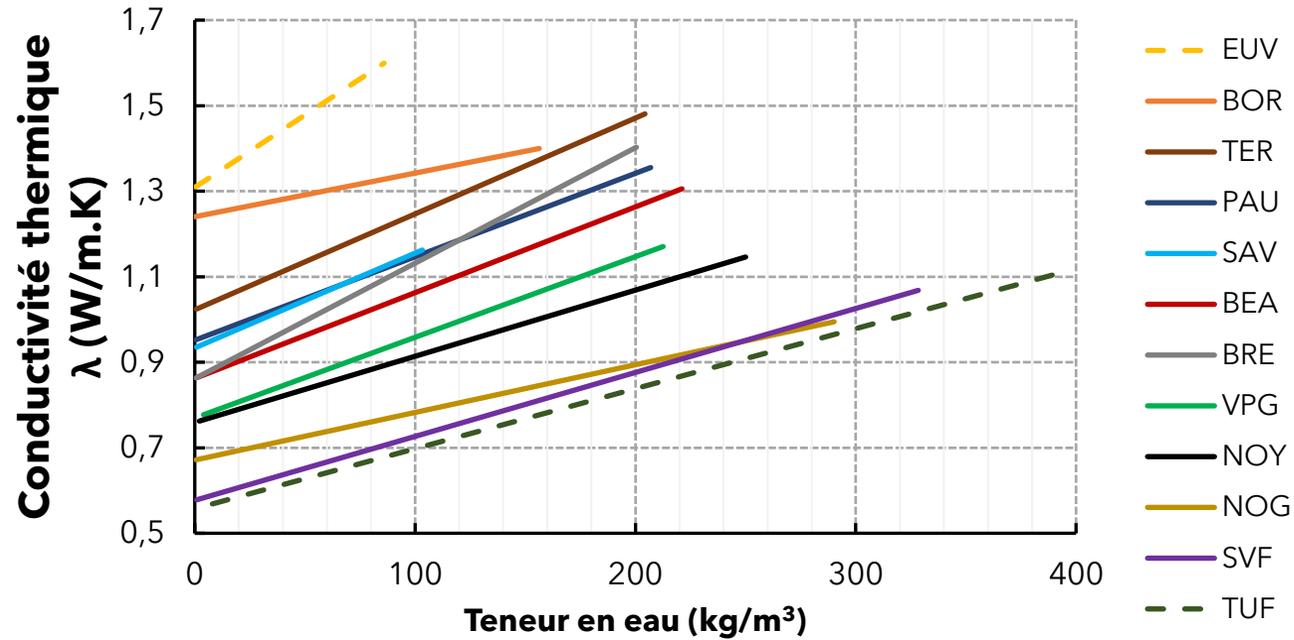
PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Conductivité et capacité thermique



PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

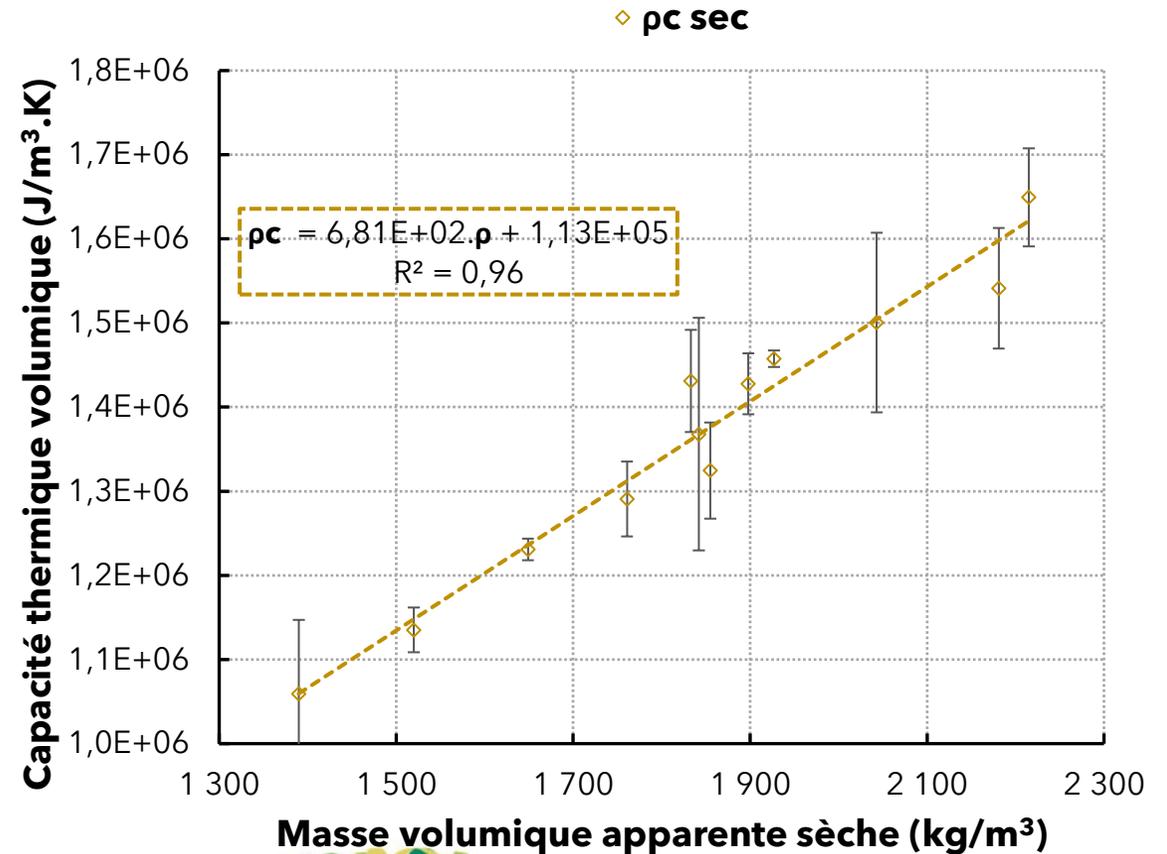
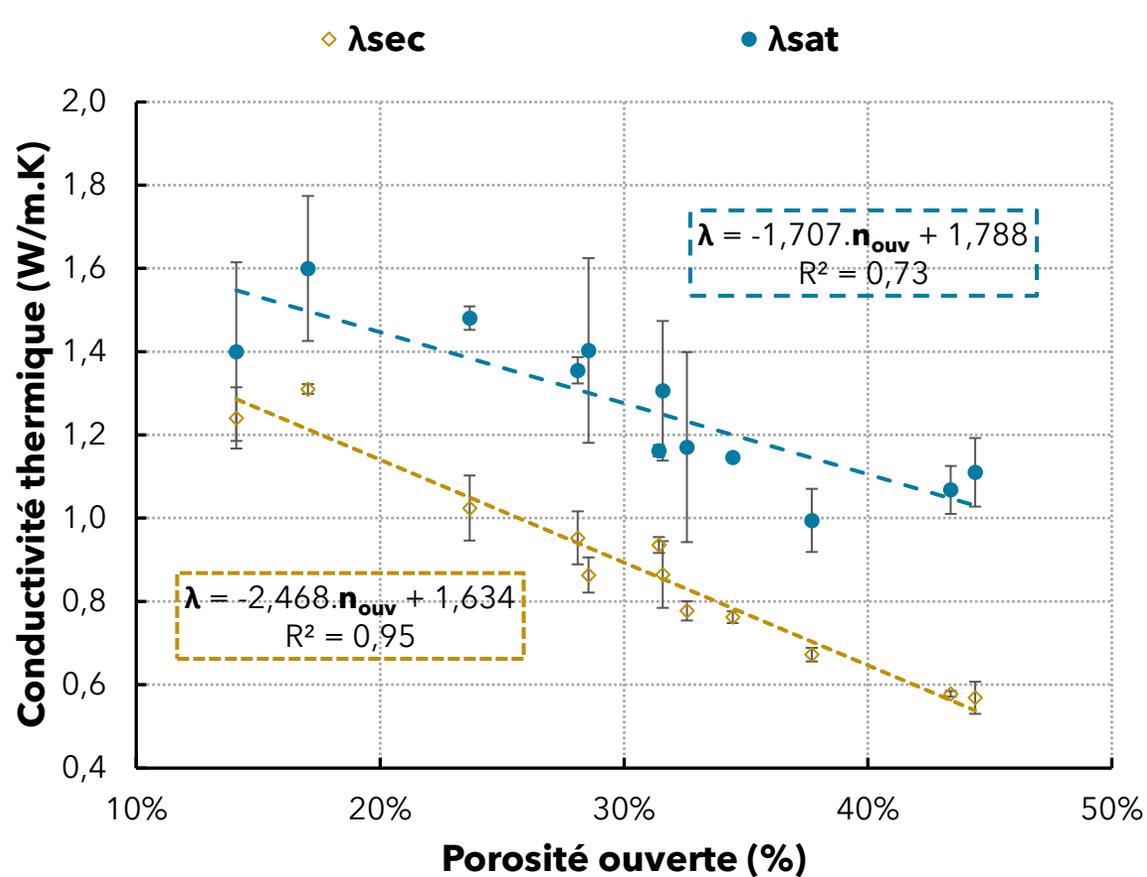
Conductivité et capacité thermique



Exemple autres matériaux	λ [W/m.K]	c [J/kg.K]
Laine minérale	0,042	1030
Béton	1,6	880
Acier	50	450

PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Liens : propriétés thermiques VS masse volumique et porosité



PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Synthèse des résultats de caractérisation

Calcaire	Classe statistique	ρ_0 [kg/m ³]	n [%]	n _{48h} [%]	C _{w,s moy} [g/(m ² .s ^{1/2})]	MBV _{moy} @23°C	μ_{sec}	μ_{humide}	λ_{sec} [W/m.K]	λ_{sat} [W/m.K]	C _{sec} [J/kg.K]	C _{sat} [J/kg.K]
TUF	5	1390	44.4	33.4	612	2.66	9	5	0.57	1.11	743	1387
SVF	5	1520	43.4	31	1525	0.64	9	7	0.58	1.07	740	1180
NOG	5	1649	37.7	26.8	421	0.56	12	9	0.67	0.99	715	1038
NOY	4	1761	34.5	24.9	145.5	1.1	15	9	0.76	1.15	720	1035
VPG	4	1833	32.6	20.4	117.5	0.7	32	18	0.78	1.17	765	872
BEA	4	1842	31.6	24.7	674	0.43	18	11	0.86	1.31	738	879
SAV	4	1855	31.4	11.1	69.5	0.2	87	48	0.94	1.16	671	821
PAU	4	1898	28.1	21.7	457	0.29	14	13	0.95	1.36	735	954
BRE	4	1927	28.5	21.5	402.5	0.45	21	17	0.86	1.4	749	908
TER	3	2043	23.7	21.4	248.5	0.34	22	21	1.02	1.48	723	924
BOR	3	2181	14.1	16.2	178.5	0.28	49	31	1.24	1.4	693	946
EUV	3	2215	17	9.36	77.5	0.19	149	56	1.31	1.6	704	758

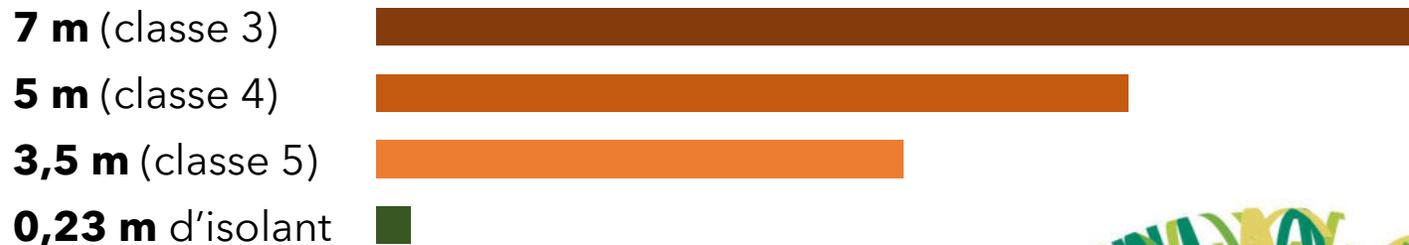
PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Valeurs moyennes par classes statistiques

Classe statistique (pierre calcaire)	Masse volumique ρ [kg/m ³]	Conductivité thermique λ [W/m.K]	Capacité thermique c [J/kg.K]
3	2150 ± 15	1,2 ± 0,2	707 ± 20
4	1835 ± 15	0,9 ± 0,1	730 ± 25
5	1530 ± 35	0,6 ± 0,1	733 ± 20

Paroi standard RE 2020 : $U_p \approx 0,17$ [W/m².K] soit $R \approx 5,7$ [m².K/W]

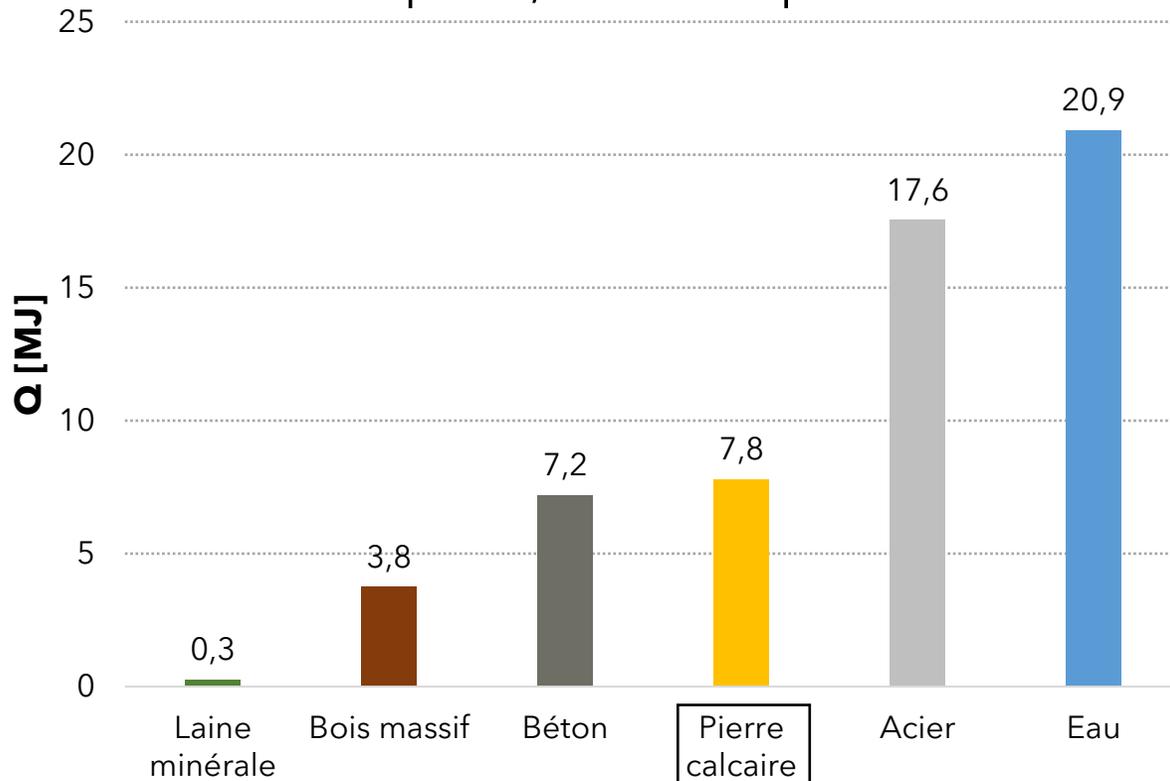
Équivalent à une épaisseur de pierre massive de :



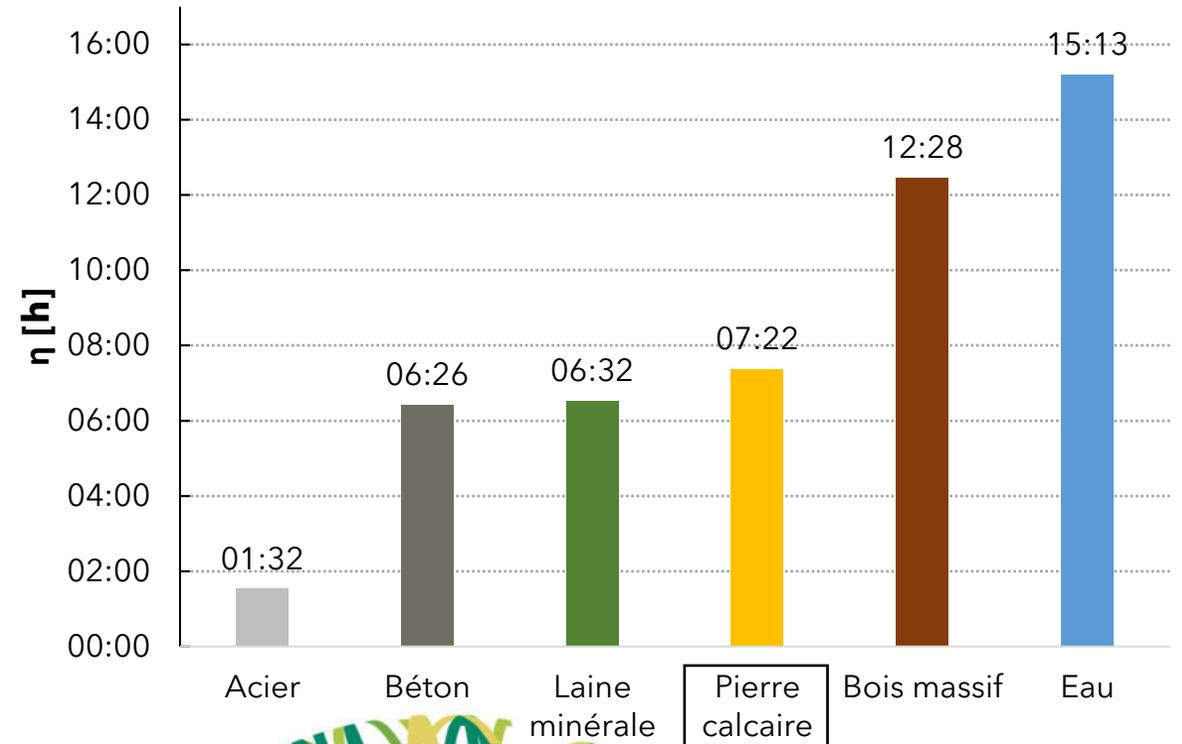
PROPRIÉTÉS HYGROTHERMIQUES DES CALCAIRES

Inertie thermique

Chaleur stockée pour $\Delta T = 20^\circ\text{C}$,
1 m² de paroi, 25 cm d'épaisseur



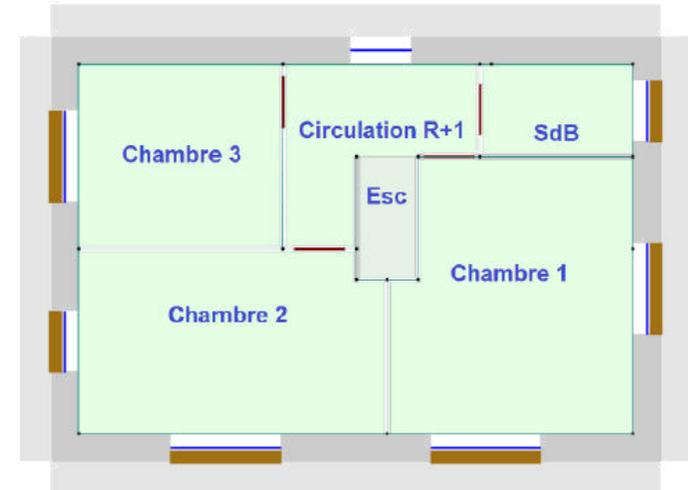
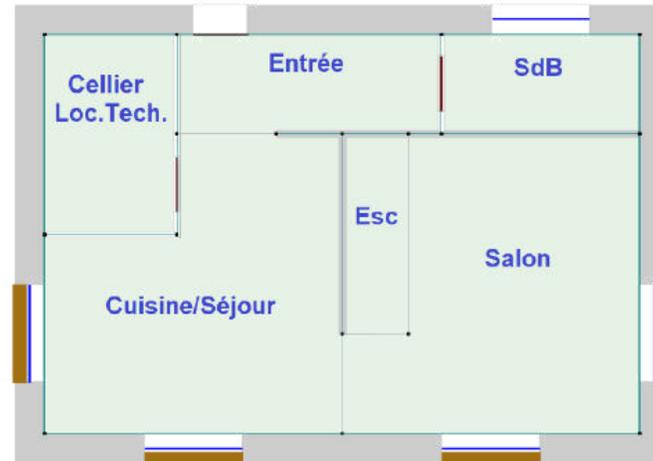
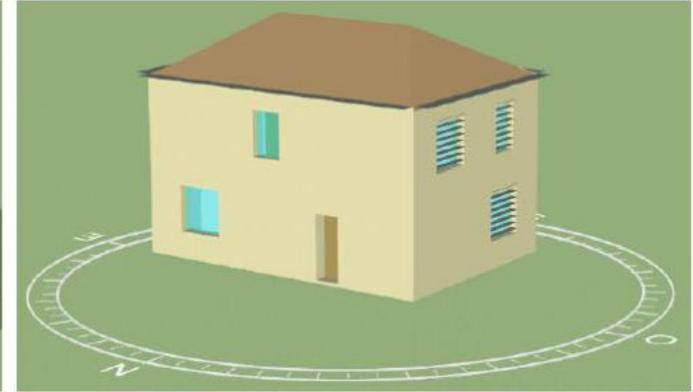
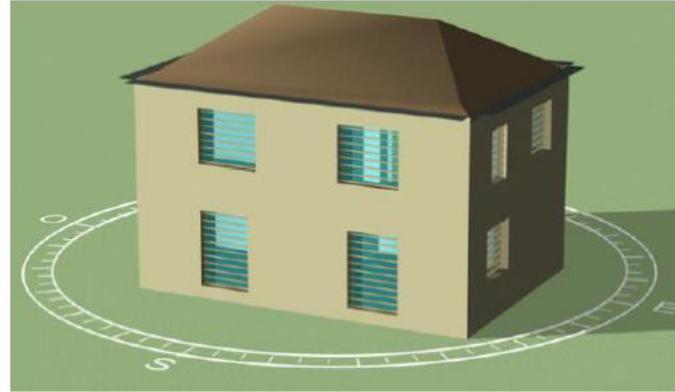
Déphasage thermique théorique
25 cm d'épaisseur, période de 24h



PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES ENVELOPPES

Méthodologie

- Maison individuelle 2 niveaux (100m²)
 - 2 lieux : Nice et Trappes
 - 2 pierres : classe 3 et classe 5
 - 4 compositions de parois :
 - Non isolée / ITI / ITE / Mur double
 - Autres parois isolées RT2012 (+)
 - 2 humidités des matériaux
 - Sec et à 50% de saturation
- **Rapport au Bbio_{max} RT2012 -20%**



PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES ENVELOPPES

Résultats : pierre de classe 5

Lieu	Besoins chauffage (kWh/m ² .an)	Effets humidité sur Bch	Besoins froid (kWh/m ² .an)	Effets humidité sur Bfr	Rapport Bbio _{max}
<i>Pierre massive non isolée</i>					
Trappes	58	+26%	0.6	-50%	+92%
Nice	27	+33%	2.2	-14%	+36%
<i>Isolation thermique par l'intérieur</i>					
Trappes	25	+32%	0.9	-33%	-16%
Nice	9	+44%	2.5	-20%	-34%
<i>Isolation thermique par l'extérieur</i>					
Trappes	24	+25%	0.4	-75%	-19%
Nice	8	+25%	1.6	-31%	-42%
<i>Mur double isolé</i>					
Trappes	24	+25%	0.5	-80%	-19%
Nice	8	+25%	1.6	-31%	-42%



PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES ENVELOPPES

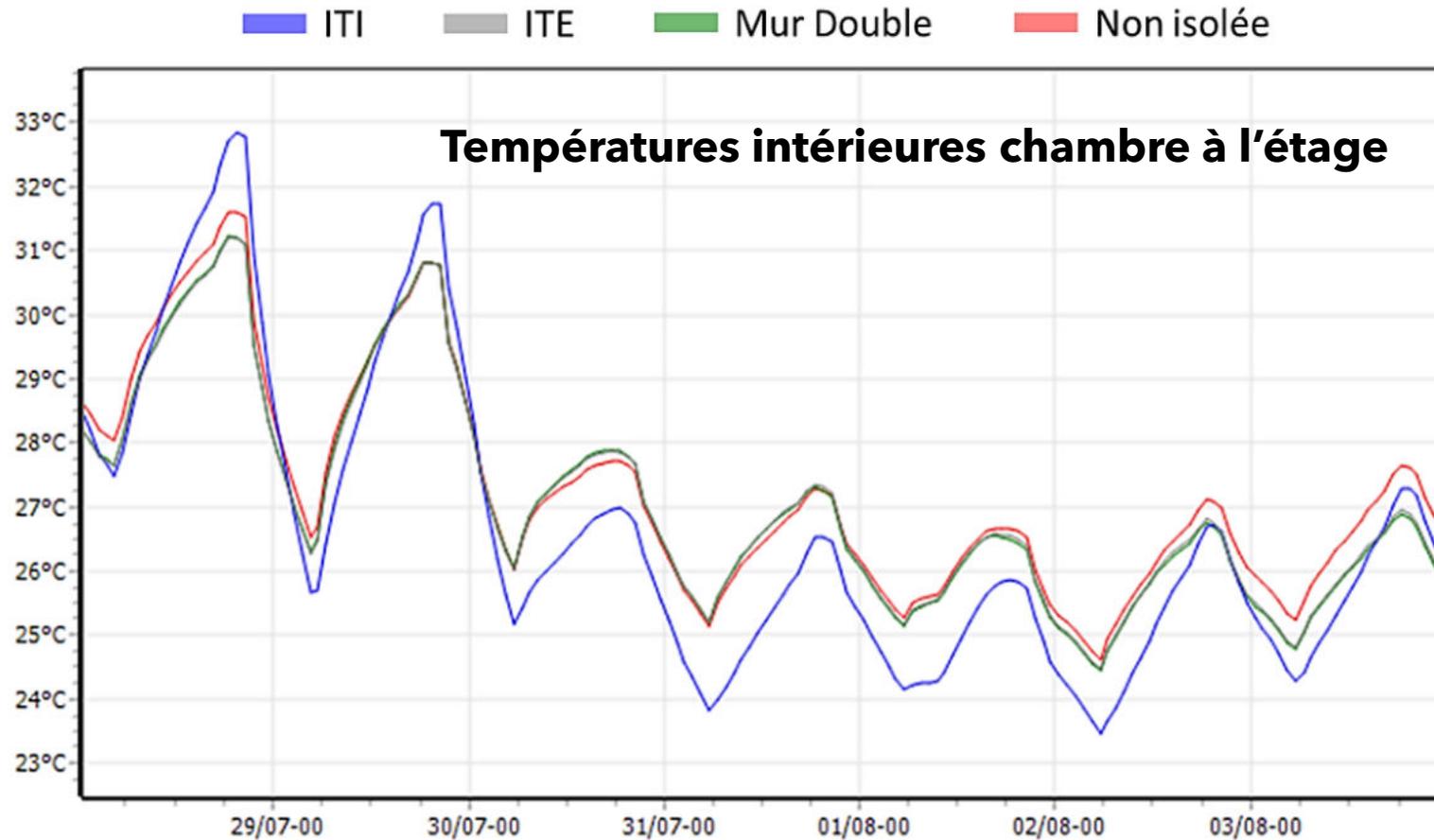
Résultats : pierre de classe 3

Lieu	Besoins chauffage (kWh/m ² .an)	Effets humidité sur Bch	Besoins froid (kWh/m ² .an)	Effets humidité sur Bfr	Rapport Bbio _{max}
<i>Pierre massive non isolée</i>					
Trappes	94	+6%	0.6	-17%	+208%
Nice	49	+6%	2.5	-8%	+125%
<i>Isolation thermique par l'intérieur</i>					
Trappes	26	+31%	0.9	-33%	-12%
Nice	9	+44%	2.4	-17%	-35%
<i>Isolation thermique par l'extérieur</i>					
Trappes	25	+20%	0.3	-67%	-16%
Nice	8	+38%	1.3	-23%	-43%
<i>Mur double isolé</i>					
Trappes	25	+20%	0.3	-67%	-16%
Nice	8	+38%	1.3	-23%	-43%



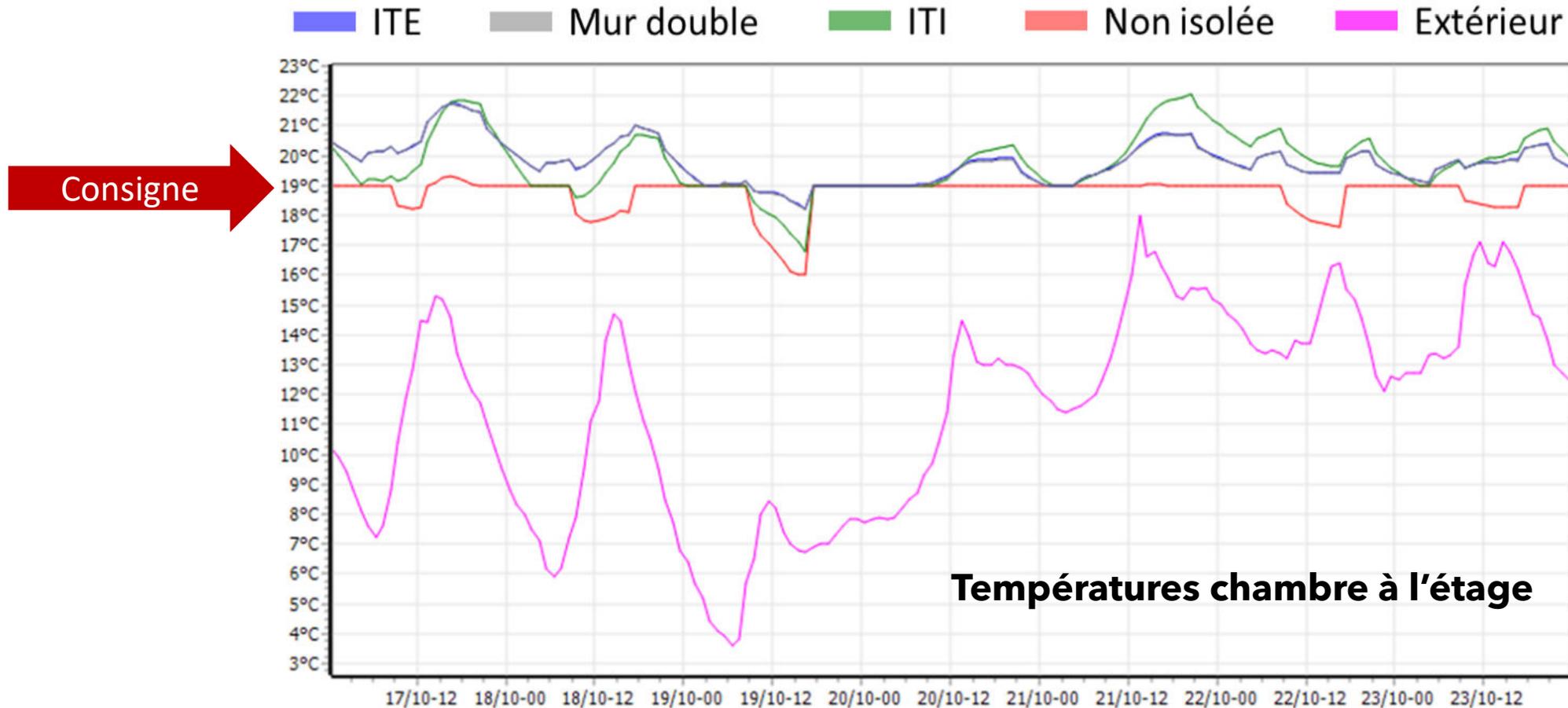
PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES ENVELOPPES

Inertie thermique (Pierre de classe 5, Nice, été sans climatisation)



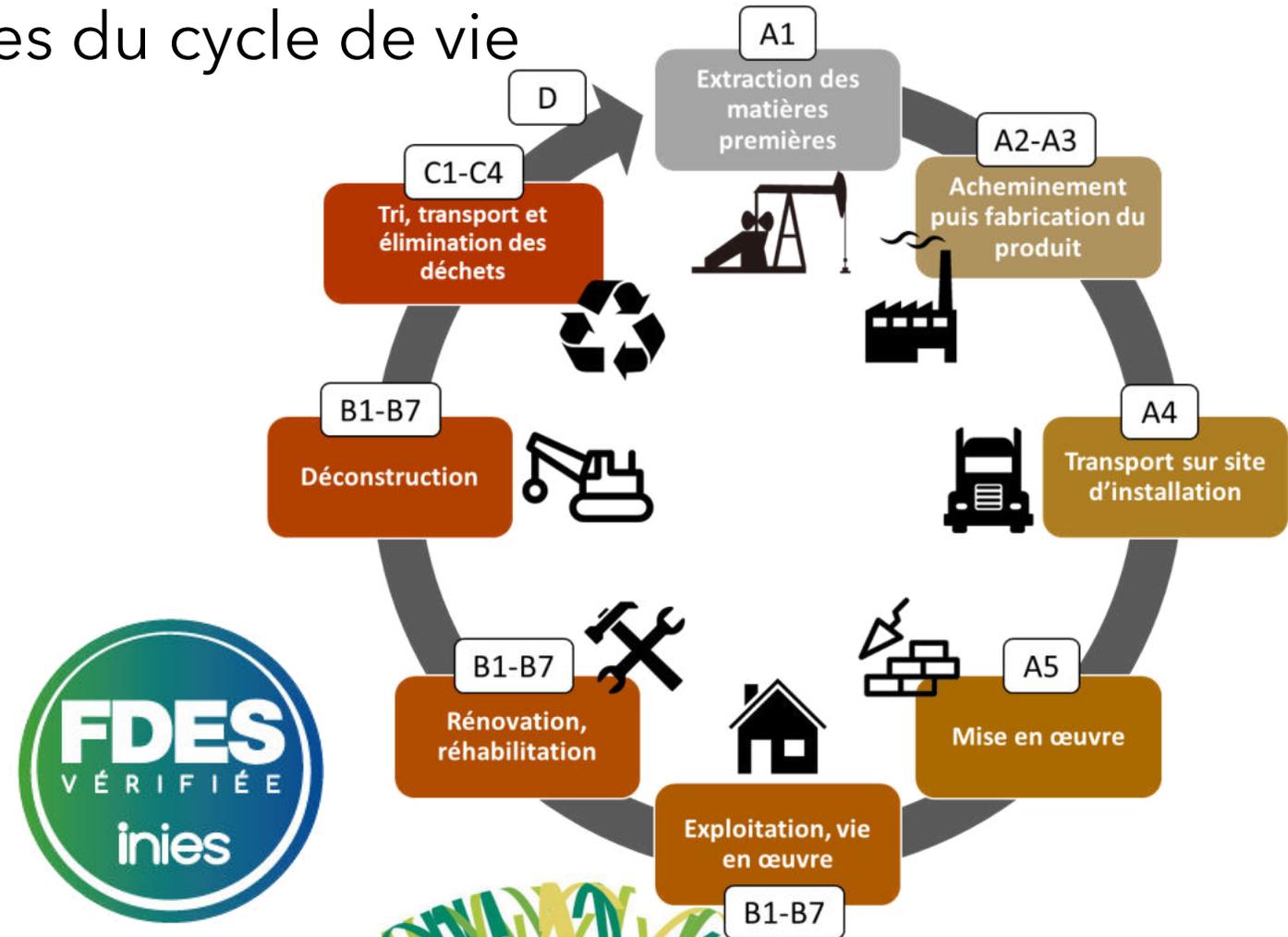
PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE DES ENVELOPPES

Inertie thermique (Pierre de classe 3, Trappes, mi-saison)



IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES MAÇONNERIES EN PIERRES

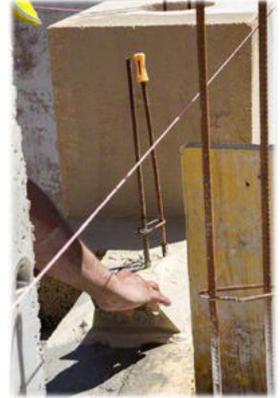
Méthodologie de l'ACV et étapes du cycle de vie



IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES MAÇONNERIES EN PIERRES

Cycle de vie d'une maçonnerie en pierre naturelle

Fabrication, installation, vie en œuvre, déconstruction, valorisation

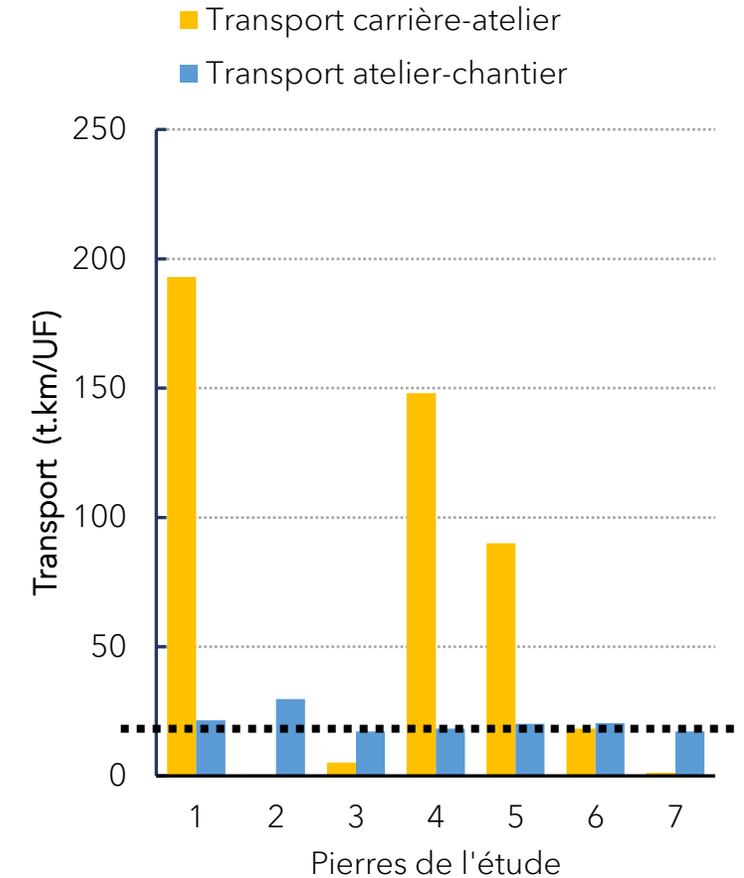
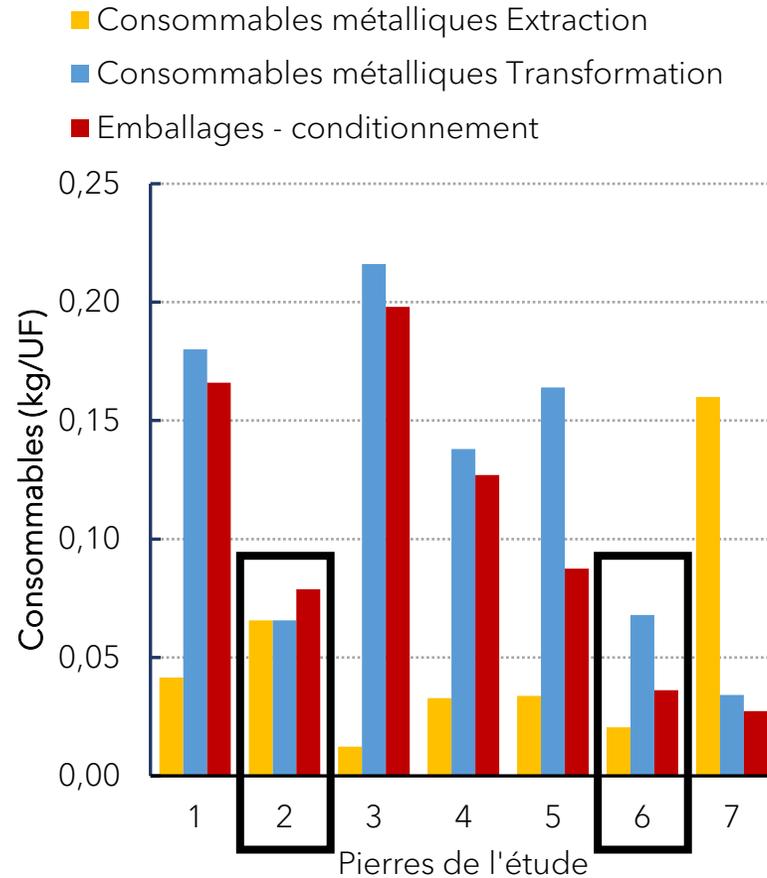
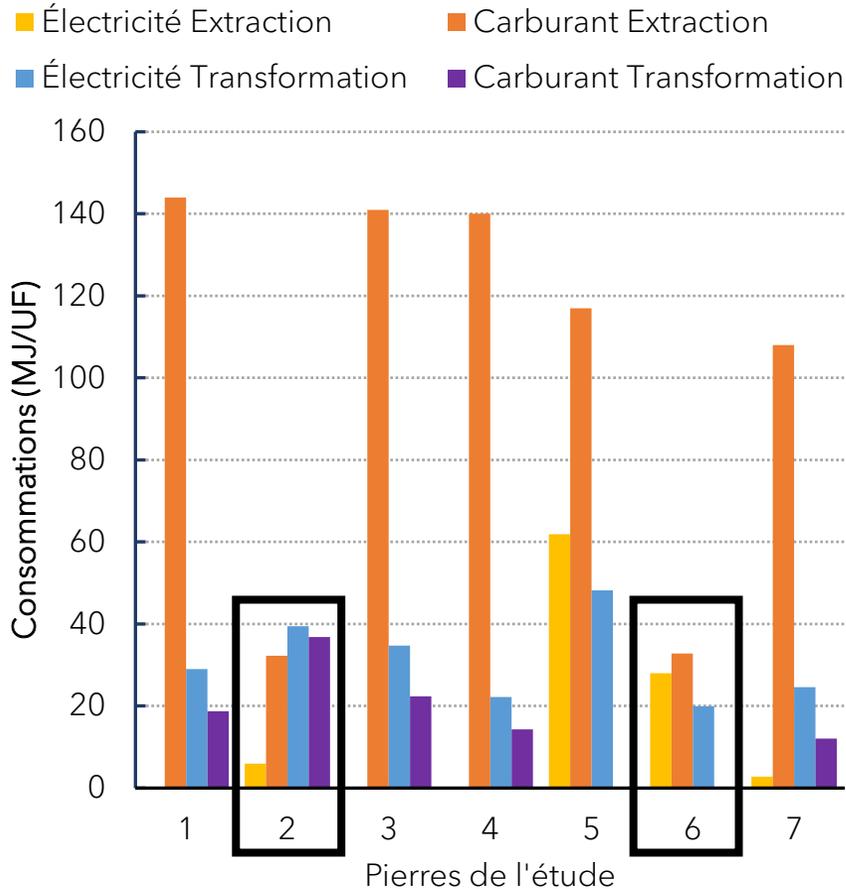


La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020

13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021

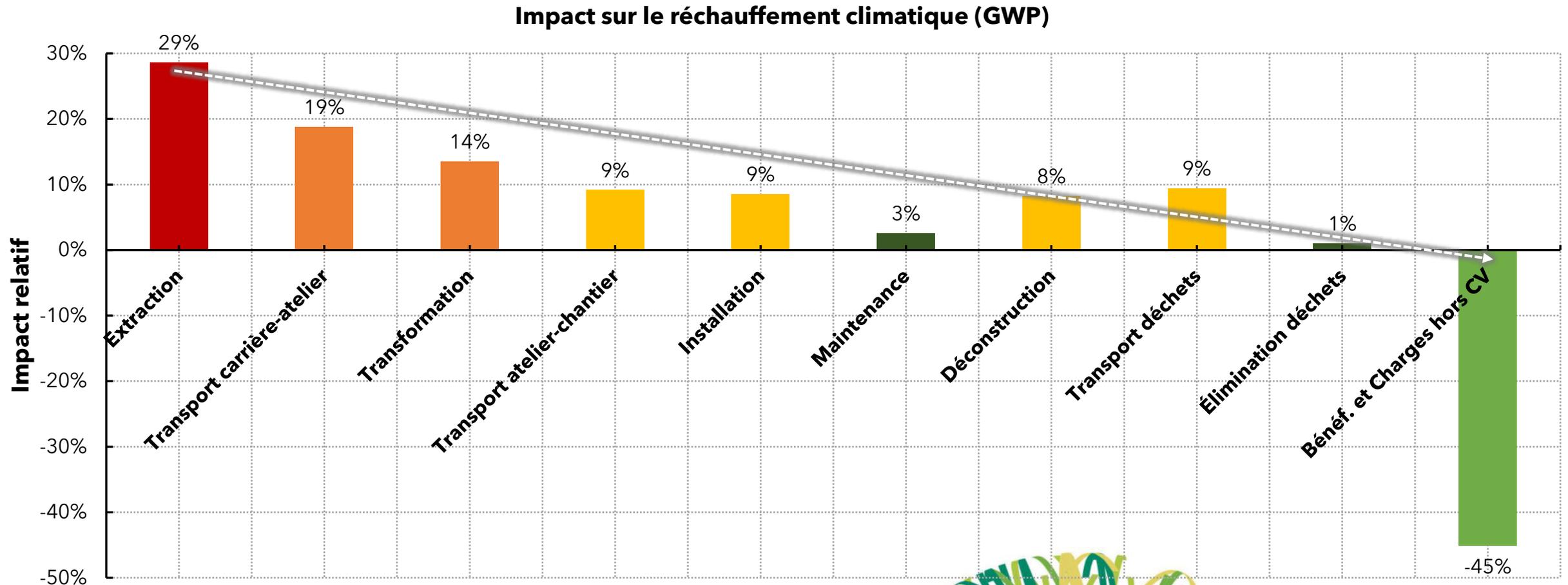
IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES MAÇONNERIES EN PIERRES

ICV : 7 maçonneries pierres **anonymisées**. UF = 1 m² de maçonnerie ép. 25-35cm (jointoyée).



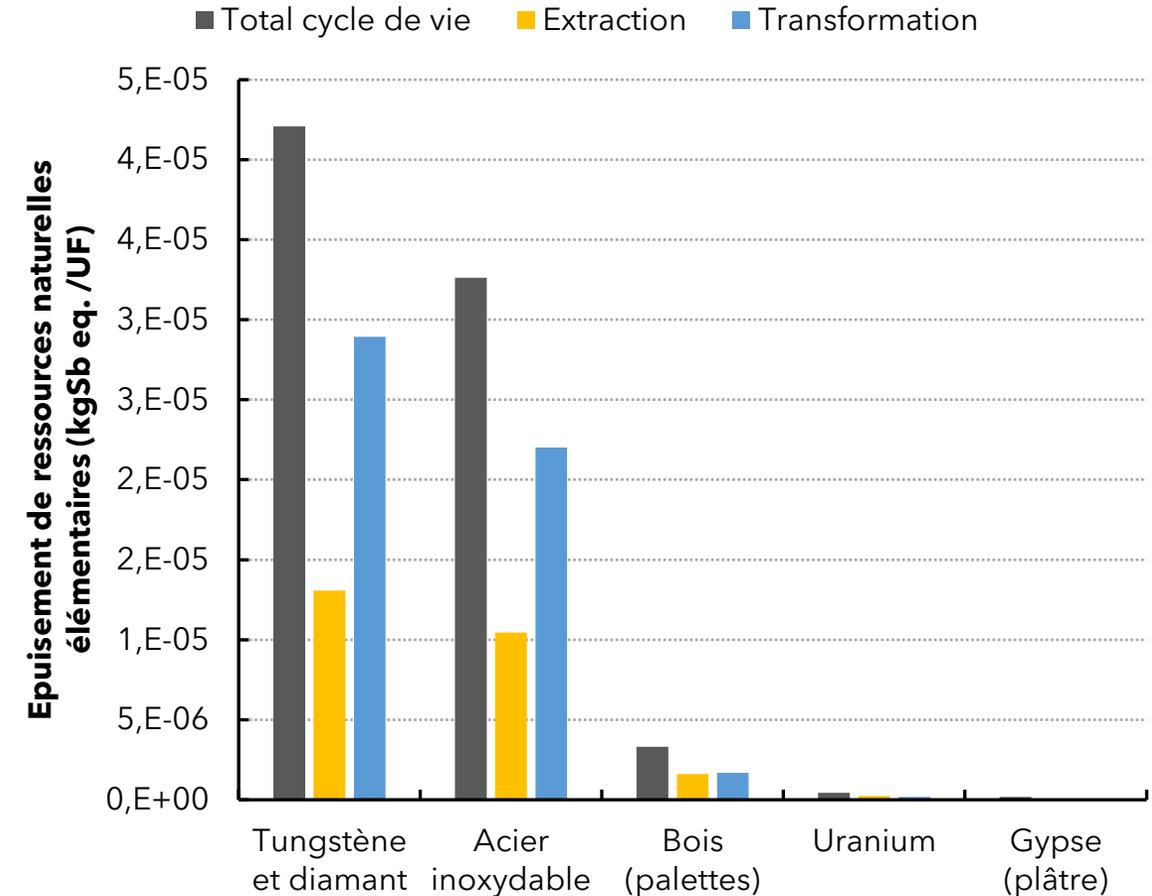
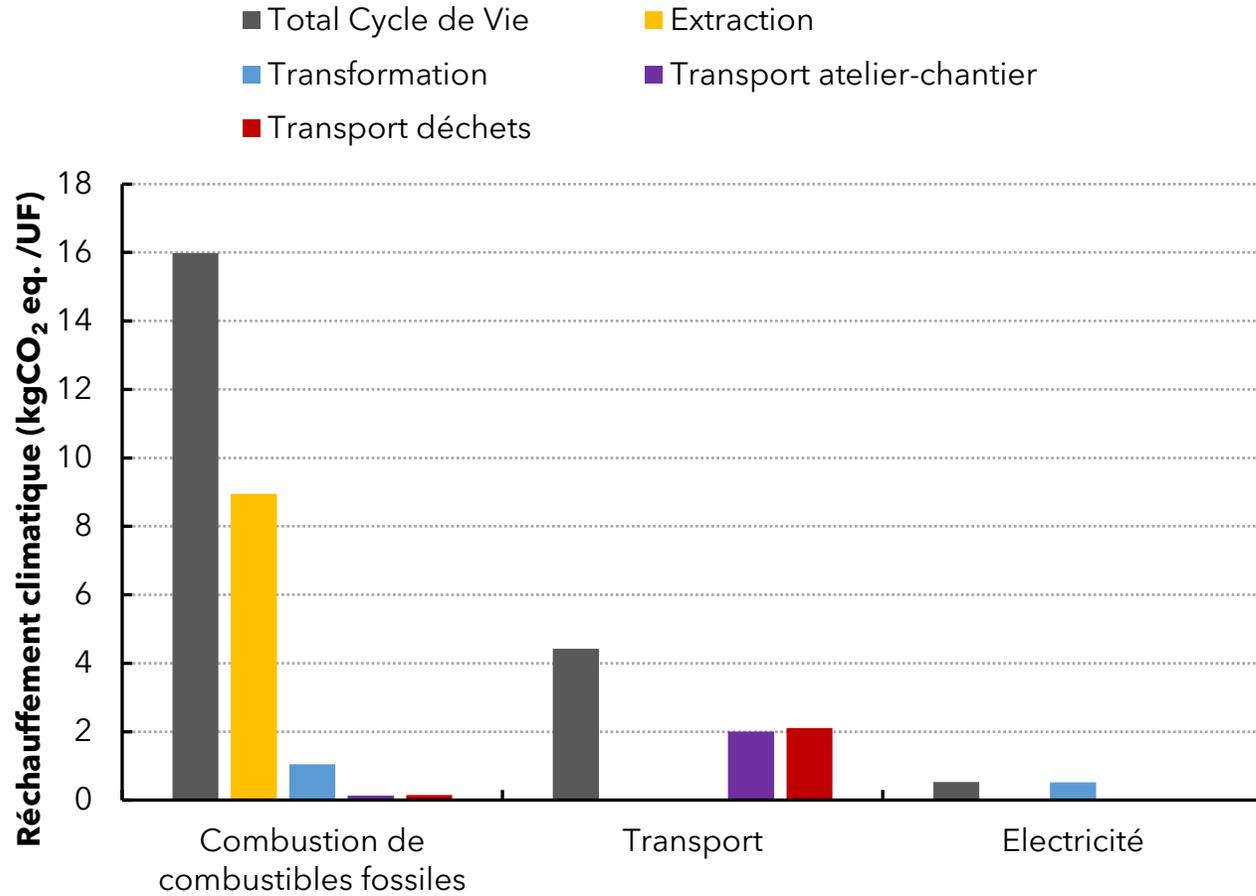
IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES MAÇONNERIES EN PIERRES

Interprétation de l'impact environnemental par phases du cycle de vie



IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES MAÇONNERIES EN PIERRES

Interprétation de l'impact environnemental par flux (matière et énergie)

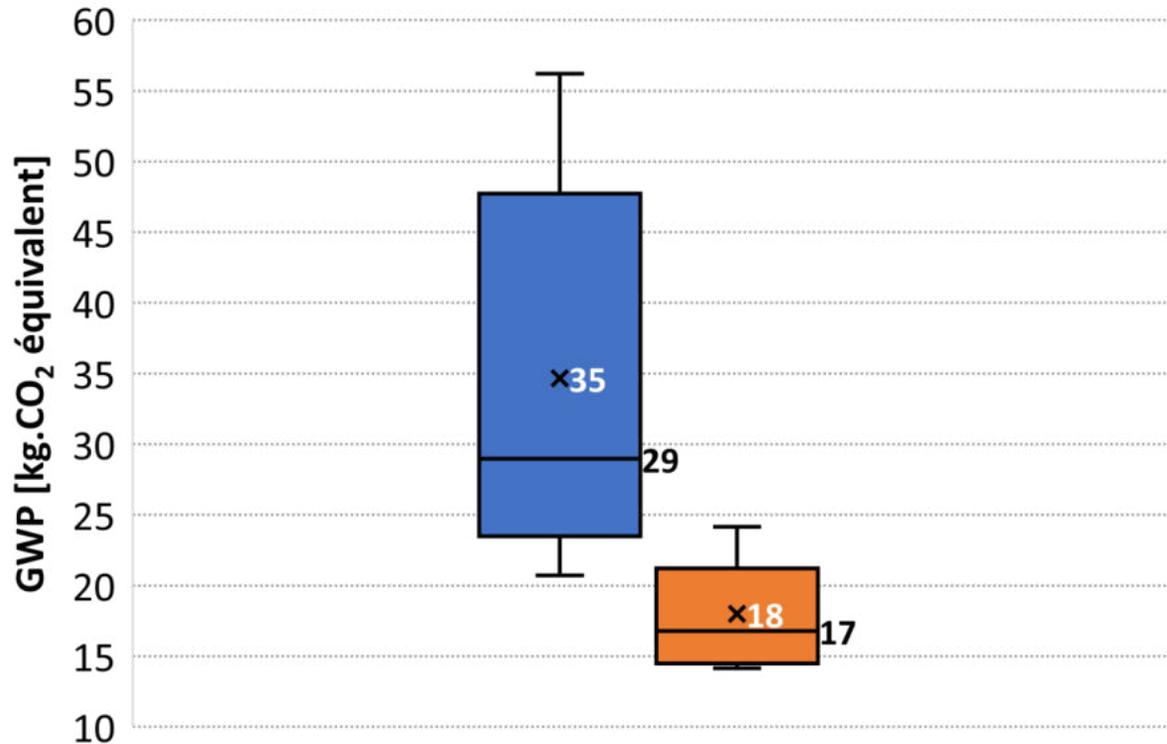


IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES MAÇONNERIES EN PIERRES

Indicateurs d'impacts

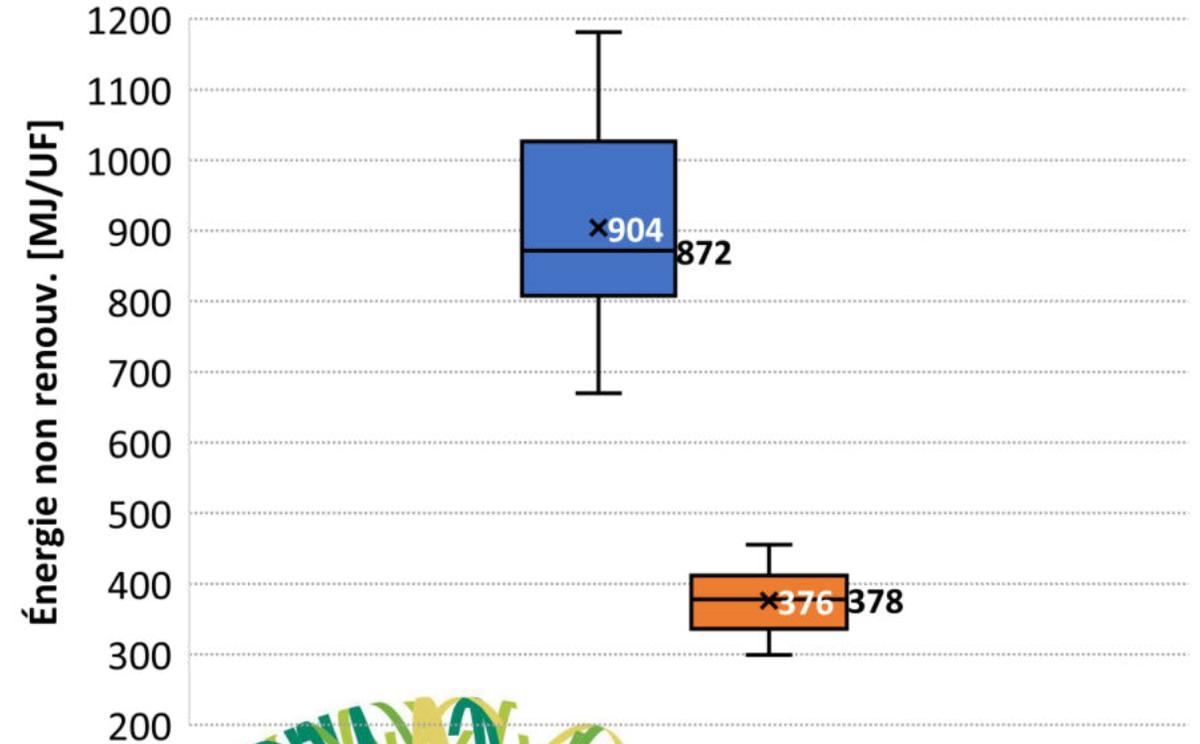
Potentiel de réchauffement climatique

■ Modules A-C ■ Modules A-D



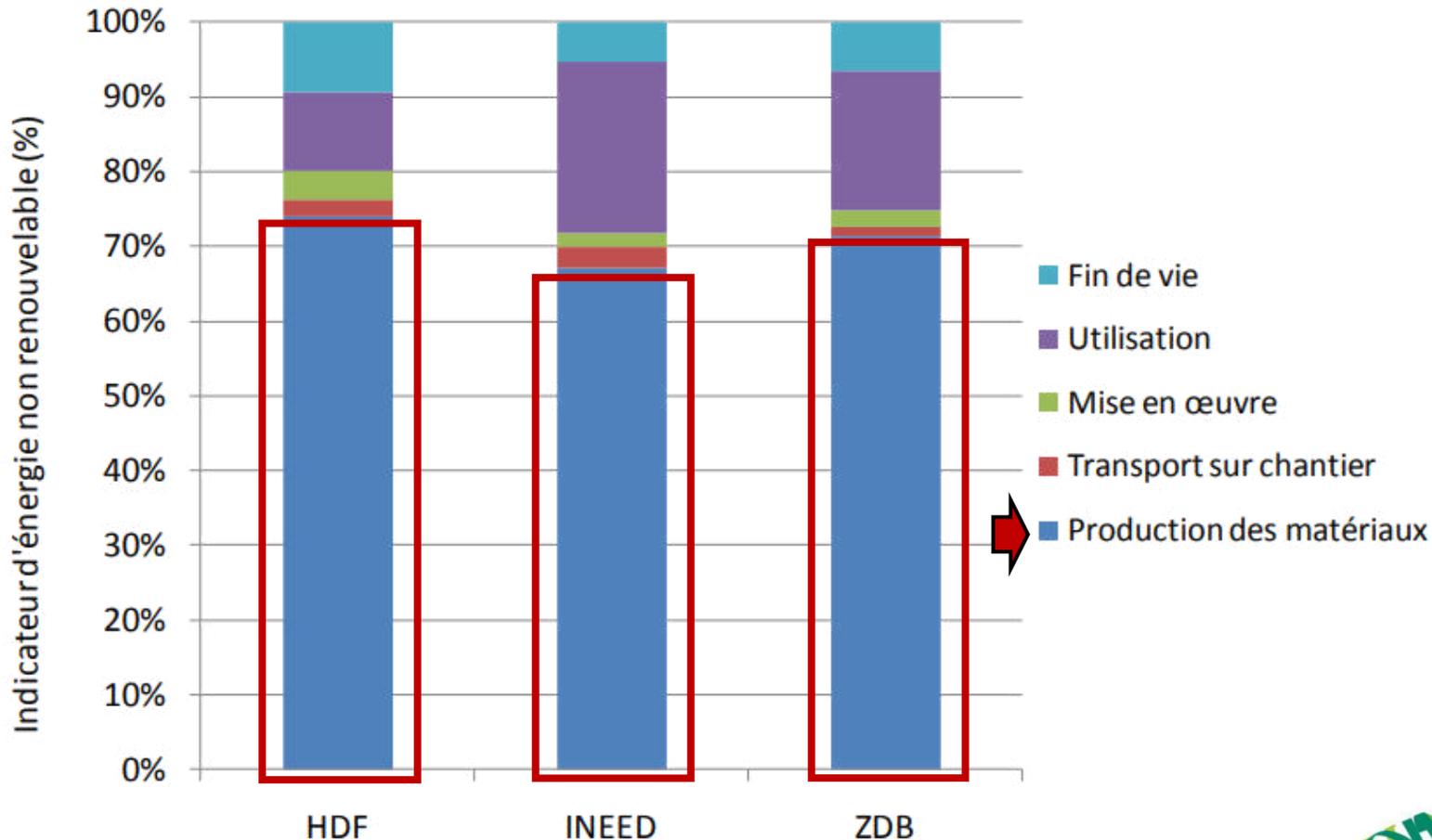
Utilisation d'énergie primaire non renouvelable

■ Modules A-C ■ Modules A-D



IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES MAÇONNERIES EN PIERRES

Impact environnemental par phases dans l'ACV des bâtiments contemporains

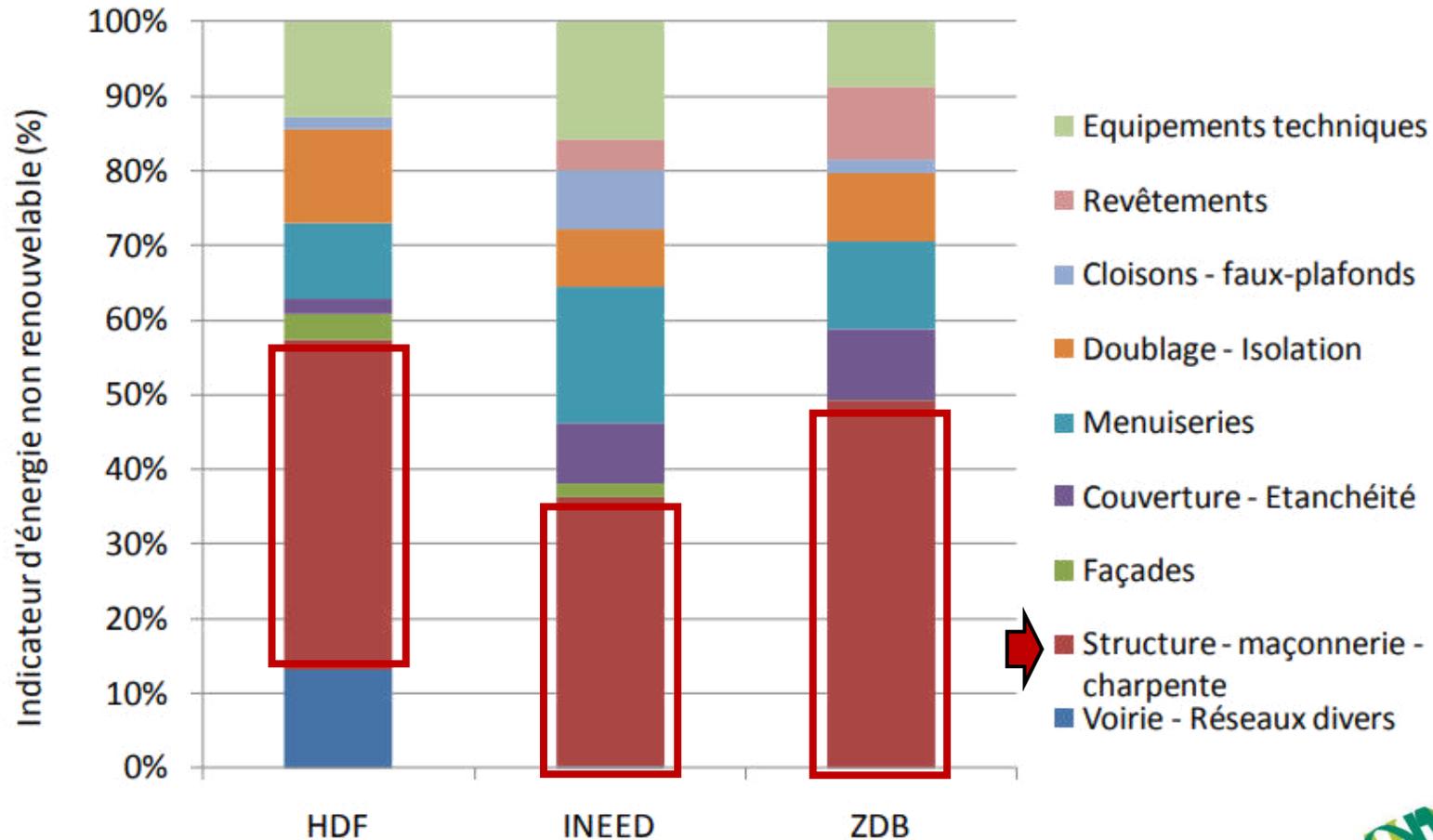


HDF : Maison individuelle
INEED : Bureaux
ZDB : Immeuble collectif

Source : Sébastien LASVAUX « Étude d'un modèle simplifié pour l'analyse de cycle de vie des bâtiments » - 2010

IMPACT ENVIRONNEMENTAL DES MAÇONNERIES EN PIERRES

Contribution des différents lots dans l'ACV des bâtiments contemporains



HDF : Maison individuelle

INEED : Bureaux

ZDB : Immeuble collectif

Source : Sébastien LASVAUX « Étude d'un modèle simplifié pour l'analyse de cycle de vie des bâtiments » - 2010

DÉFI RELEVÉ ?

Expérimentation le 17/11/2016 - Décret RE 2020 le 29/07/21



Nombre de bâtiments	8 avec pierre en façade sur 1412
Typologie	5x ENS. / 1x MI / 1x LC / 1x BUR.
Type d'isolation	5x ITE / 3x ITI
Performance isolation	Up=0,17 [W/m ² .K] soit R=5,7 [m ² .K/W]
Chauffage principal	6x Gaz à condensation / 2x PAC air/eau
VMC	6x Double-flux / 2x Simple-flux
Niveaux énergie	E1(x0) / E2(x6) / E3(x1) / E4(x1)
Niveaux carbone	C0(x3) / C1(x1) / C2(x4)

Niveaux énergie :

- E1, E2 ≈ RT2012 -5% à -10%
- E3, E4 ≈ RT2012 -20%

Niveaux carbone :

- C0 = exigences non évaluées ou non atteintes
- C1 ≈ exigences faibles
- C2 ≈ exigences plus élevées

DÉFI RELEVÉ ?

La performance énergétique et environnementale des bâtiments

- Adéquation aux besoins
- Implantation géographique (microclimat)
- Conception bioclimatique
- **Performance de l'enveloppe** et des systèmes
- Mise en œuvre et maintenance
- Sobriété des usages et production d'énergie ou de chaleur

Plusieurs leviers disponibles



CONCLUSION

Principaux apports des recherches :

- ✓ Classification statistique des calcaires
- ✓ Propriétés hygrothermiques
- ✓ Simulations des transferts hygrothermiques
- ✓ Analyses environnementales





La pierre massive
au défi de
la réglementation
environnementale
2020

MERCI POUR VOTRE ATTENTION

Tristan PESTRE

06 75 44 61 45

pestre.t@ctmnc.fr

www.ctmnc.fr

13^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



Terre et Pierre
Expertise et Innovation



La pierre massive
au défi de
la réglementation
environnementale
2020

13^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



Terre et Pierre
Expertise et Innovation



PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

Projet OEHM

De la caractérisation hygrothermique locale des matériaux à une approche intégrée de l'Optimisation Énergétique de l'Habitat Méditerranéen

A. Chrysochoos, Professeur
Université de Montpellier



La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020
13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021





PROJET COFINANCÉ PAR LE FONDS EUROPÉEN DE DÉVELOPPEMENT RÉGIONAL

AAP R&S : OEHM (2018-2021)

Domaine/thématique du projet

Domaine principal : Transition industrielle et énergétique

Domaine secondaire : Acquisition de données, traitement et visualisation

Domaine d'application industrielle

Construction d'habitations individuelles et collectives

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020
13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



Laboratoire de Mécanique et Génie Civil UMR 5508 UM-CNRS (LMGC)

Structures Innovantes, Géomatériaux, Ecoconstruction (SIGECO – Saint Priest + IUT Nîmes)

Thermomécanique des Matériaux (ThM2)

Service Remix : calcul scientifique

Centre des Matériaux des Mines d'Alès (C2MA-IMT)

Laboratoire Innovation Forme Architecture Milieux (LIFAM-ENSAM)

Vivier Pierre Massif Central (VPMC), 8 carriers,

Saverdun Terre Cuite (céramique), dépôt de bilan en septembre 2019...

Jolie Terre (béton de terre)

CSTB (prestataire) - CTMNC (lettre de soutien en 2018 → partenaire depuis juillet 2020)



- Positionnement du projet
- Opportunités, ambitions
- Conception intégrée multiphysique et multiéchelle
- Structure et programme
- Discussion : matériaux inertiels/résistifs pour l'isolation



Positionnement du projet

6

- **Transition énergétique** : pour l'habitat (méditerranéen). Gaz à effet de serre (30%) – Energie (40%).
- **RE 2020** : les habitations doivent produire la majeure partie de l'énergie qu'elles consomment (BBC ➡ BEPOS).
- **Enjeux scientifiques**
 - minimisation des coûts énergétiques
 - maintien du confort hygrothermique (santé)
 - assurance d'une tenue mécanique



Opportunités, ambitions

- RE 2020 : un « espace de liberté » qui s'ouvre :

ces nouvelles réglementations seront « des réglementations d'objectifs, laissant une liberté totale de conception, limitant simplement la consommation d'énergie ».

- Une transposition possible :

transposer progressivement au monde du BTP des approches globales (intégrées) qui existent dans d'autres secteurs industriels (aéronautique, automobile, ferroviaire).

Expérimentation – Modélisation – Simulation.

- Une démarche moderne (dialogue exp., mod., sim.)

caractérisation des matériaux – modèles multi-physiques – expérimentation et simulation sur structures

- Approche multi-physiques, couplée, intégrée, ... :

air-eau-matériaux, 3 modes de transfert thermique, structure hors équilibre ...



Le projet comprend :

- des aspects expérimentaux liés à la caractérisation « thgm » des matériaux (échelle « micro ») (WP1)
- un travail de modélisation multi-physiques : diffusion instationnaire, couplage hygrothermique, effets convectifs et radiatifs, tenue mécanique des matériaux et des structures. (WP2 – Phys. & Math.)
- la mise en place d'outils numériques et graphiques d'aide à la conception et au dimensionnement des structures d'habitation (approche intégrée). (WP2 – Num. & Inf.)
- un contrôle de la pertinence globale de l'approche *via* des mesures sur bâtiments instrumentés (échelle « macro »). (WP3)
- une analyse de typologie et morphologie d'habitats adaptées au climat méditerranéen – aspects anthropiques. (WP4)



Caractérisation des matériaux

9

- Expérimentation : caractériser finement les matériaux ou les éléments de structures composites, sur un plan à la fois :
 - thermique (conduction vs. chaleur spécifique, dilatation), cf. discussion de fin d'exposé
 - hygrométrique (humidité, moisissure, mycotoxines)
 - mécanique (résistance, acoustique, fatigue).

- Les matériaux privilégiés seront :
 - des matériaux standards de la construction (références)
 - des matériaux naturels (pierres, terre cuite, paille, terre crue)
 - des assemblages conduisant à des éléments multifonctionnels.



Modélisation multi-physique

10

- Mise en place de modèles mathématiques physiquement motivés ; multi-physique instationnaire et couplée (transfert et de masse, transfert de chaleur, rayonnement)
- Approche multi-échelle cohérente par rapport au bilan d'énergie et de masse permettant de réduire la complexité du modèle global (réduction de modèle)
- Stratégie de résolution numérique : calcul parallèle (HPC@LR)
- Interface utilisateur ergonomique



Benchmark test : habitats instrumentés («macro»)

11

○ Objectif : tester la pertinence de l'approche

- les prédictions issues de simulations numériques seront comparées aux données collectées sur des bâtiments individuels privés ou publics, instrumentés (ENSAM).

- une bonne concordance des prédictions numériques et des mesures, pour divers chargements et diverses structures, sera le garant d'une compréhension et donc maîtrise des mécanismes.

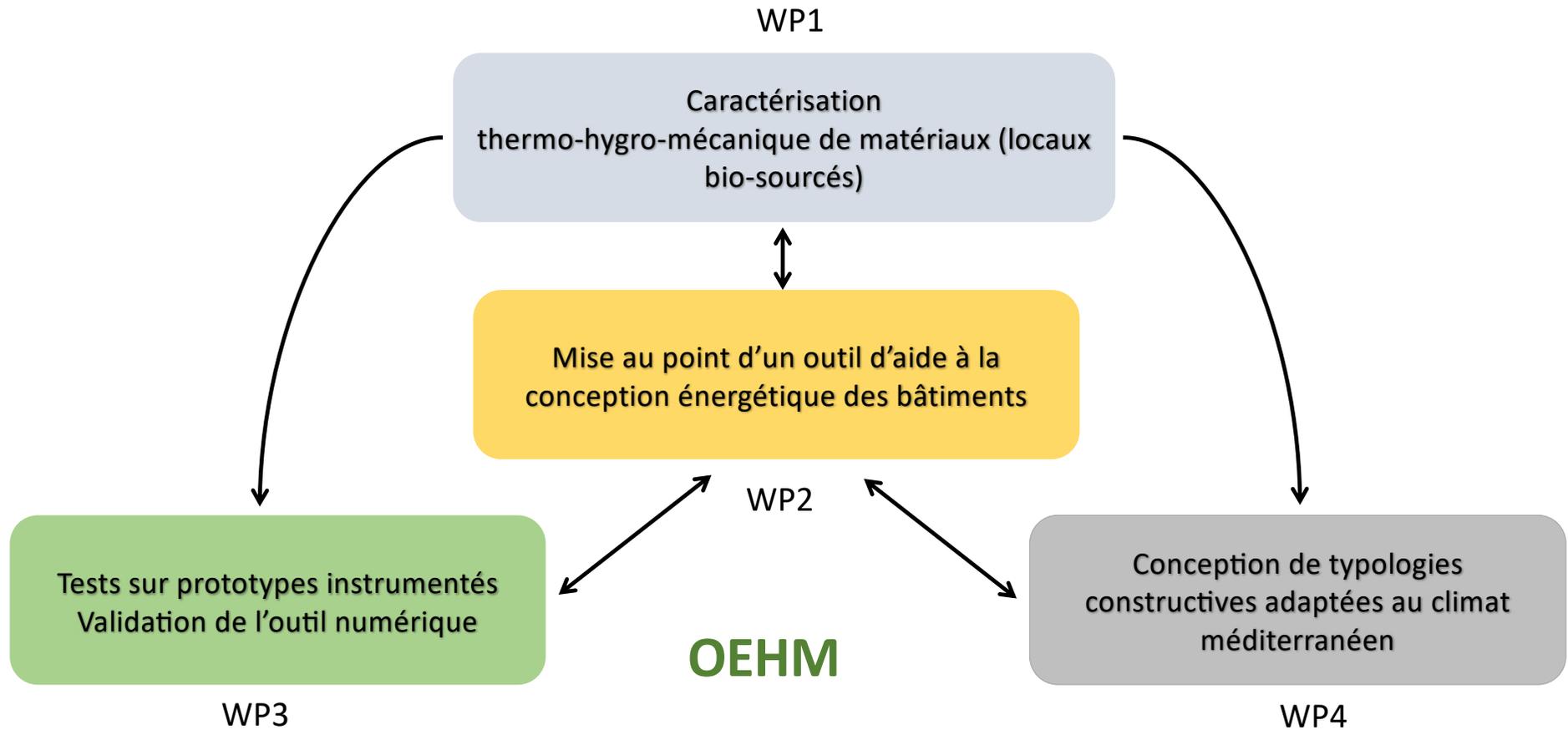
- vers un outil de CAO : orientation des solutions technologiques futures en s'appuyant sur le pouvoir prédictif du code.

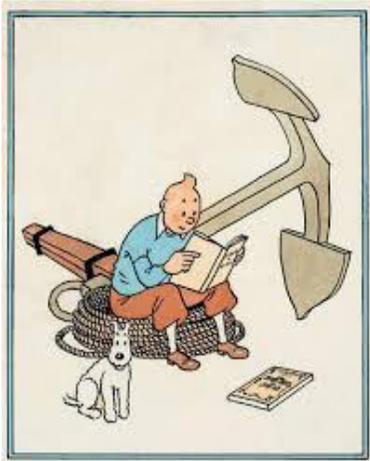
- une attention particulière sera portée aux solutions techniques «passives» durables, à faible coût d'entretien.

○ Limoux (STC) : Villa instrumentée, habitée depuis plus de 5 ans.

○ Nîmes (IUT) : Maison de Gardian, banc d'essais à l'échelle 1.

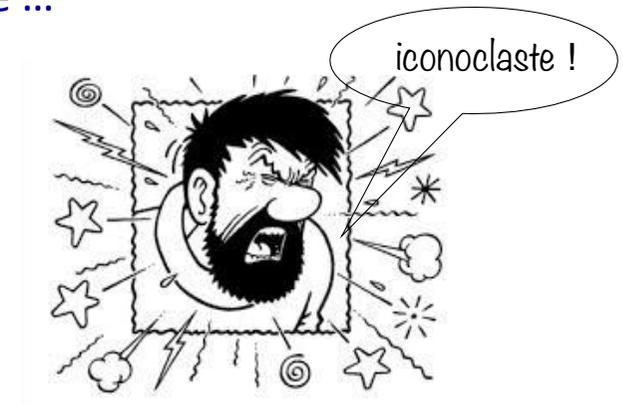






Discussion

un exemple illustratif de notion bien ancrée ...



Transmission U ou résistance thermique R

La valeur U est le quotient de la densité de flux thermique qui traverse, en régime stationnaire, l'élément de construction considéré, par la différence de température entre les deux ambiances contiguës à cet élément. Le coefficient de transmission thermique d'un élément est l'inverse de sa résistance totale.

Office fédéral de l'énergie. 2002. *Catalogue d'éléments de construction Avec calcul de la valeur de U . Construction neuve.*



... mais sont étendues, **implicitement, aux situations non stationnaires.**
Pour preuve, elles servent dans les normes de construction ...

Le coefficient de transmission thermique U – plus simplement nommé valeur U et auparavant valeur k – est l'un des paramètres les plus importants du calcul de l'isolation thermique des bâtiments. La valeur U est essentiellement utilisée dans l'évaluation de la qualité de l'isolation thermique d'un élément de construction. Il occupe une place importante dans les normes et les prescriptions cantonales sur l'isolation thermique.

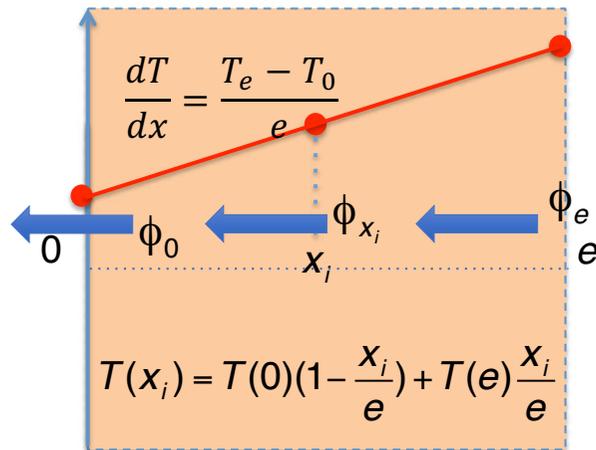
Office fédéral de l'énergie. 2002. *Catalogue d'éléments de construction*
Avec calcul de la valeur de U . Construction neuve.



Quelques rappels

16

En régime thermique stationnaire, pour un milieu homogène, la température évolue linéairement au sein du composant (homogène !).



Le flux qui « entre » en $x=e$ est donc égal au flux qui « sort » en $x=0$. On parle alors de *flux conservatif*. Il peut s'écrire en fonction des températures de paroi.

*Mais il faut pour cela être en régime
STATIONNAIRE !!*



En régime thermique stationnaire, pour un milieu homogène, on définit alors :

- ❖ *Le facteur U de transmission thermique d'une paroi homogène. Il se définit comme la valeur absolue du rapport du flux sur le déséquilibre thermique dans la paroi :*

$$U = \left| \frac{\phi}{T(e) - T(0)} \right|$$

- ❖ *La résistance thermique R qui est simplement l'inverse du coefficient de transmission. Elle relie le déséquilibre thermique (stationnaire !) au flux de chaleur transmis :*

$$|T(e) - T(0)| = R \cdot \phi$$

Conduction/résistance : des notions bien ancrées ...



<http://www.toutsurlisolation.com/renovation>



Une conséquence immédiate

Une première conséquence induite par cette attitude, est le fait (de négliger ? d'oublier ? d'ignorer ?), lors de la conception des composants puis des bâtiments, *la capacité calorifique* des matériaux constitutifs.

Effet capacitif => « effet d'inertie »

La forme instationnaire de l'équation (1D) de la chaleur, en l'absence de source, peut se réécrire comme :



$$\underbrace{\rho C \frac{\partial T}{\partial t}}_{\text{stockage / déstockage}} - \underbrace{\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right)}_{\text{apport / fuite}} = 0$$



Equilibre entre la chaleur stockée (ou déstockée) en tout point du matériau et le bilan positif (ou négatif) de densité de flux de chaleur.

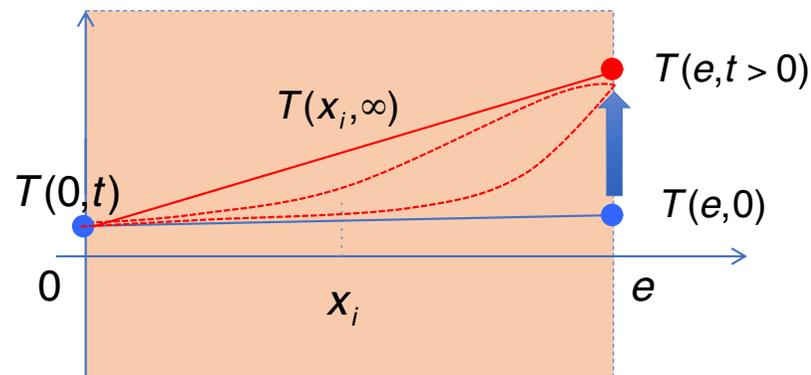
Un petit calcul ...

Inertie thermique et temps de retour à l'équilibre

Soit une brique pleine d'épaisseur $e = 30$ cm. Ce milieu à l'équilibre, à température ambiante, disons 20°C , voit à l'instant initial, une de ses extrémités passer de 20 à 30°C .

Question à la Fernand Raynaud :

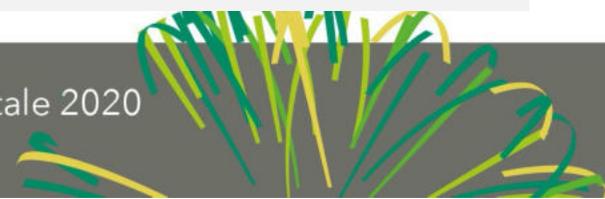
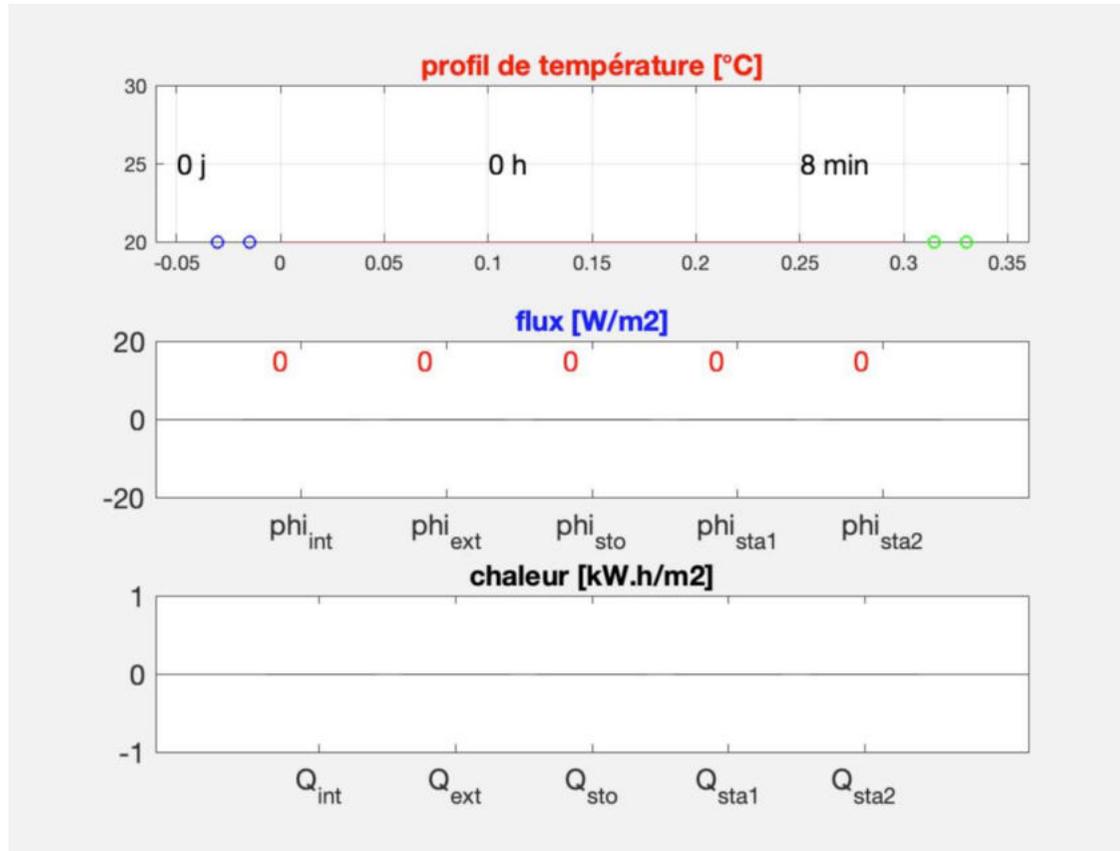
« En combien de temps, le milieu retrouve-t-il un état d'équilibre thermique stationnaire ? »



$$\left\{ \begin{array}{l} \rho C \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \\ T(x=0, t > 0) = 20^\circ\text{C} \\ T(x=e, t > 0) = 30^\circ\text{C} \\ T(x, t \leq 0) = 20^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

Essai # 1 : Retour vers un équilibre thermique stationnaire

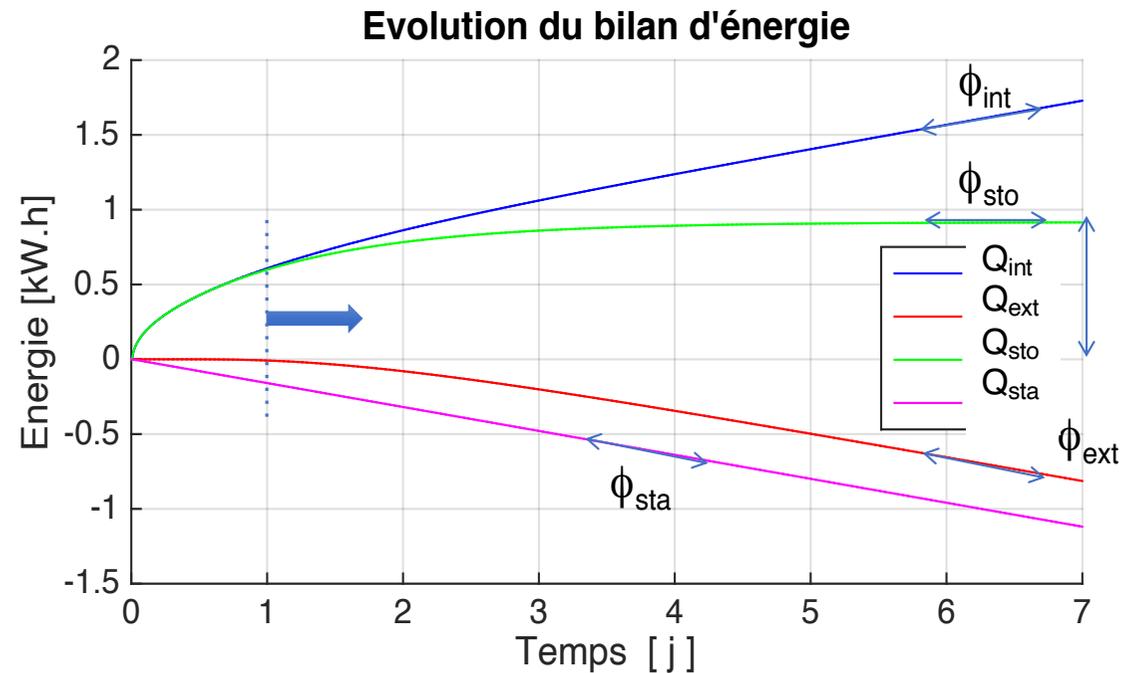
CvsK_0



Analyse des résultats (I)

Bilan des énergies au cours du temps.

- ❖ Q_{int} : flux d'énergie passant par la surface interne
- ❖ Q_{ext} : flux d'énergie passant pas la surface externe
- ❖ Q_{sto} : énergie stockée dans la paroi
- ❖ Q_{sta} : énergie correspondant au flux en régime stationnaire.



CvsK_0

Analyse des résultats (II)

En fin de test, on constate que :

- ❖ Les flux entrant, sortant en « stationnaire » sont égaux (ouf !).
- ❖ Mais la durée de la simulation correspond à environ 7 jours avec des conditions aux limites constantes dans le temps.

Attention ! Cette situation est totalement irréaliste.

Une température extérieure ne reste jamais constante plusieurs jours durant !!

- ❖ La cloison conserve une part non négligeable d'énergie (Q_{sto}), non encore définitivement perdue ou, en d'autres termes, potentiellement « réutilisable ».



Essai #2 : évolution cyclique de la température externe

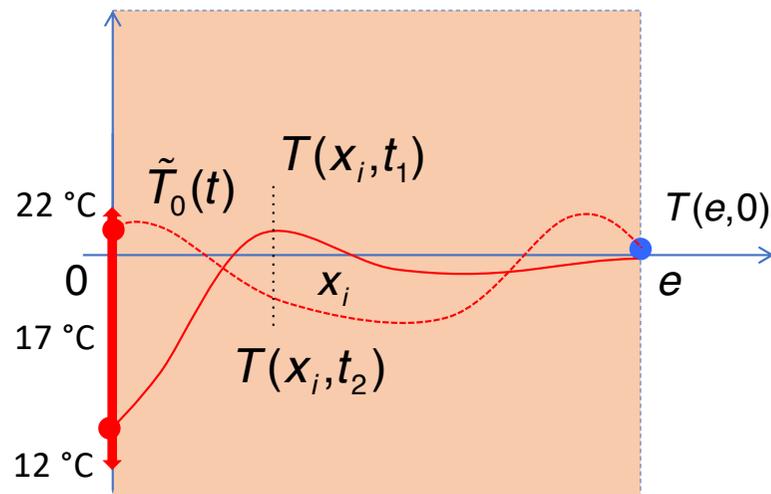
❖ Matériaux, structure

$$\begin{aligned}\rho &= 2200 \text{ kg.m}^{-3} \\ C &= 1000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} \\ \lambda &= 0.2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \\ e &= 0.3 \text{ m}\end{aligned}$$

❖ Chargement thermique

$$\begin{aligned}\tilde{T}_0(t) &= 17 + 10.\sin\left(\frac{2\pi}{P}t + \varphi_0\right) \\ \varphi_0 / 10.\sin(\varphi_0) &= 3 \text{ et } P = 1 \text{ jour}\end{aligned}$$

❖ Durée du test = 2 semaines

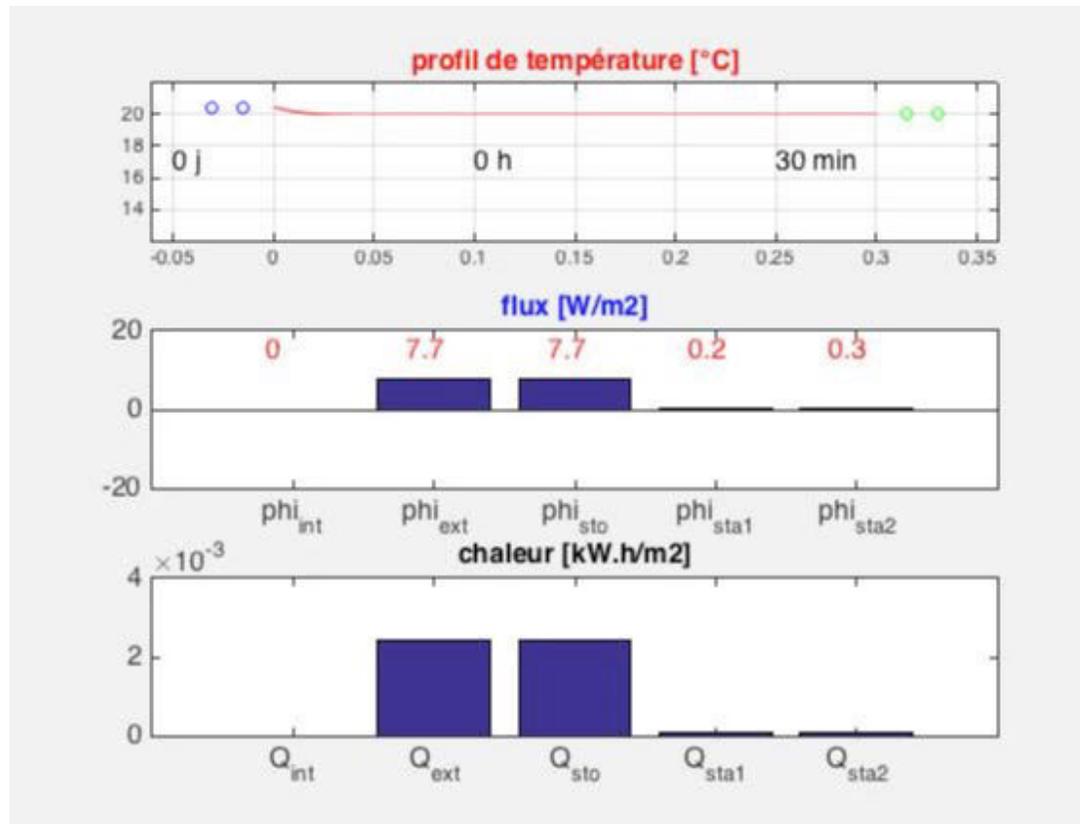


❖ Problème à résoudre

$$\left\{ \begin{aligned}\rho C \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} &= 0 \\ T(x=0, t > 0) &= \tilde{T}_0(t) \\ T(x=e, t > 0) &= 20^\circ\text{C} \\ T(x, t \leq 0) &= 20^\circ\text{C}\end{aligned}\right.$$

Visualisation des effets d'inertie

CvsK_1a



Essai #3 : optimisation de l'isolation ? diffusivité / 10

26

❖ Matériaux, structure

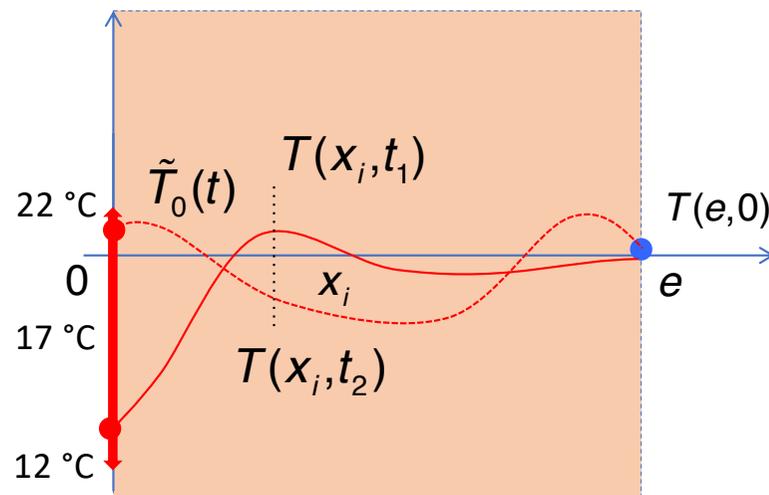
$$\begin{aligned} \rho &= 5500 \text{ kg.m}^{-3} \\ C &= 2000 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1} \\ \lambda &= 0.1 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1} \\ e &= 0.3 \text{ m} \end{aligned}$$

❖ Chargement thermique

$$\tilde{T}_0(t) = 17 + 10.\sin\left(\frac{2\pi}{P}t + \varphi_0\right)$$

$$\varphi_0 / 10.\sin(\varphi_0) = 3 \text{ et } P = 1 \text{ jour}$$

❖ **Durée du test = 2 semaines**

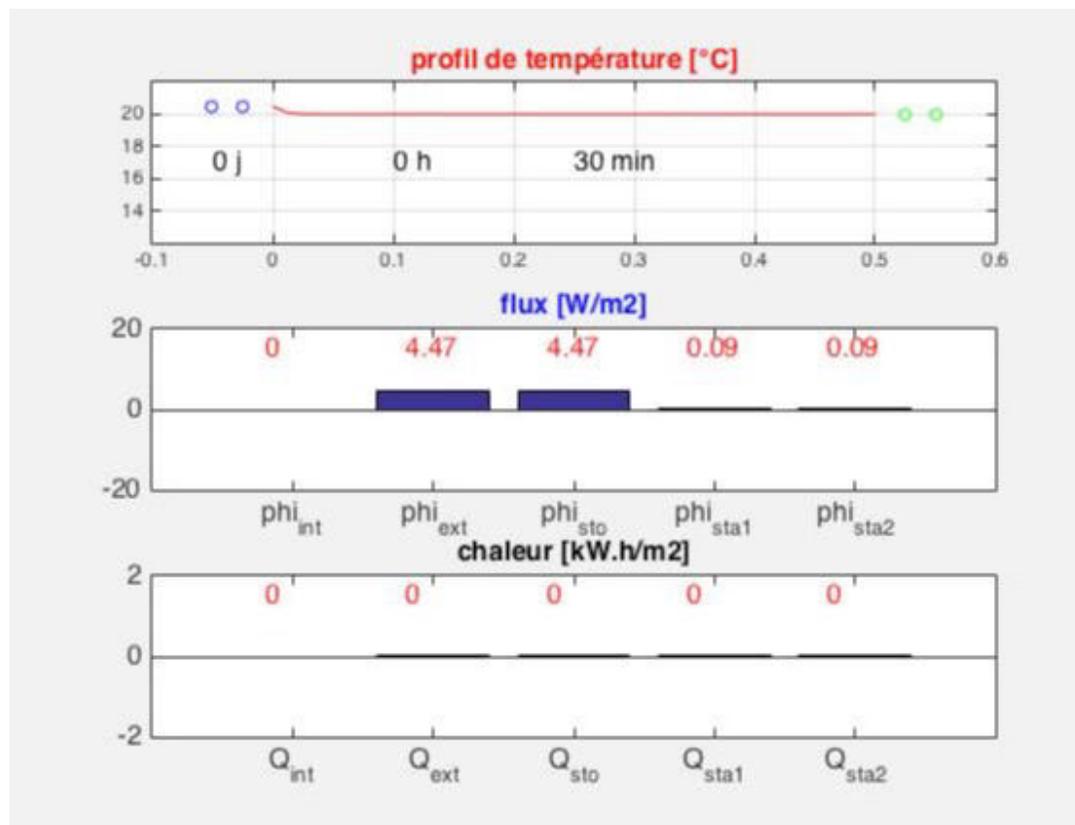


❖ Problème à résoudre

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho C \frac{\partial T}{\partial t} - \lambda \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \\ T(x = 0, t > 0) = \tilde{T}_0(t) \\ T(x = e, t > 0) = 20^\circ\text{C} \\ T(x, t \leq 0) = 20^\circ\text{C} \end{array} \right.$$

Diffusivité et effet de « peau thermique »

CvsK_1b



Quelques remarques finales

- ❖ Chercher une « optimisation énergétique de l'habitat », sans tenir compte quantitativement des effets d'inertie, semble être une gageure. **L'isolation n'est pas qu'une affaire de résistance.**
- ❖ Ces résistances n'ont de sens qu'en **régime stationnaire**, qui lui-même n'en a pas en pratique, vu les inerties des matériaux constitutifs des éléments de construction et la forme des chargements thermiques dont ils sont le siège....
- ❖ Une lecture (très partielle) de textes liés à la réglementation thermique (RT2012) fait bien apparaître le concept d'**inertie**. Mais sa prise en compte reste (semble-t-il) très **qualitative**, contrairement à tout ce qui est fait pour le calcul (analytique) des résistances et des ponts thermiques... L'inertie semble souvent liée au **confort thermique** (l'été particulièrement ?!), mais ne semble pas entrer quantitativement en ligne de compte dans le calcul des fuites thermiques.
- ❖ Le plus troublant est que la notion de **résistance thermique**, généralisée aux situations **hors équilibre thermique stationnaire**, ne semble être le sujet d'aucune **controverse**.



Merci pour votre attention

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020
13^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021





La pierre massive
au défi de
la réglementation
environnementale
2020

13^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC

Présentation du bâtiment

8 logements (4 T2 / 2 T3 / 1 T5 / 1 T6)

Bâtiment en R+4

Emprise au sol du bâtiment : 163 m²

SHAB moyenne : 62 m² /log

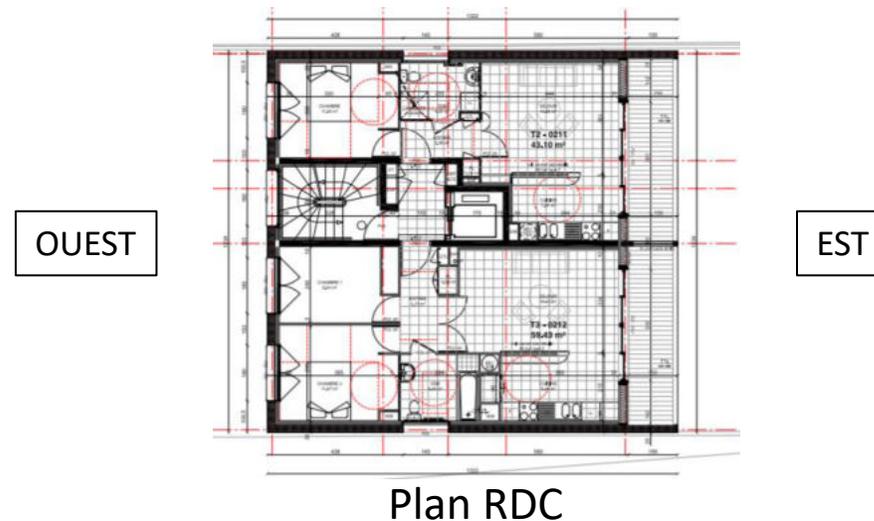
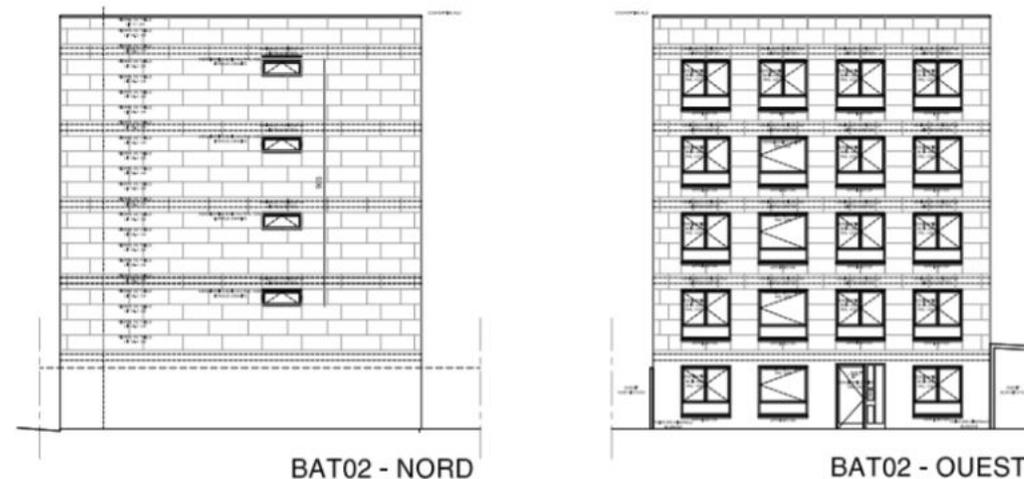
100% de logements traversants

Ratio surf baie/SHAB = **30%**

Balcons : environ 9 m²/log

Inertie lourde

SRT	640 m ²
SHAB	492 m ²
Ratio	1,30



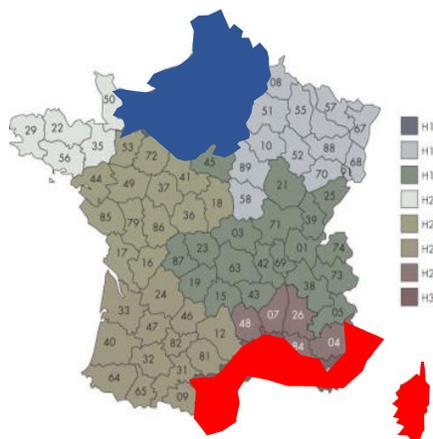
Architecte Laurent Lehmann

Prestations RE2020

Prestations RE2020		
Mode constructif	Variante pierre	Murs en pierre d'épaisseur 25cm
	Variante béton	16 cm de béton + Enduit extérieur / pierre en double mur
	Variante brique	Murs en brique d'épaisseur 20cm + Linteaux et chaînage vertical + Enduit extérieur
Isolant façade		Polystyrène 120mm
Isolant plancher terre-plein		Sous chape : Polyuréthane 100mm Sous dalle : Polystyrène 100mm
Isolant toiture terrasse		Polyuréthane 160mm
Traitement des ponts thermiques		Rupteurs de ponts thermiques en plancher intermédiaire et acrotères
Perméabilité à l'air		1 m ³ /h.m ²
Menuiseries extérieures		Mixtes bois/alu U _w = 1,3 W/m ² .K
Occultations		Volets roulants PVC manuel



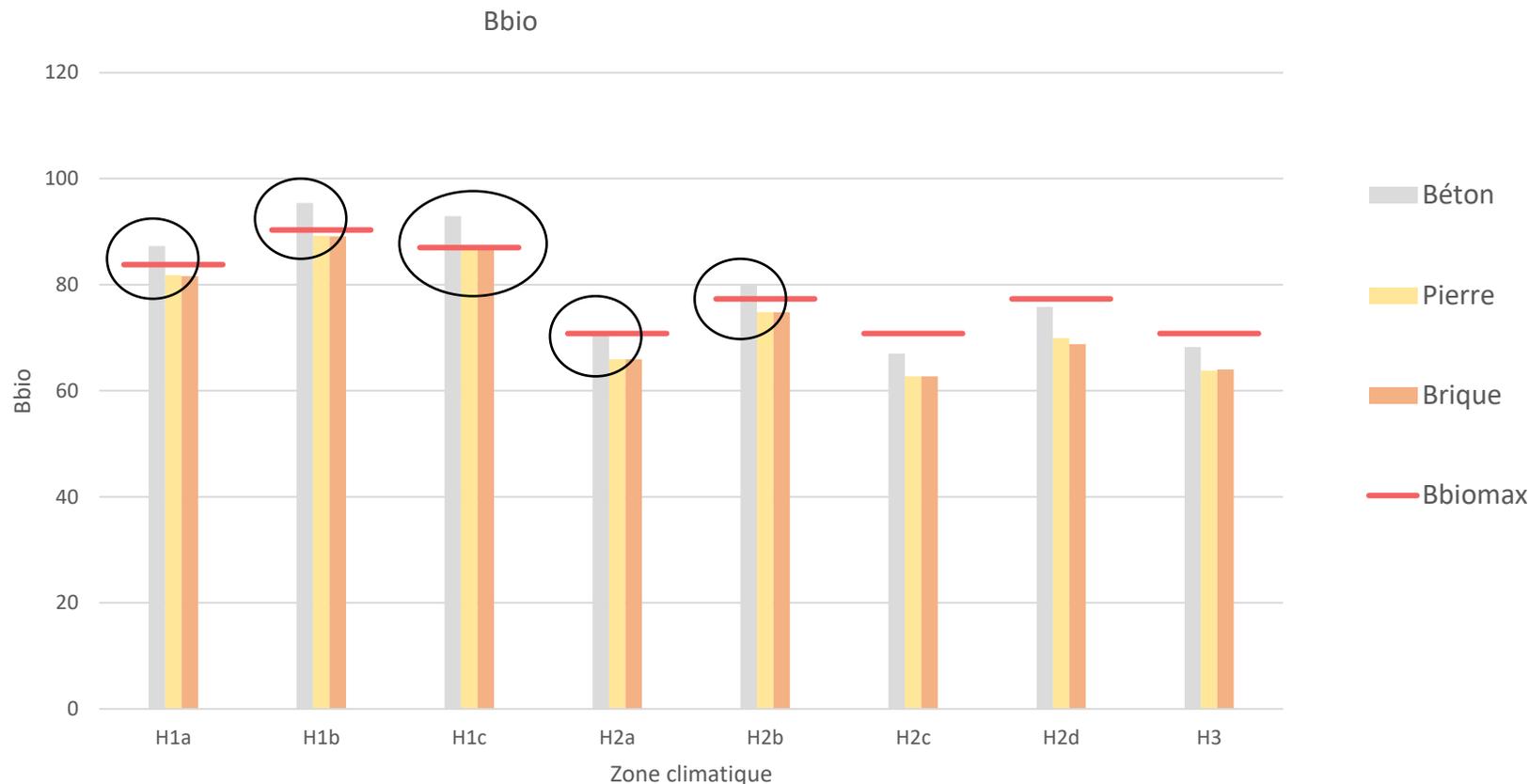
Répartition du Bbio



Répartition du Bbio Pierre

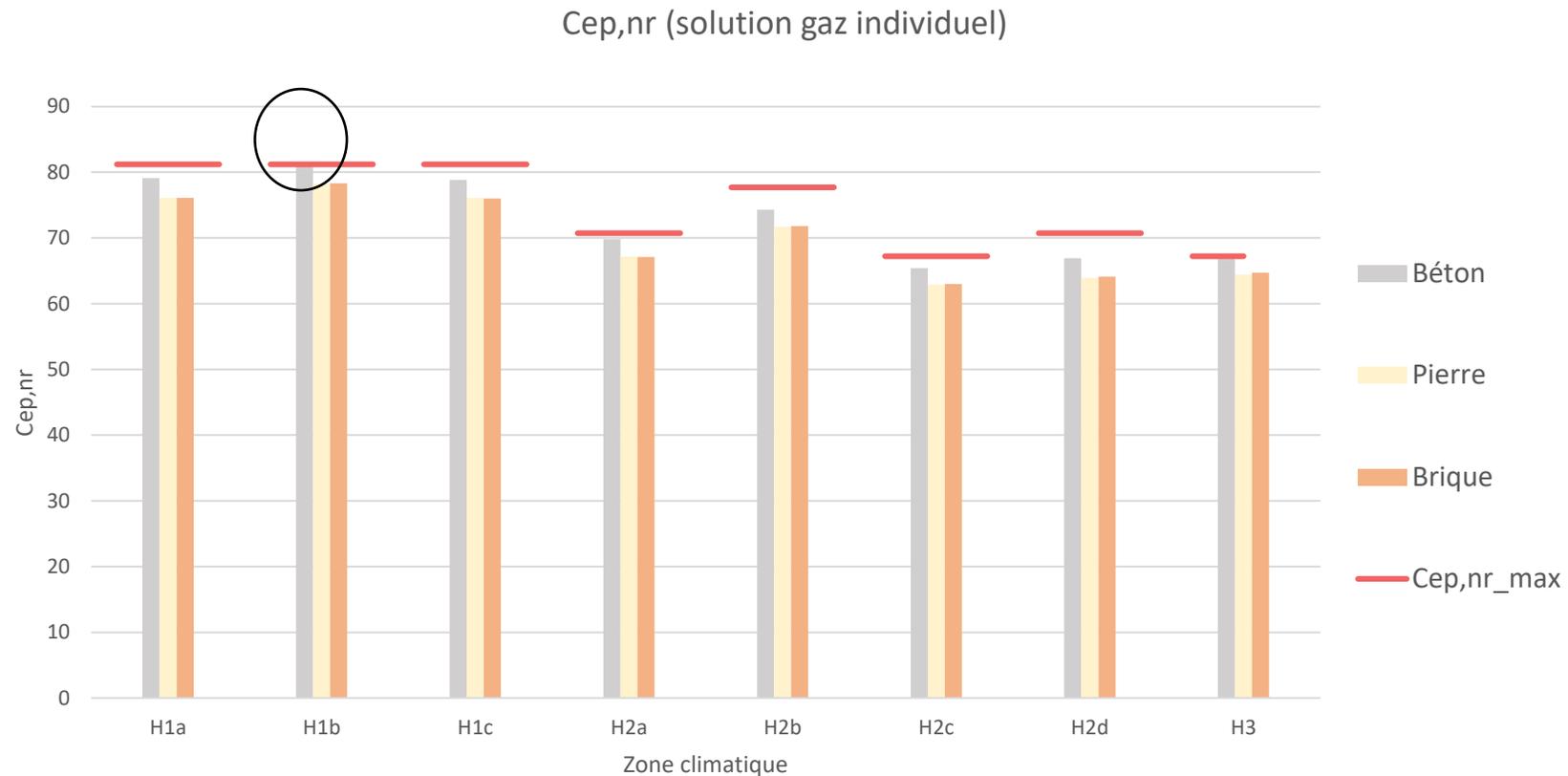


Résultats Bbio – Comparaison modes constructifs



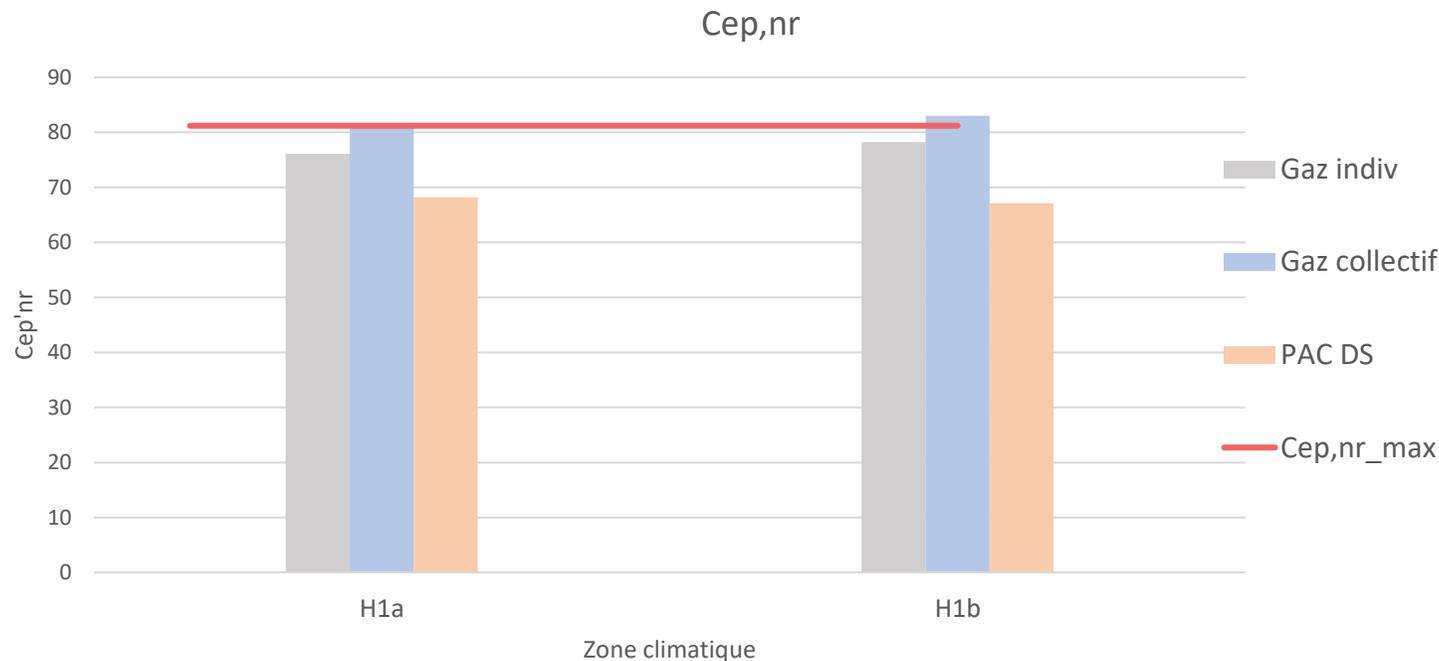
Dépassement du seuil 2022 pour le mode béton + enduit dans 5 zones climatiques
Zone H1c : léger dépassement pour les modes pierre naturelle et brique

Résultats Cep,nr – Gaz individuel



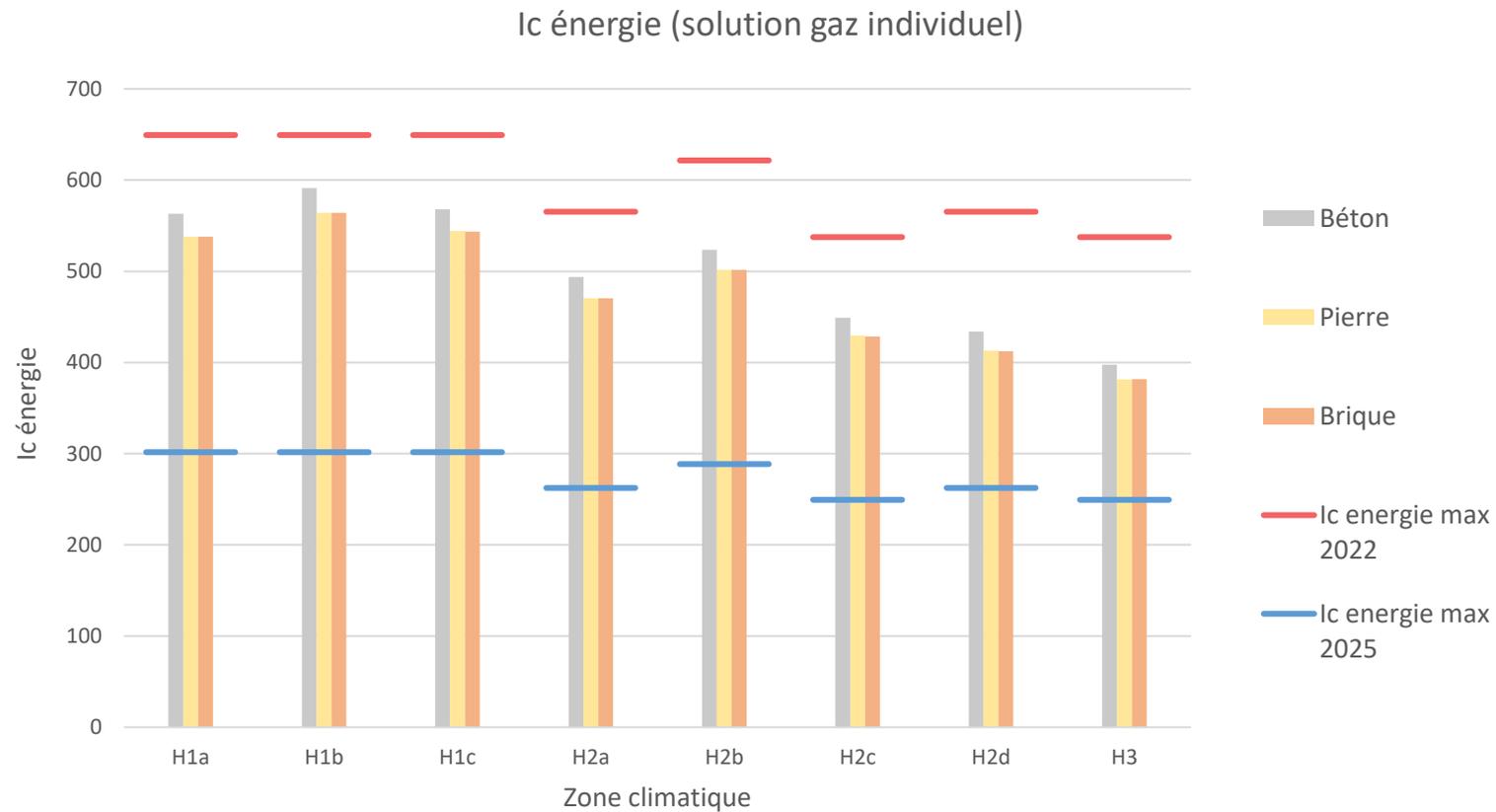
Béton : léger dépassement en zone H1b, passage de justesse en zone H2a et H3

Résultats Cep,nr – Solution pierre



Solution pierre associée aux autres solutions énergétiques passent toute France
Hormis H1b de justesse en gaz collectif

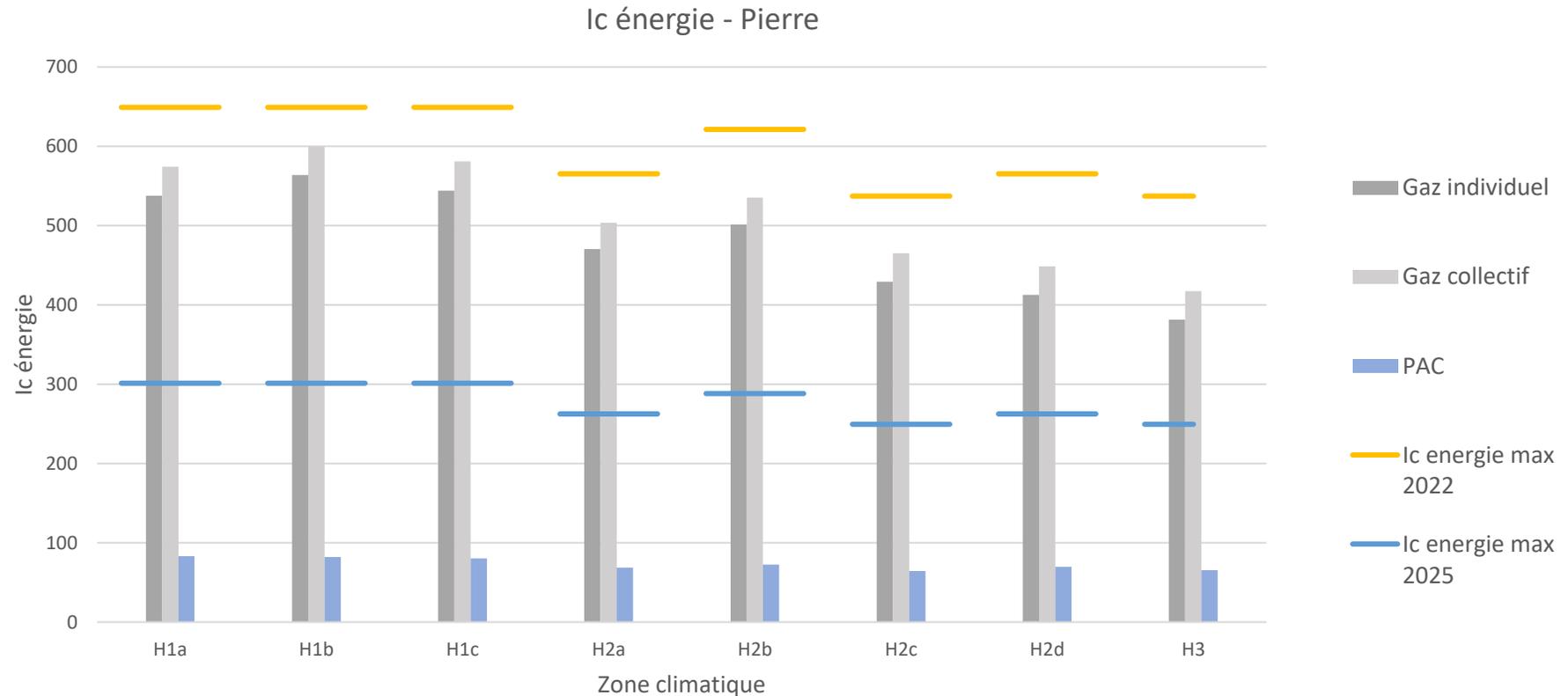
Résultats Ic,énergie– Gaz individuel



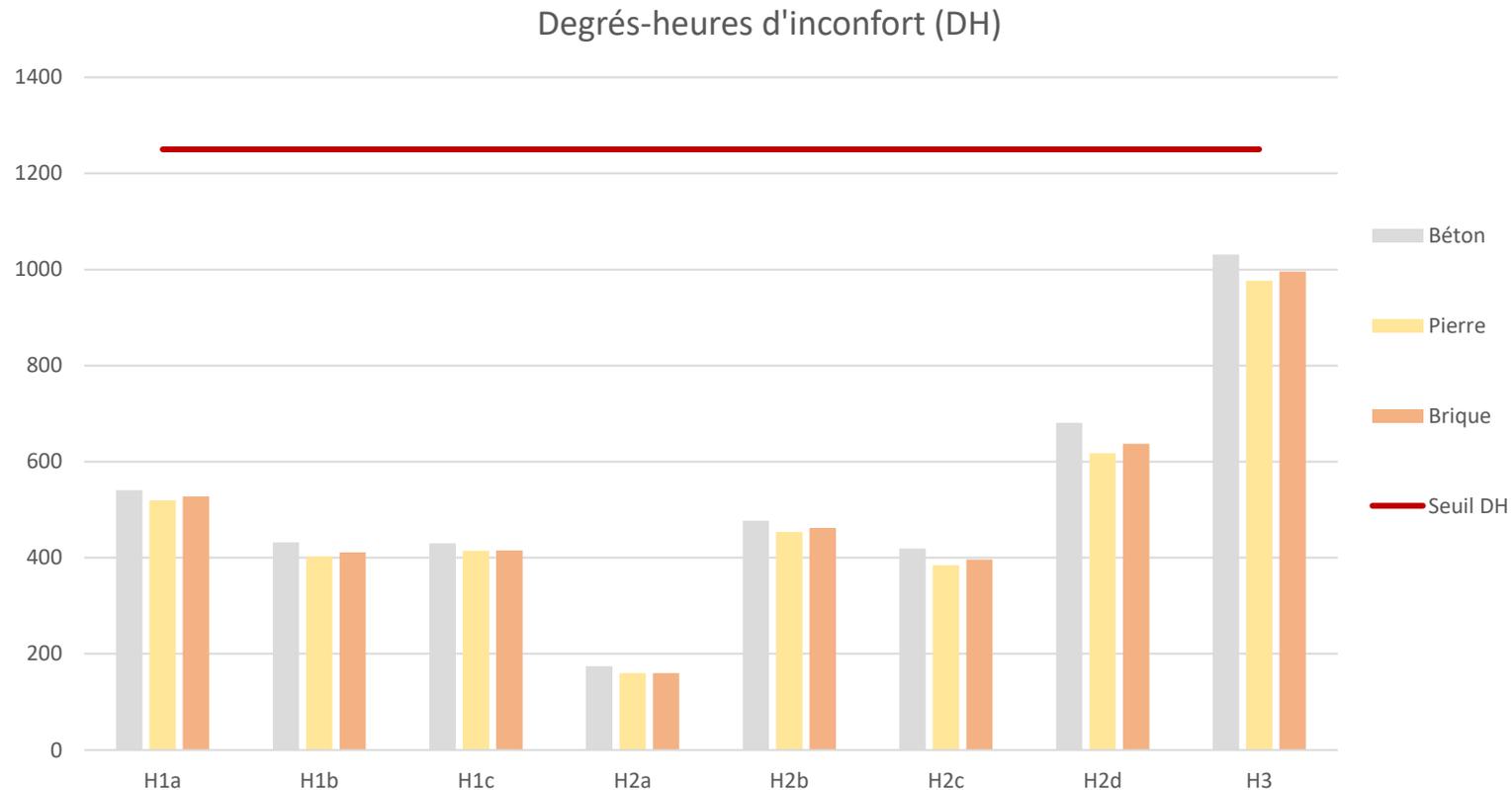
Pas de contrainte en 2022 sur le Ic,énergie



Résultats Ic,énergie– Pierre

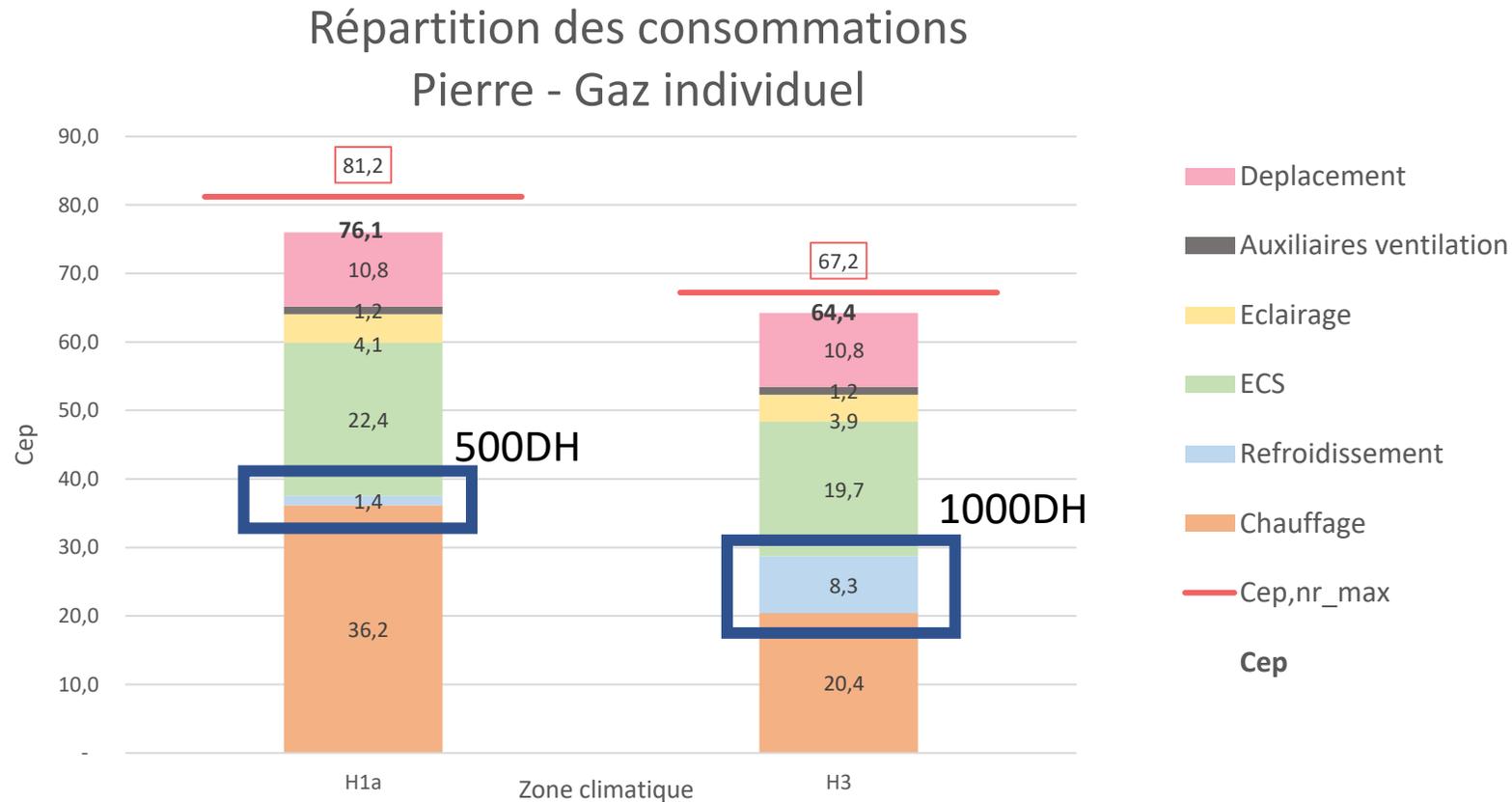


Résultats DH – Gaz individuel



100% des logements
sont traversants

Répartition des consommations

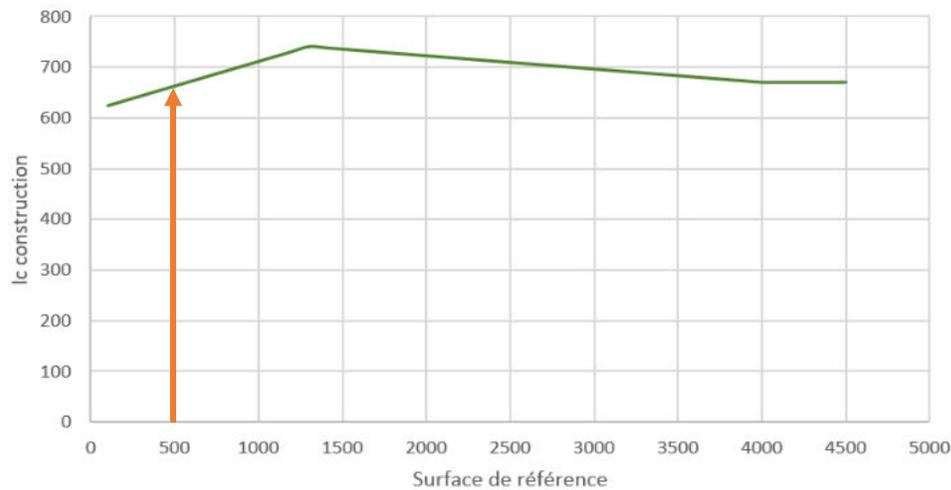


Calcul seuil Ic construction

Ic construction maxmoyen 2022 = **740 kgCO2eq/m2**

$Ic_{\text{construction_max}} = Ic_{\text{construction_maxmoyen}} \times (1 + Micombles + Misurf) + Migéo + Miinfra + Mivrd + Mided$

Evolution Ic construction en fonction de la SHAB



Misurf	-0,105
Migéo	0
Miinfra (si Ic_lot2 > 40 kgCO2eq/m2)	36
Mivrd (si Ic_lot1 > 10 kgCO2eq/m2)	0
Mided	0

Ic construction max 2022 = **698 kgCO2eq/m2**



Données étude carbone

Fiche	Type	Porteur	Date d'édition	kgCO2eq/m2	Durée de vie de référence	Distance jusqu'au chantier (A4)	Epaisseur
Mur en Pierre du Midi	Collectif	Association Pierres du Sud	01/2019	22,7	100 ans	110km	40 cm
Murs en pierre naturelle ALBAMIEL	Individuelle	Rosal Stones	10/2020	89,3	100 ans	1623 km	15 à 45 cm
Petits éléments de maçonnerie en pierre naturelle (mortier de jointement inclus)	DED		12/2019	22,7	100 ans	/	20 cm
	DED		12/2019	34,1	100 ans	/	20 à 30 cm
	DED		12/2019	45,4	100 ans	/	30 à 40 cm
Brique de structure de 20 cm pour pose à joint mince	Collective	CTMNC	02/2018	29,5	100 ans	308 km	20 cm
Brique Bio'bric Bgv'costo th+	Individuelle	Bouyer Leroux	04/2018	22,4	100 ans	222 km	20 cm

	Type de béton	Type de ciment	Armatures	Type	kgCO2eq/m2	Durée de vie de référence	Distance jusqu'au chantier	Epaisseur
Voiles façade béton	XC1, C30/37	CEM II/A	27 kg/m3	Collective – Configurateur BETie	42,5	100 ans	18,5 km	16cm
Plancher dalle pleine	XC1, C25/30	CEM II/A	58 kg/m3	Collective – Configurateur BETie	55,4	100 ans	18,5 km	20cm



Impact lié au transport de la pierre

Fiche	kgCO2eq/m2	Dont transport	Hypothèse distance	kgCO2/m2/km	kgCO2 sans transport
Mur en Pierre du Midi	22,7	6,9	110km	0,063	15,8
Murs en pierre naturelle ALBAMIEL	89,3	67,9	1623km	0,041	21,4

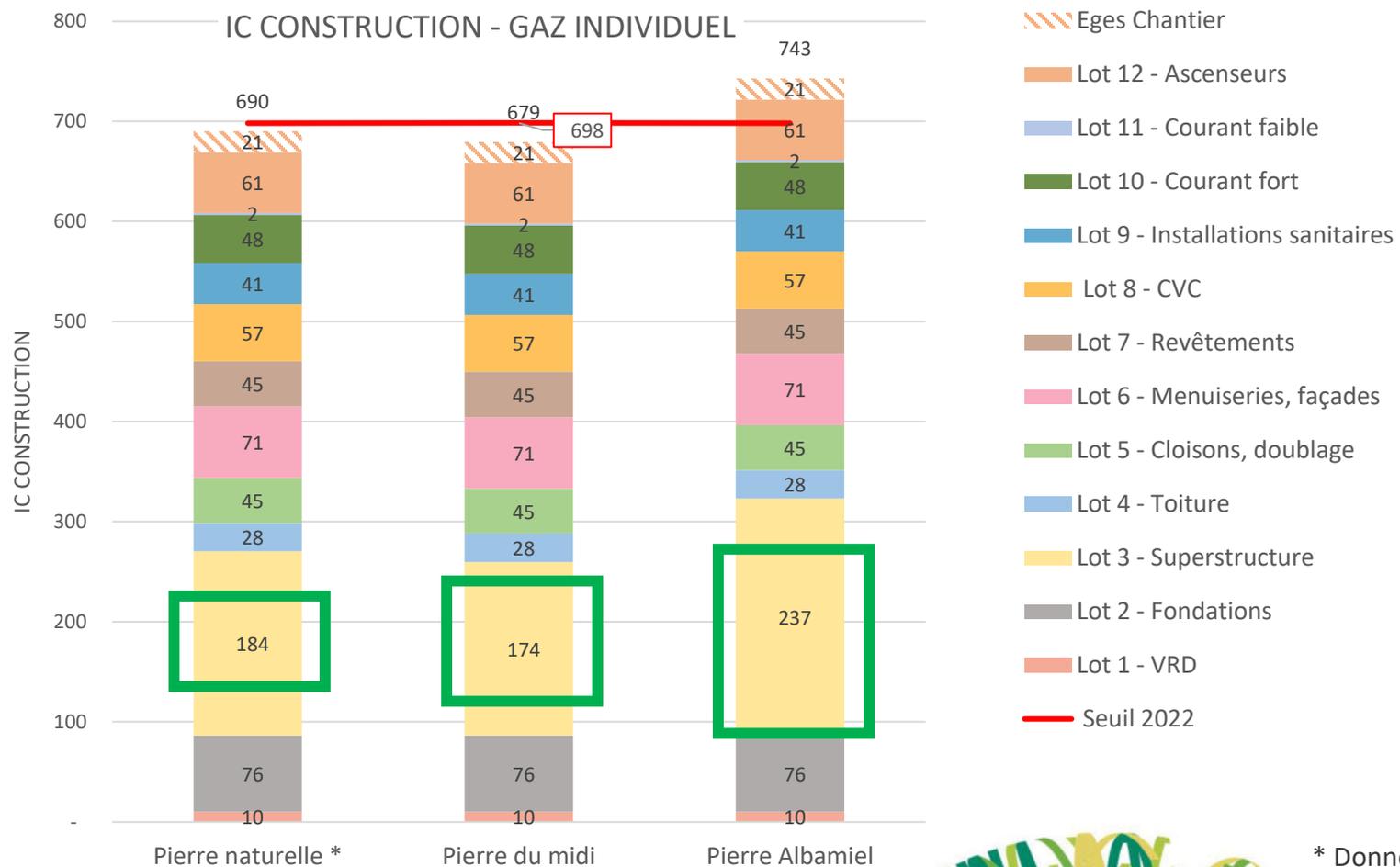
Si distance équivalente à 200km :

- Pierre du Midi : 28,3kgCO2/m²
- Albamiel : 29,8kgCO2/m²

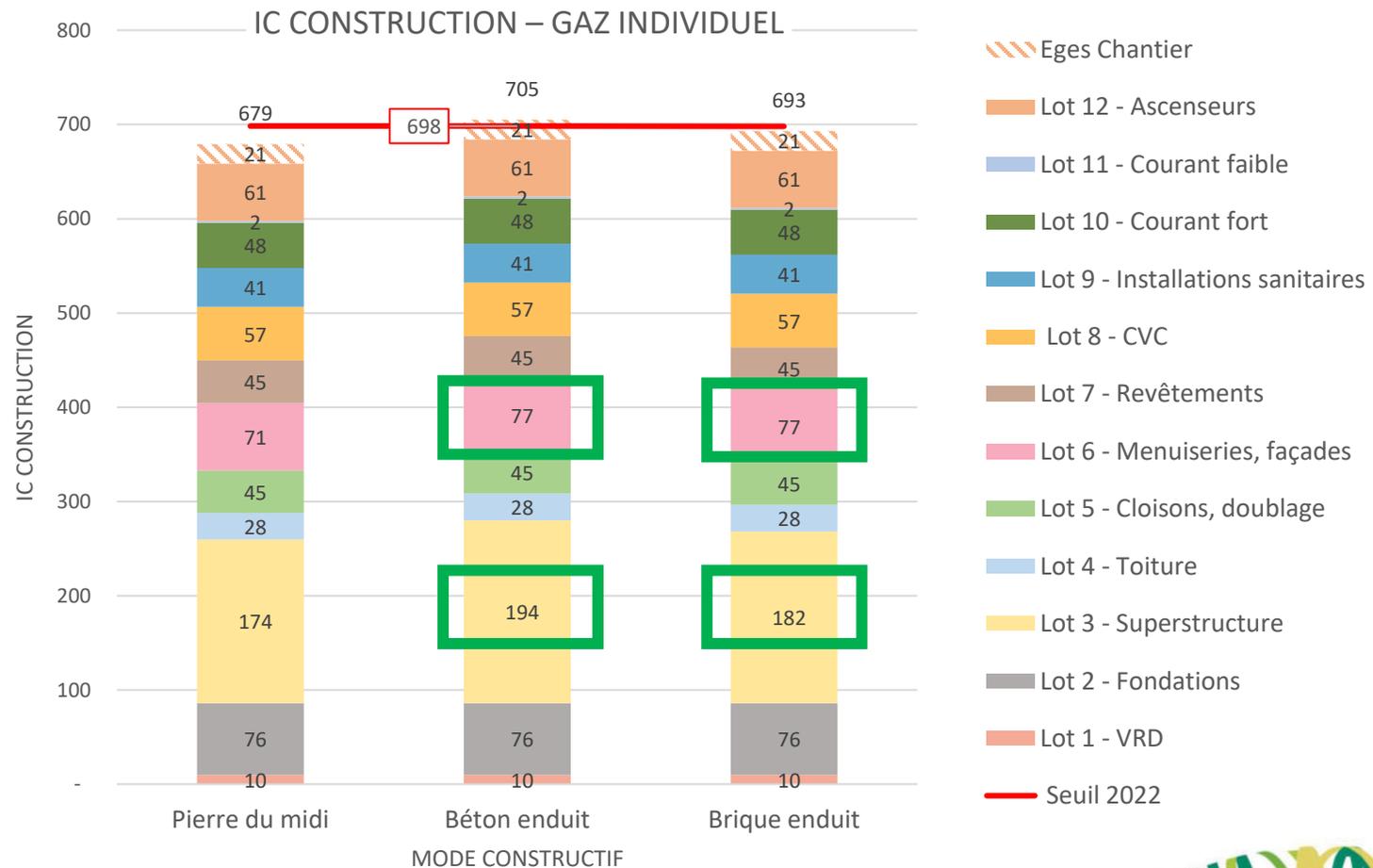
La distance entre la carrière et le chantier est donc une valeur très important mais qui est fixe dans la FDES.
Il serait intéressant de développer un configurateur pour adapter le poids carbone de la pierre pour chaque chantier.



Ic construction – Comparaison des solutions pierre



Ic construction – Comparaison des modes constructifs

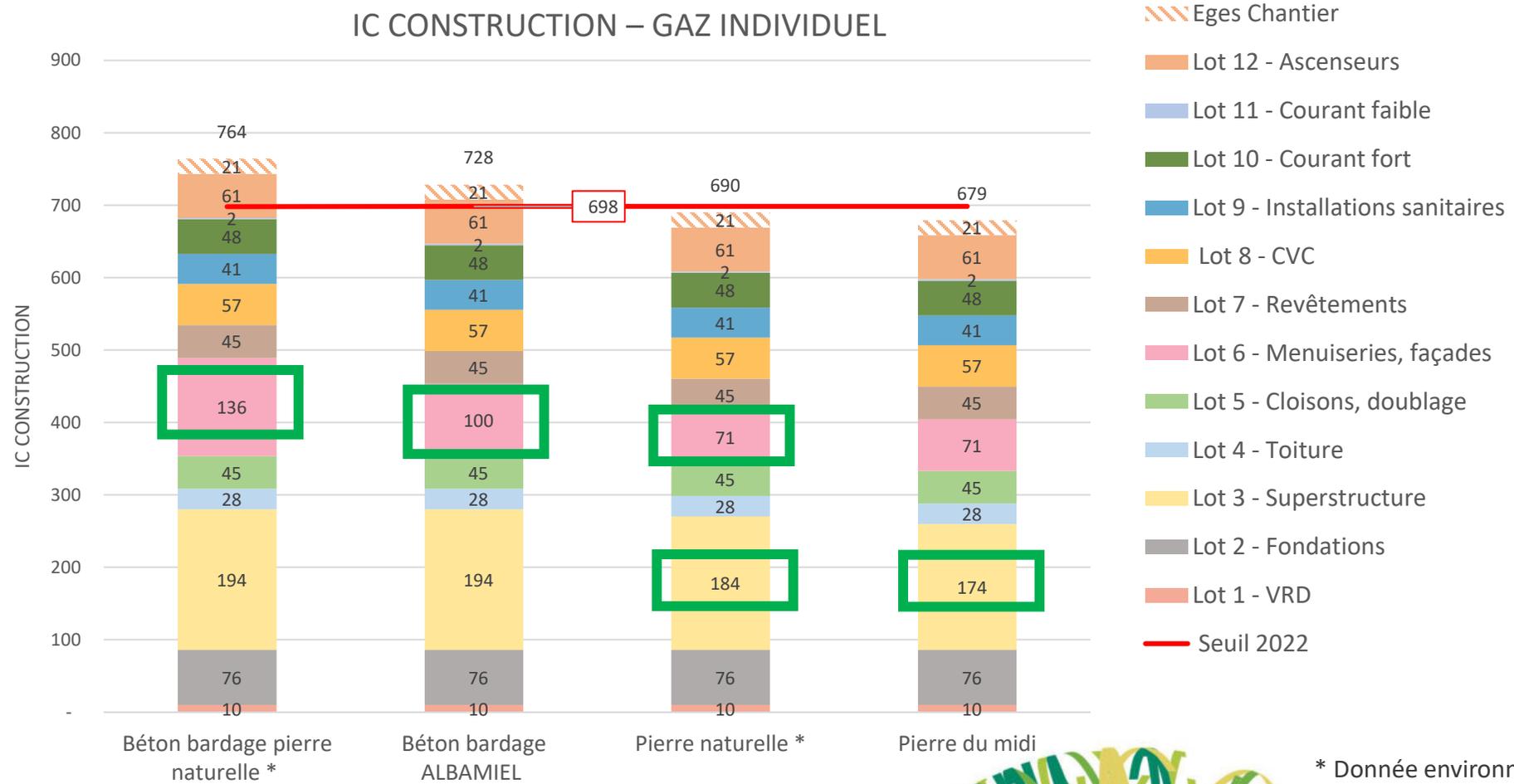


Solutions de revêtements extérieurs

Fiche	Type	Porteur	Date d'édition	kgCO2eq/m2	Durée de vie de référence	Distance jusqu'au chantier (A4)	Epaisseur
Mortier d'enduit naturel	Collective	Syndicat National des mortiers industriels	09/2021	5,7	50 ans	300 km	/
Bardage en pierre naturelle ALBAMIEL	Individuelle	Rosal Stones	10/2020	30,9	100 ans	1623 km	2 à 15cm
Bardage en pierre naturelle	DED		12/2019	66,6	100 ans	/	/



Ic construction



En guise de conclusion

Fort impact du type de fiche (DED, collective, individuelle) et de la distance prise en compte dans la fiche.

Pas de changement énergétique en 2022.

La construction pierre massive est bien positionnée dans la RE2020.

* Donnée environnementale par défaut



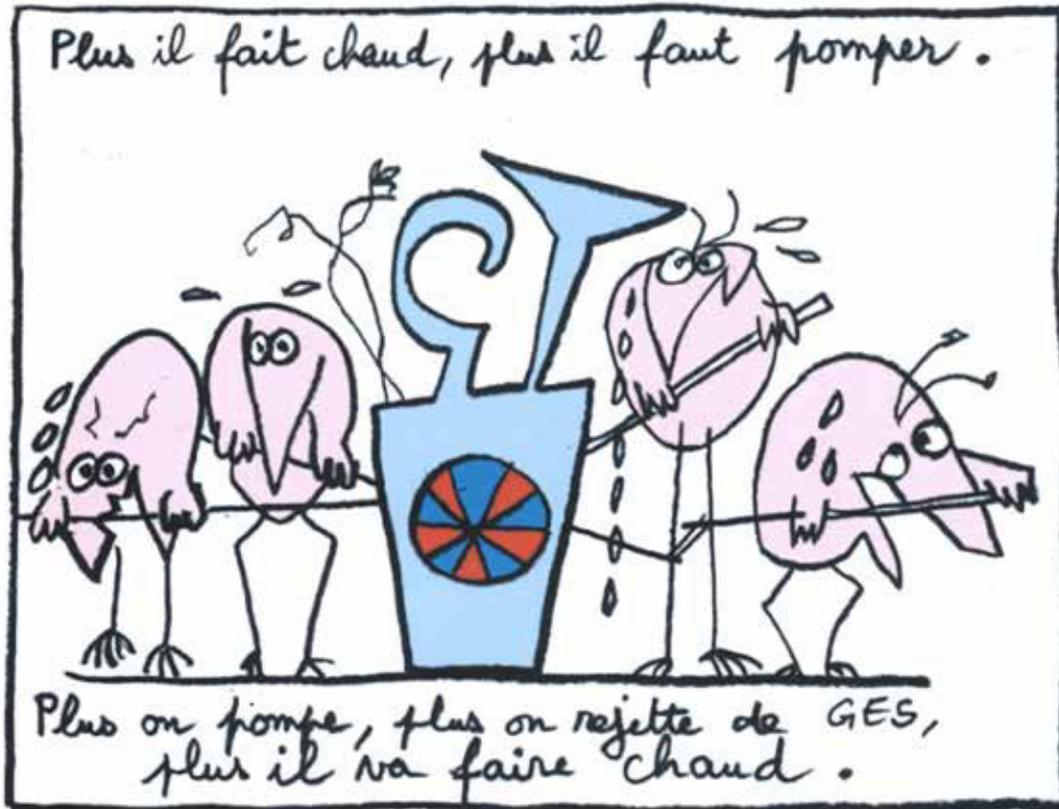
Pierre massive et réglementation thermique Retour d'expérience

La pierre massive
au défi de
la réglementation
environnementale
2020

13^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



Terre et Pierre
Expertise et Innovation



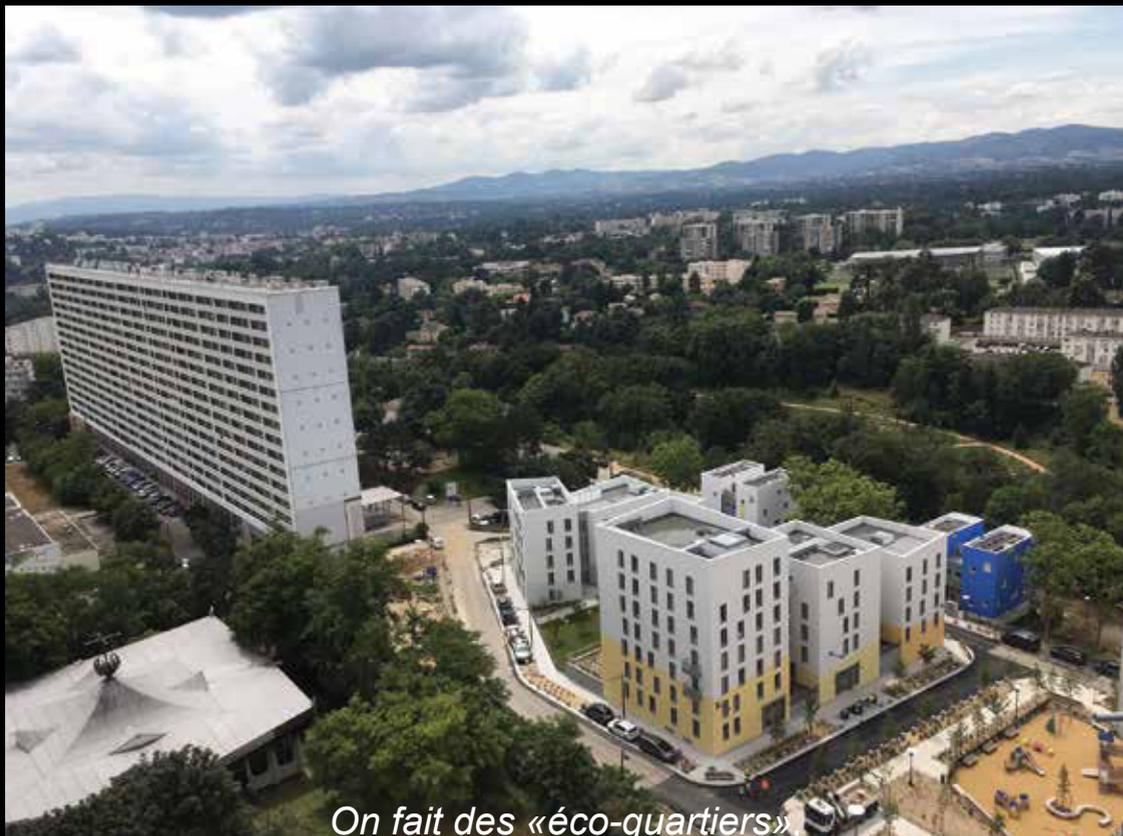
Source et auteurs inconnus

Quand le remède est pire que le mal...



Le Corbusier, coupe de la cité radieuse à Marseille : l'ensoleillement, les brise-soleil, le retour aux fondamentaux.

Les grands ensembles des années 60 et 70 sont souvent montrés du doigt et considérés comme des «passoires thermiques» alors que bien souvent les logements sont de qualité : traversants, dotés d'espaces extérieurs privatifs et de surfaces plus grandes que les logements d'aujourd'hui à typologie équivalente...



*On fait des «éco-quartiers»
on subventionne la rénovation des «barres» des années 60...*



Mais en réalité, c'est le règne du polystyrène...



Des déchets, des emballages, des produits issus de la pétrochimie, dont on ne connaît pas vraiment la durabilité... La question de la matérialité des façades...
Vers une obsolescence programmée ?



LES ENJEUX

*« Construire pour tous, construire pour chacun,
construire sain et durable : tels sont les enjeux
d'aujourd'hui auxquels
les acteurs du bâtiment doivent se confronter. »*



CONSTRUIRE EN PIERRE



de matière grise

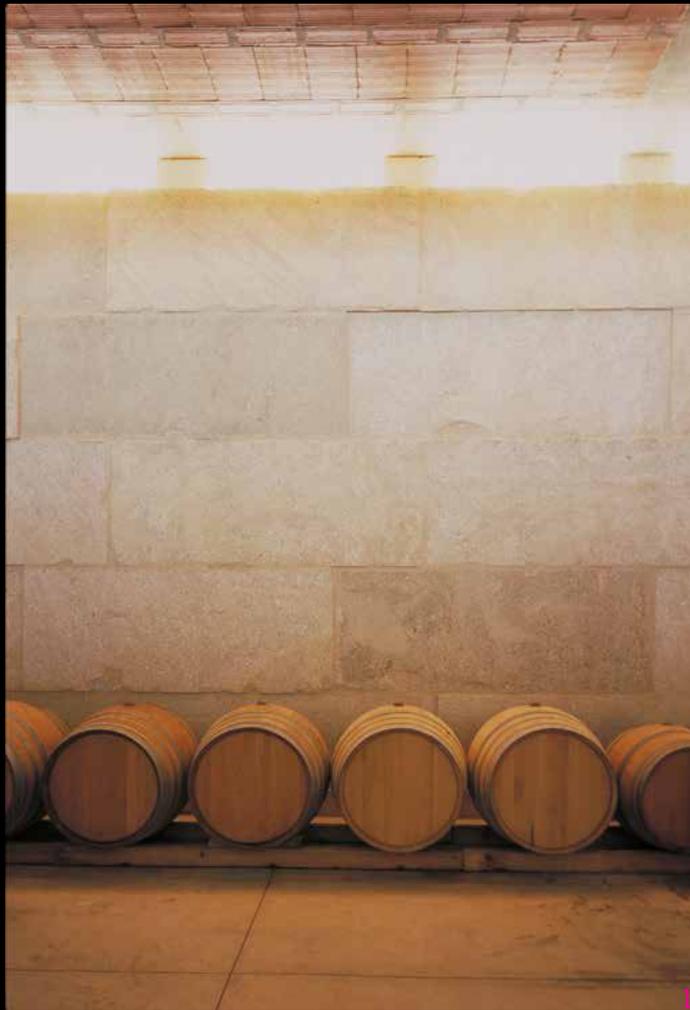
d'énergie grise

Les vraies réponses énergétiques et environnementales se trouvent dans une conception intégrée, intégrale (architectes + bureaux d'études) et non dans des résolutions de calculs thermiques et dans l'application d'abaques, validés par des logiciels eux-mêmes confrontés à l'obsolescence prochaine...

Les retours d'expérience

ou comment les questions thermiques et de confort ont été intégrées dans les différents projets sur une période de vingt ans...





Les chais viticoles : des bâtiments non soumis à la RT mais néanmoins exigeants thermiquement et énergétiquement

Photos : S. Demailly / Autres auteurs / Image : agence.

Elisabeth Polzella architecte
1 - avec Gilles Perraudin
2 - avec Florian Faucheu,

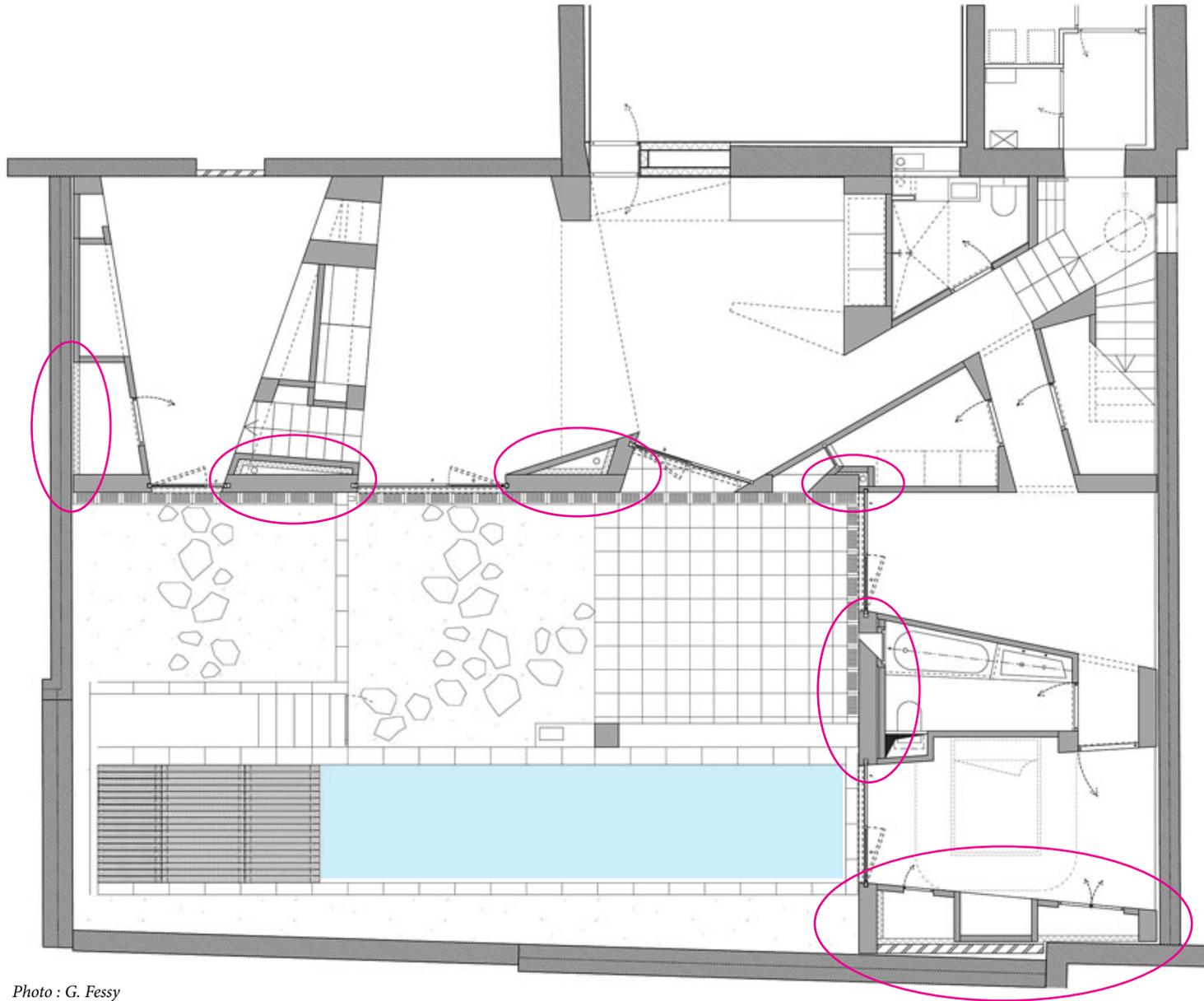


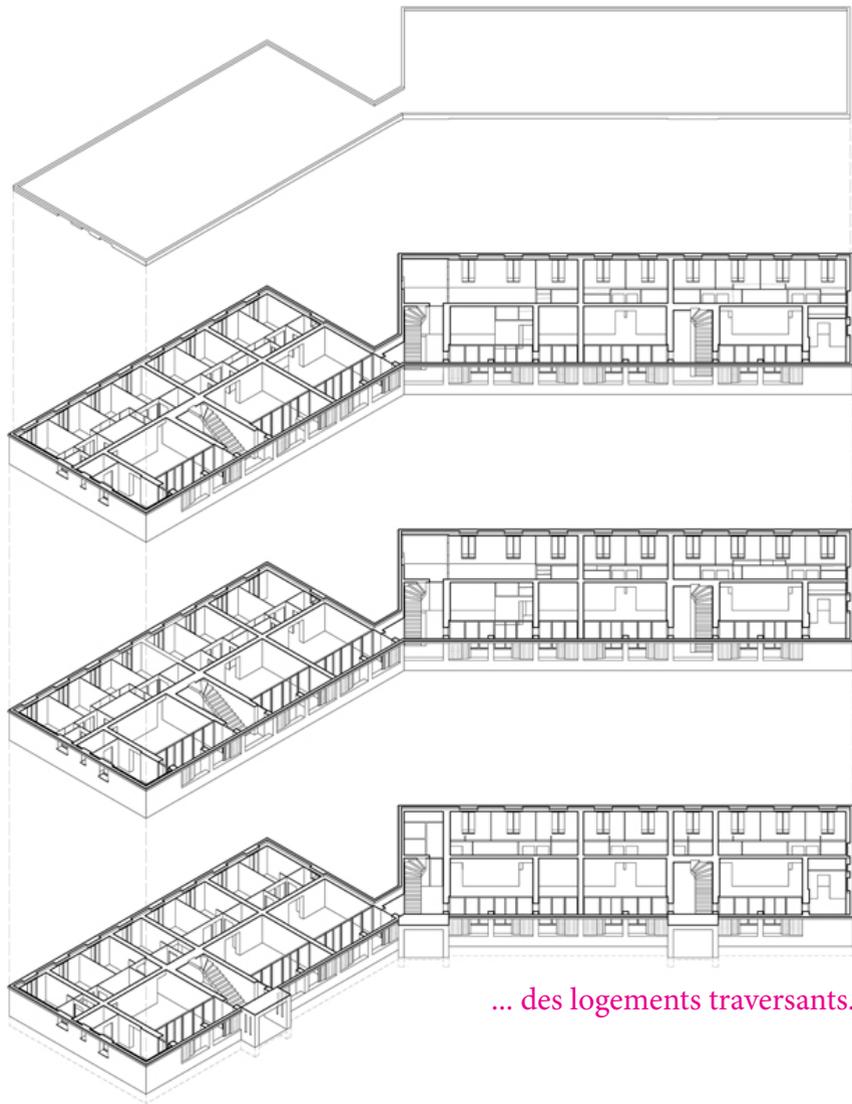
Photo : G. Fessy



Maison-galerie à la Croix-Rousse (69)
 Les apports de lumière, l'exposition, la conception limitant l'utilisation d'isolant sur les murs, le double-mur.

Perraudin & Polzella architectes associés
 (projet livré en 2010)





... des logements traversants...



Logements sociaux à Cornebarrieu (31)
RT 2005 - THPE + - De la pierre et du bois

Photos : S. Demailly

Perraudin & Polzella architectes associés
(projet livré en 2010)

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020

13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



elisabethpolzella
architecte D.P.L.G.

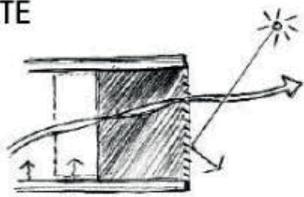


Terre et Pierre
Expertise et Innovation

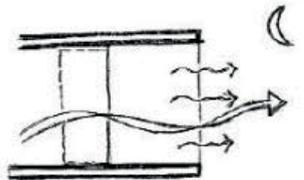


- La thermique d'hiver est réalisée par une bonne orientation Sud, une forte inertie, une isolation performante, le tout associé à un chauffage par le sol.
- La thermique d'été est favorisée par les protections solaires, la massivité des murs et toitures et la ventilation traversante permettant d'évacuer la nuit le trop plein de calories. Les plantes grimpantes sur balcon rajoutent de la fraîcheur par humidification.

ETE

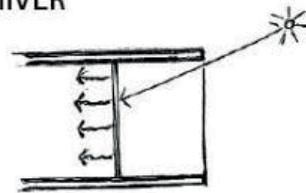


Eté / Jour : Les volets fermés, ventelles ouvertes créent un espace ombragé qui limite l'apport solaire. Les murs épais redonnent la fraîcheur emmagasinée durant la nuit.

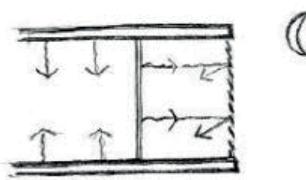


Eté / Nuit : Les volets ouverts permettent l'évacuation de la chaleur et les murs épais emmagasinent la fraîcheur.

HIVER



Hiver / Jour : Les volets ouverts laissent largement pénétrer la chaleur qui est emmagasinée par l'inertie des murs.



Hiver / Nuit : Les volets et ventelles fermés créent un espace tampon qui limite les déperditions. La chaleur des murs est restituée.



Le rôle thermique de la loggia...



Logements collectifs & individuels à Cornebarrieu (31)

Perraudin & Polzella architectes associés
(projet livré en 2014)

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020

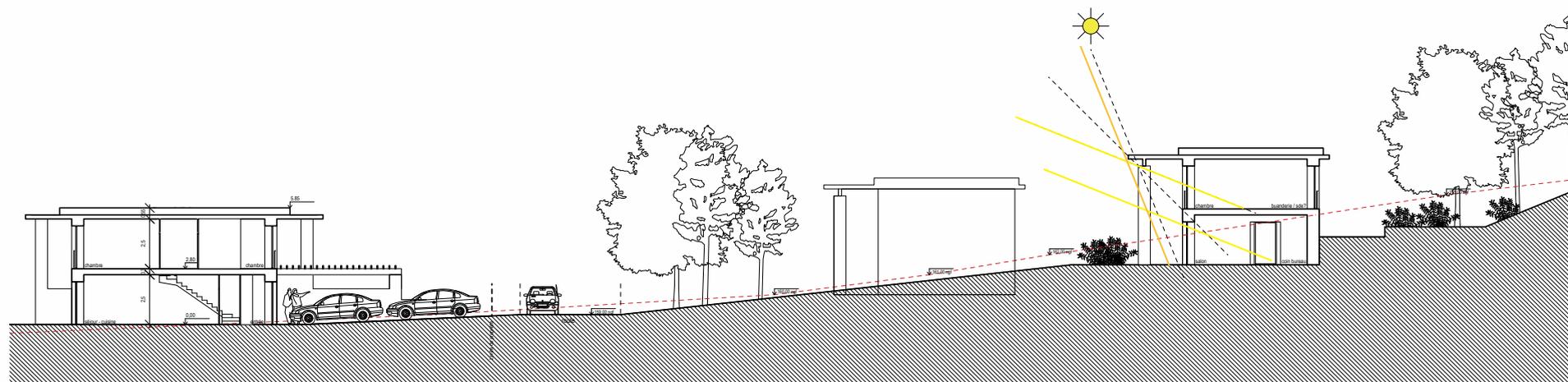
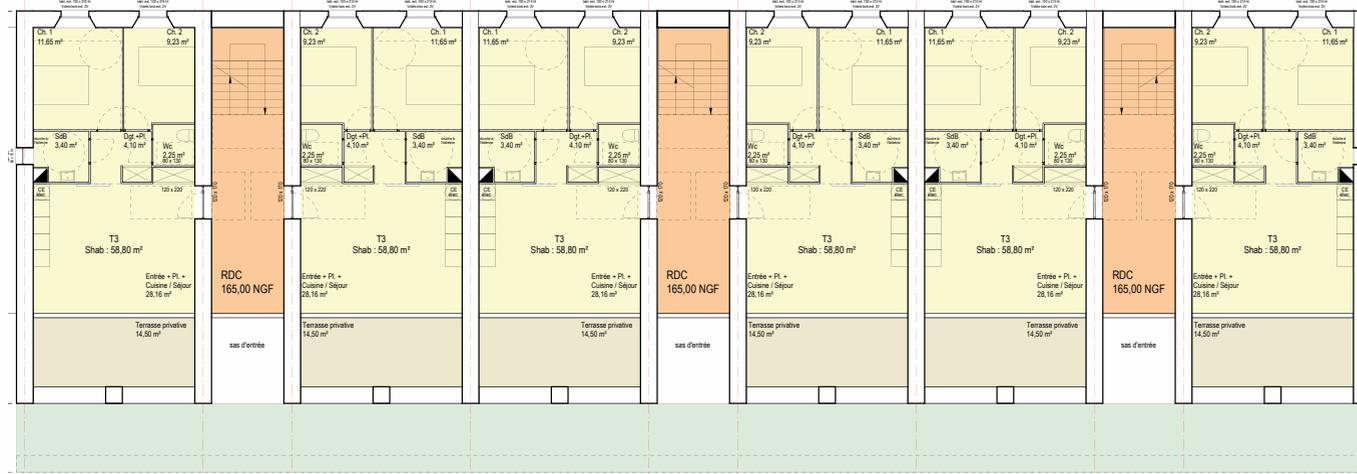
13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



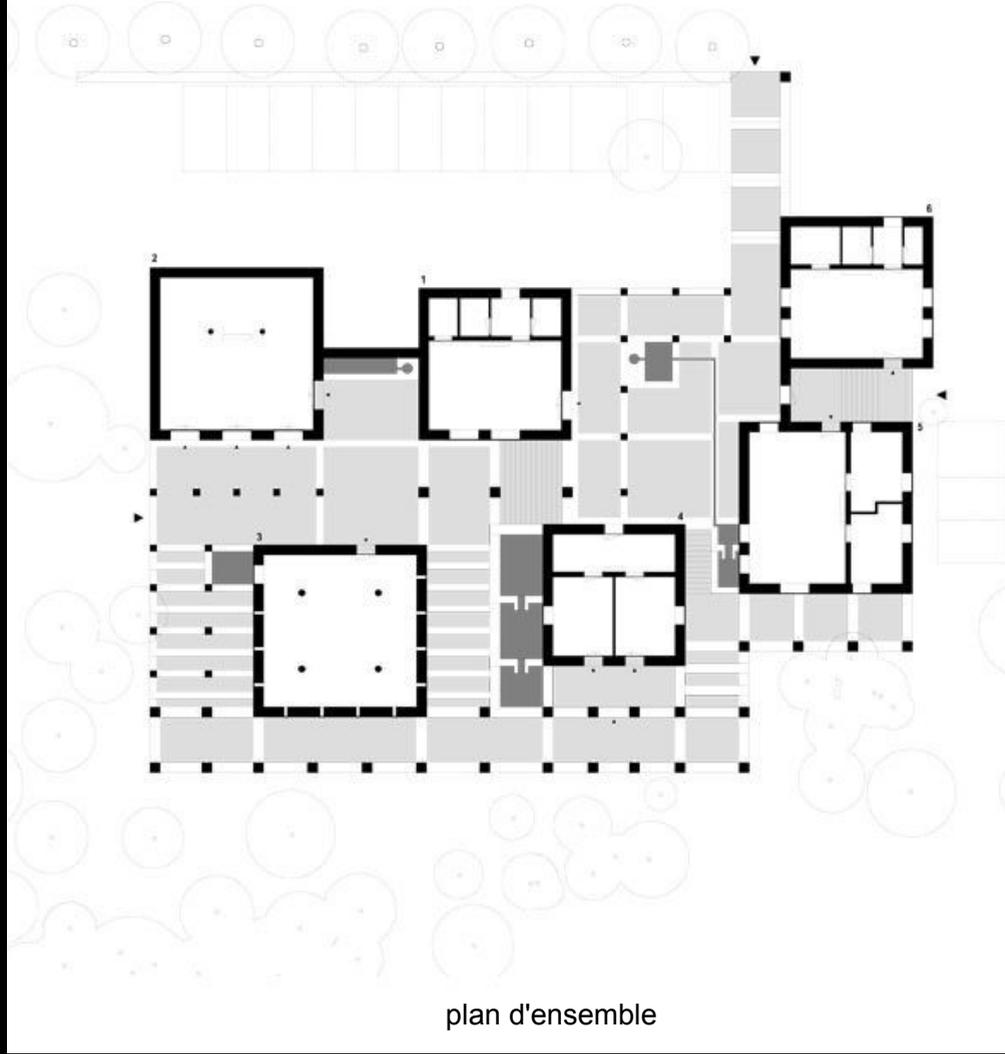
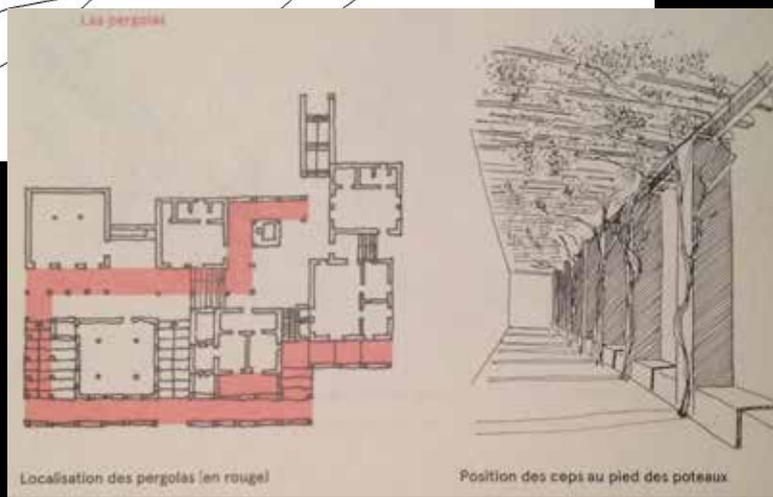
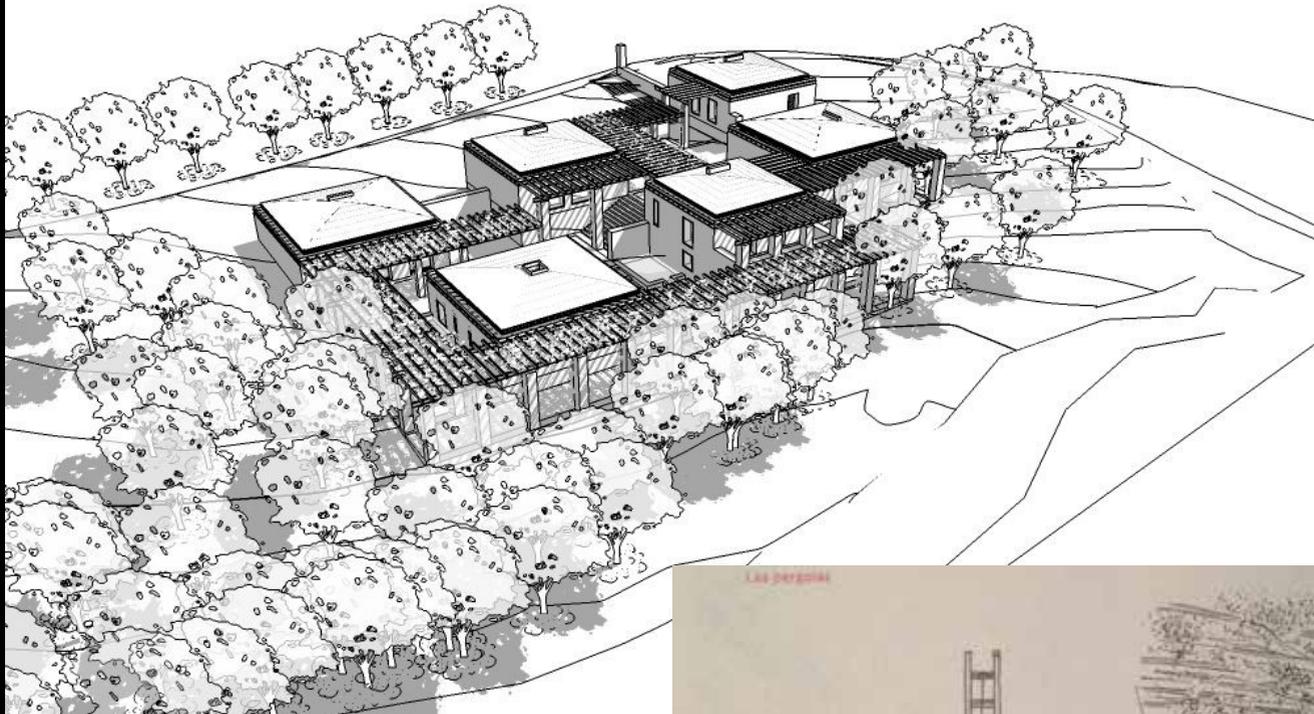
elisabethpolzella
architecte D.P.L.G.



Terre et Pierre
Expertise et Innovation



- Des espaces extérieurs qui prolongent l'espace chauffé :
- Régulateurs thermiques
 - Agréments fonctionnels
 - Contrôle de l'ensoleillement et des apports thermiques «gratuits»

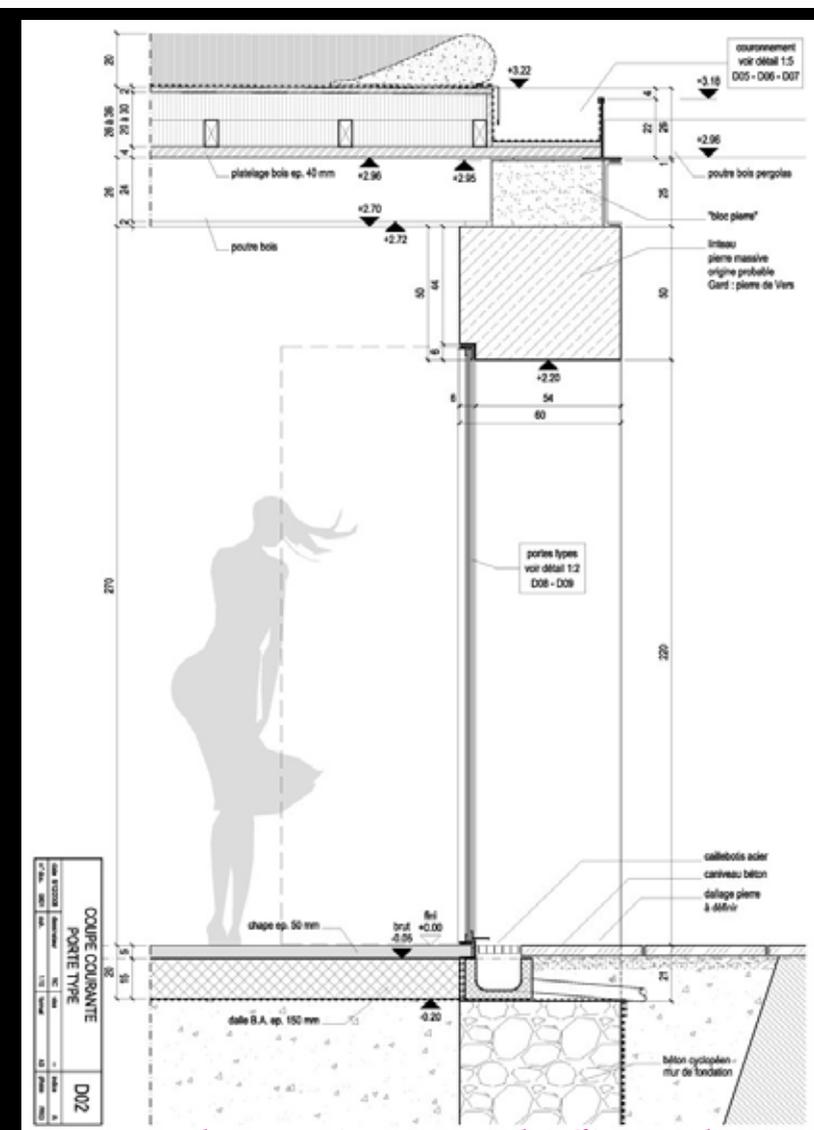
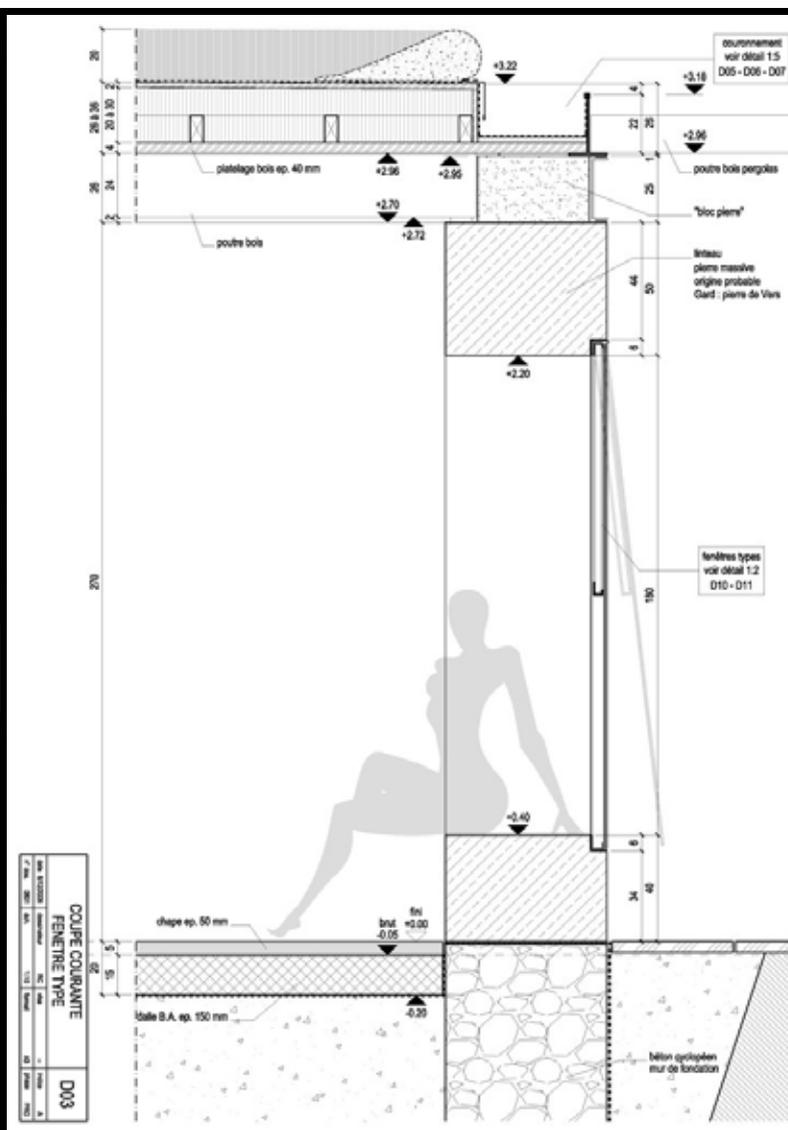


plan d'ensemble

Maison des vins à Patrimonio (2B)

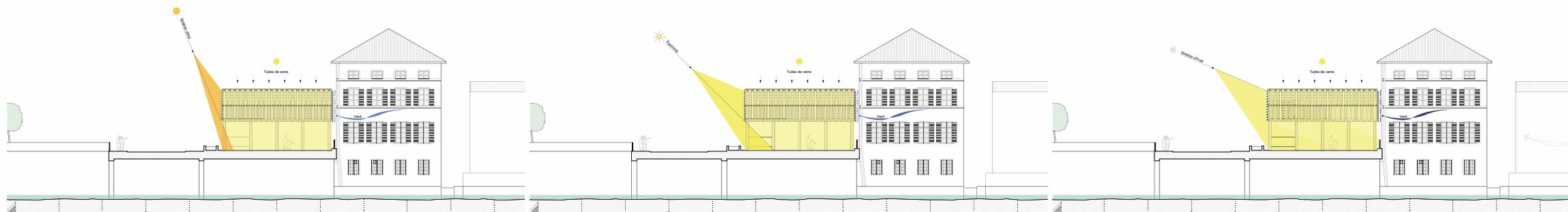
Perraudin & Polzella architectes associés
(projet livré en 2010)





Circulations extérieures, non chauffées et ombragées
 Adaptation des types d'ouvertures
 Grosse épaisseur de pierre, pas d'isolant

Photos : S. Demailly



Apporter du confort même dans un lieu ouvert
La pergola protège le RDC de la Mairie, dont la façade principale est exposée plein sud

Documents de phase concours + photo chantier - Elisabeth Polzella + Atelier Nao

Halles de Lamure-sur-Azergues (69)

Elisabeth Polzella architecte, avec Atelier Nao
(projet livré en 2017)

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020

13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021

elisabethpolzella
architecte D.P.L.G.



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

Façade Sud



Pierre dorée
Cellules photovoltaïques
Pierre de Villebois

Façade Nord



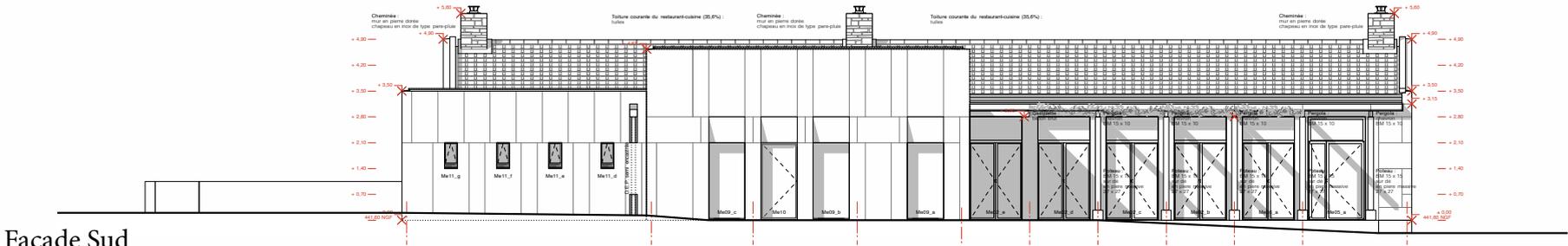
Tuiles en terre cuite
Pierre dorée
Pierre de Villebois

Façade Est

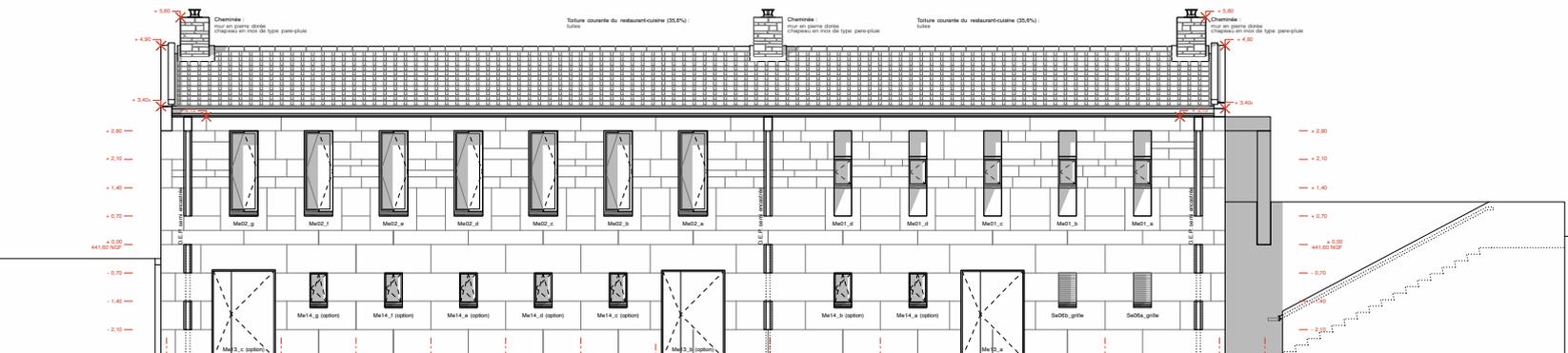


Pierre dorée
Pierre de Villebois

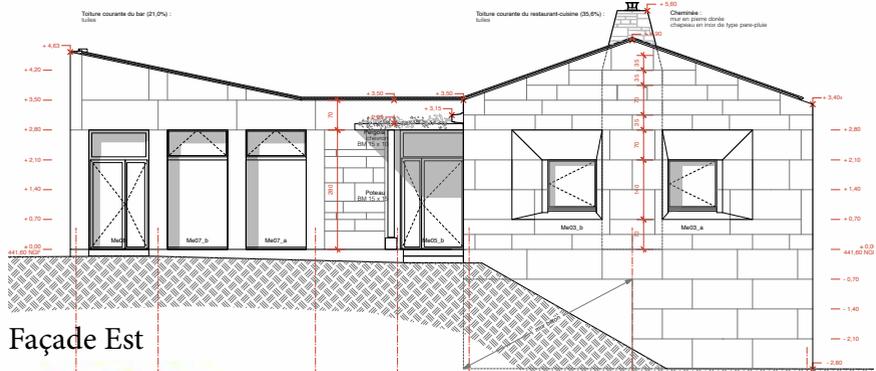
Le travail différencié des façades selon leur exposition. Maximiser les apports de lumière naturelle, tout en protégeant l'intérieur des sur-expositions.



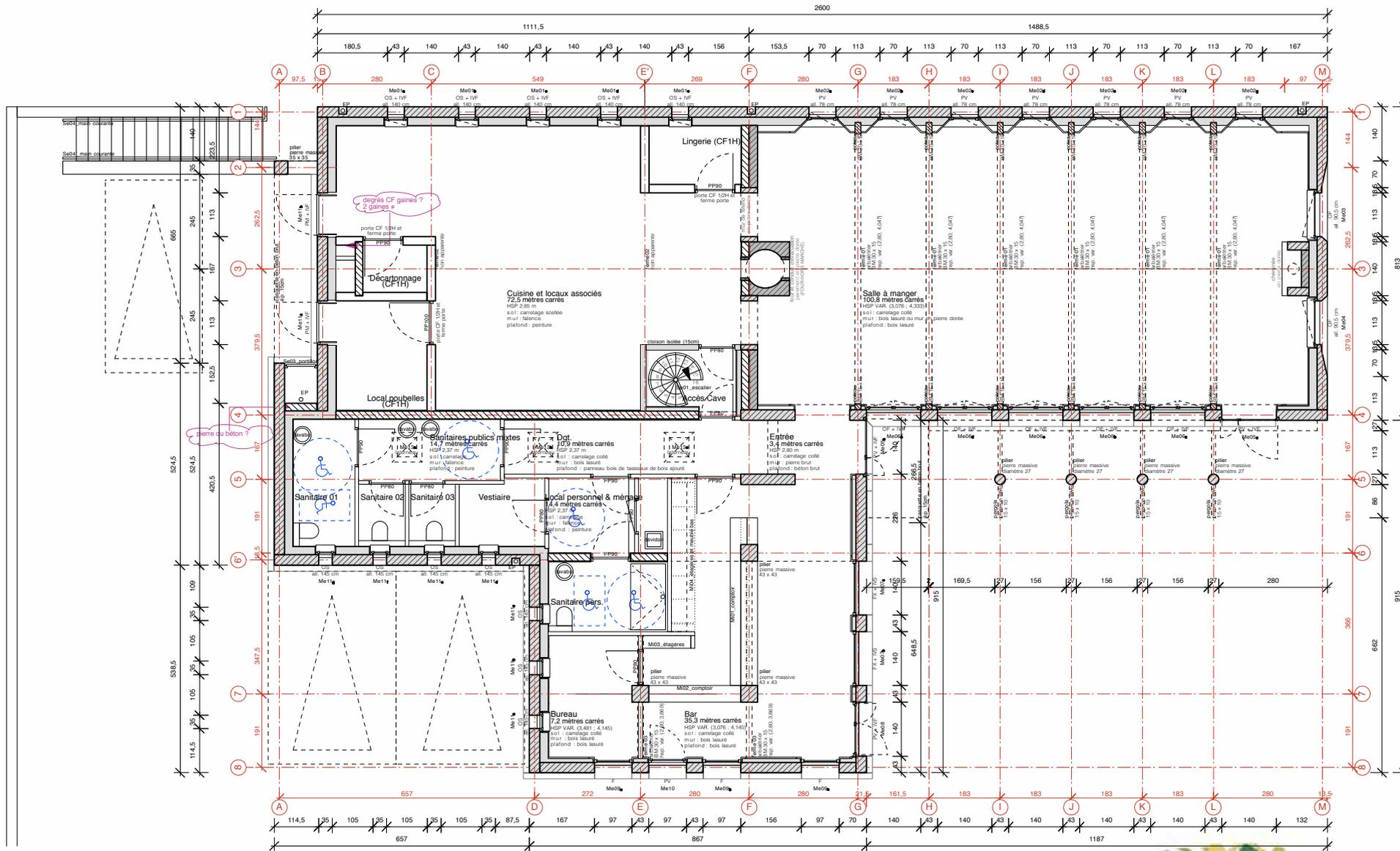
Façade Sud



Façade Nord



Façade Est



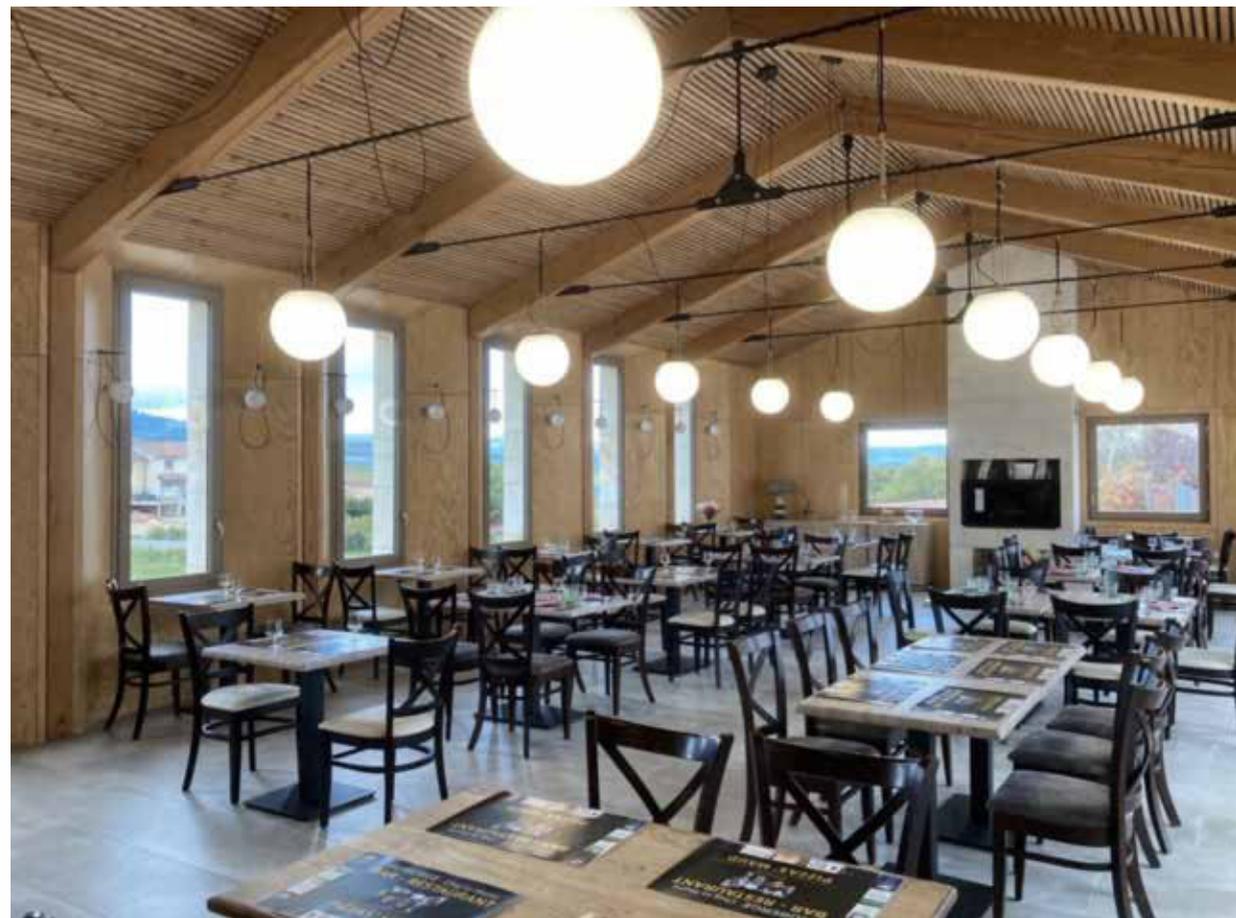
Documents de phase projet / chantier - Elisabeth Polzella

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020
 13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021

elisabethpolzella
 architecte D.P.L.G.



Terre et Pierre
 Expertise et Innovation



Perspective de phase concours / Photo de la livraison - Elisabeth Polzella

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020
13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



elisabethpolzella
architecte D.P.L.G.



Terre et Pierre
Expertise et Innovation



Photo de la livraison - Elisabeth Polzella

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020

13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



elisabethpolzella
architecte D.P.L.G.



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC



Photo de la livraison - Elisabeth Polzella

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020
13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021

elisabethpolzella
architecte D.P.L.G.



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC



Crématorium (38)
(projet en cours d'études)
Ludmer & Bouvier architectes mandataires
Elisabeth Polzella, architecte associée

Perspective - L&B architectes

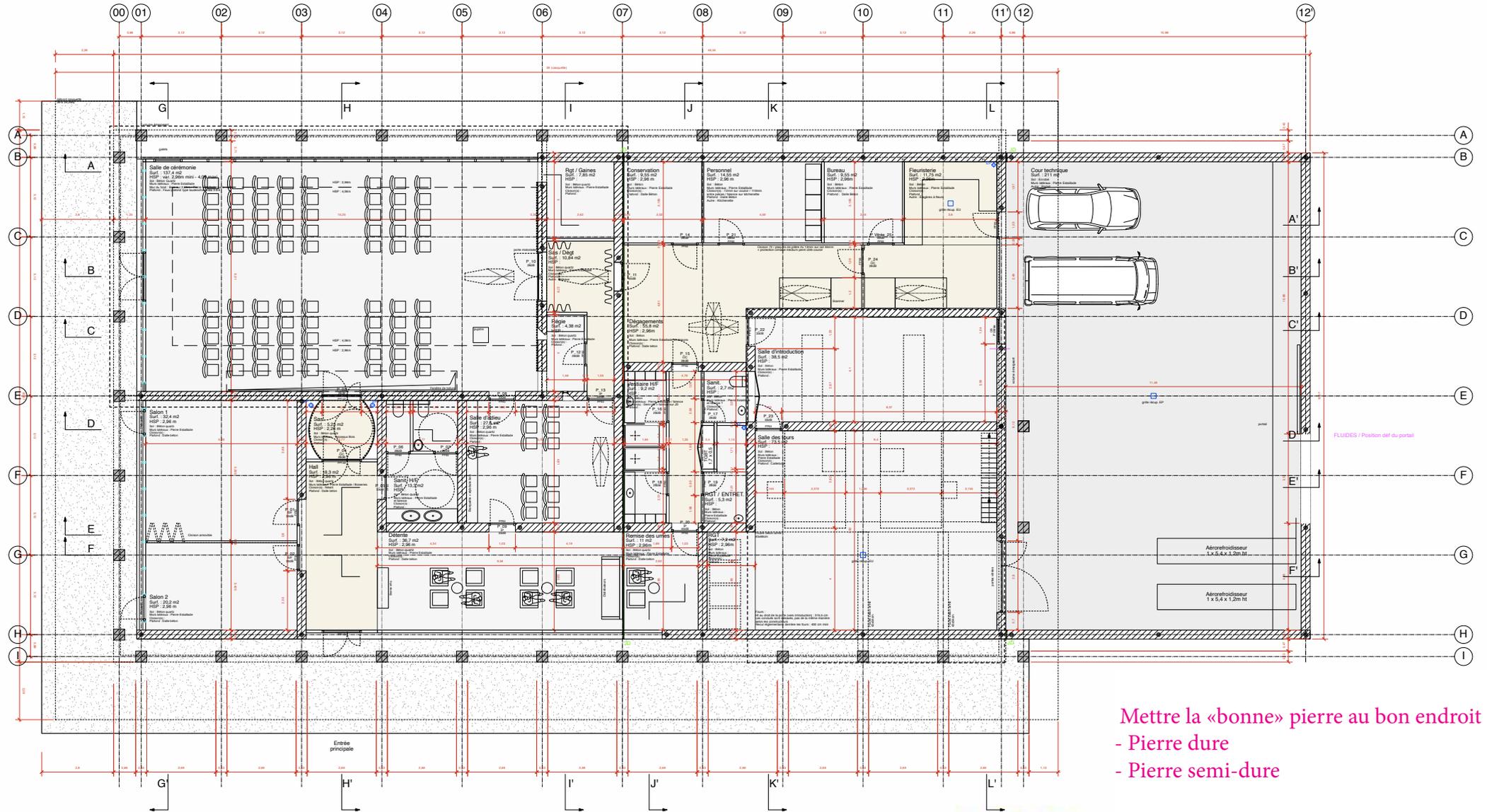
La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020
13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



elisabethpolzella
architecte D.P.L.G.

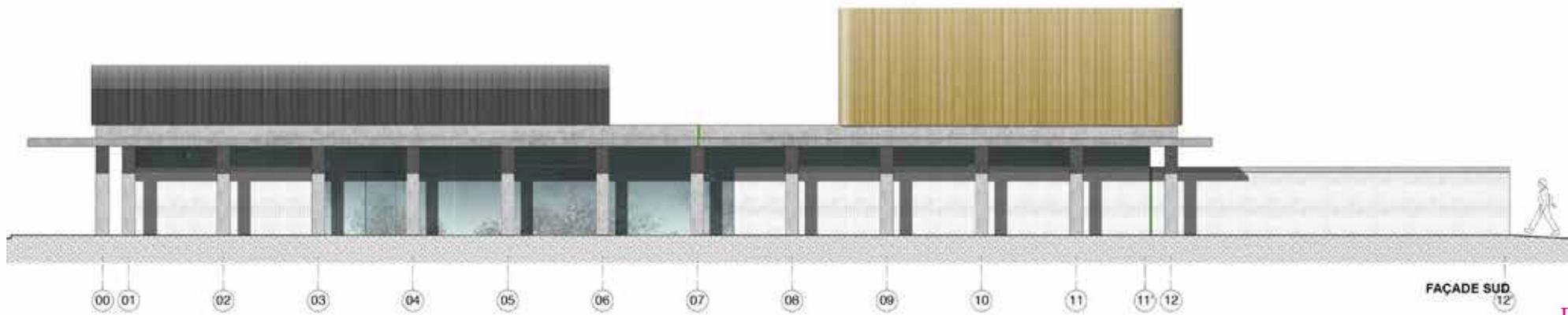
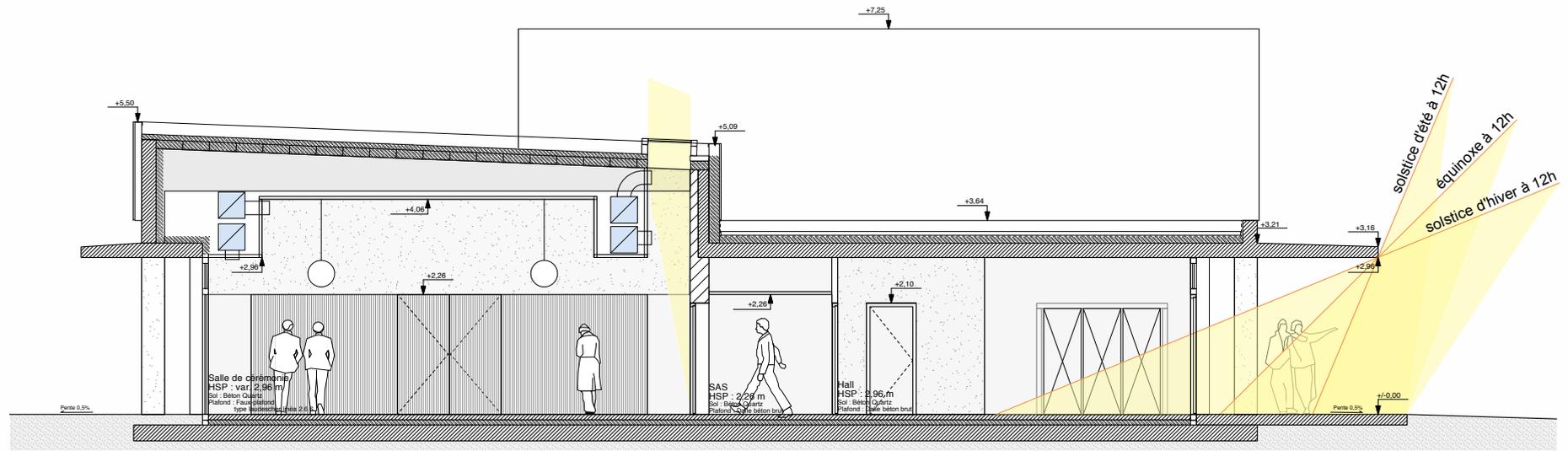


Terre et Pierre
Expertise et Innovation



Plan de phase projet - Elisabeth Polzella

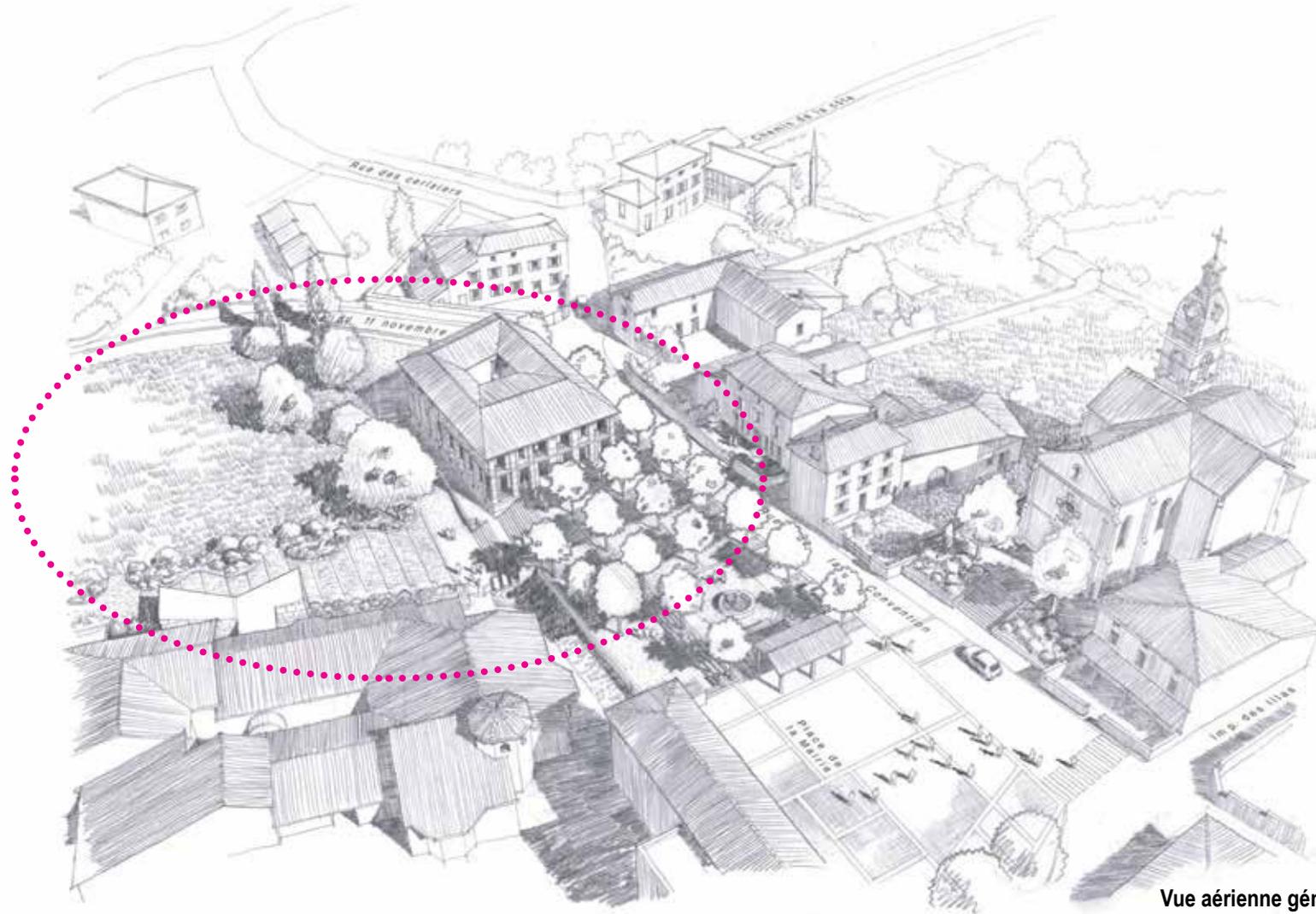
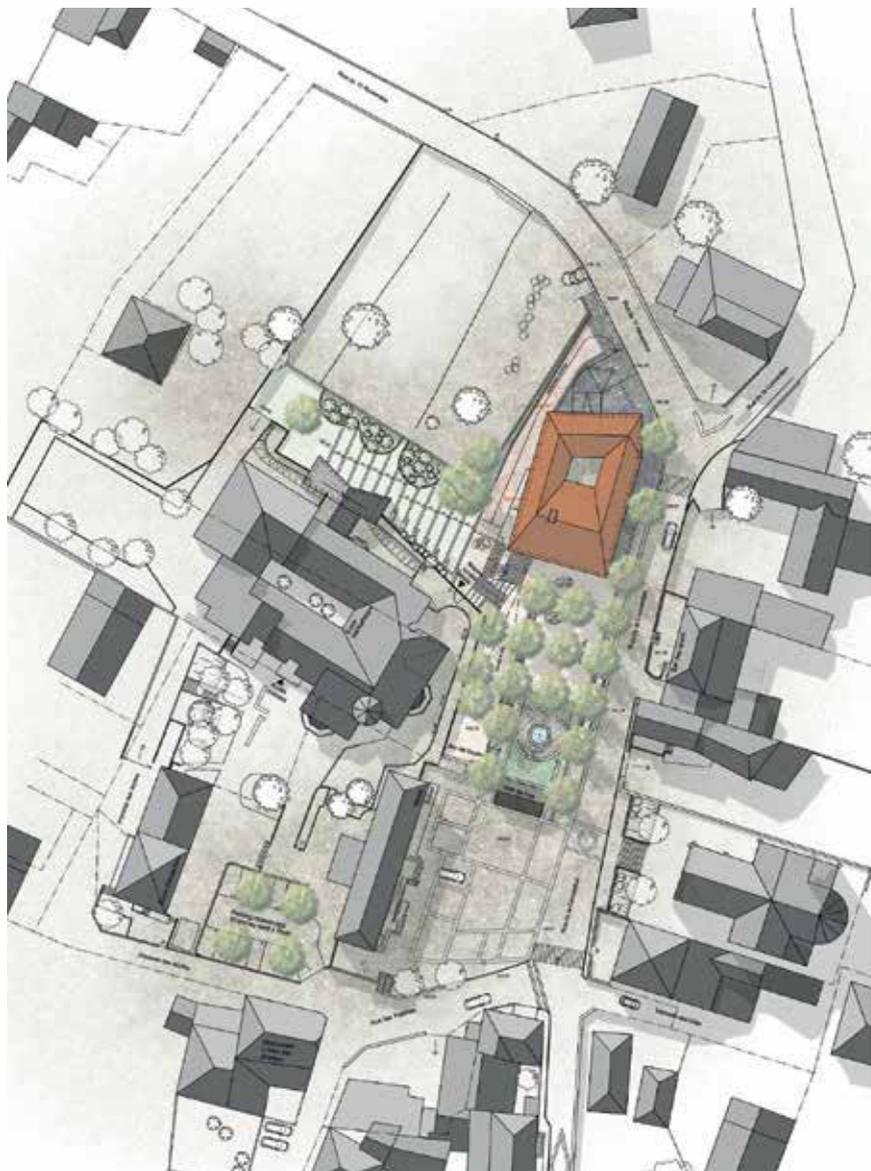




Dozer les apports solaires grâce à la profondeur de la «casquette»

Documents de phase projet - Elisabeth Polzella



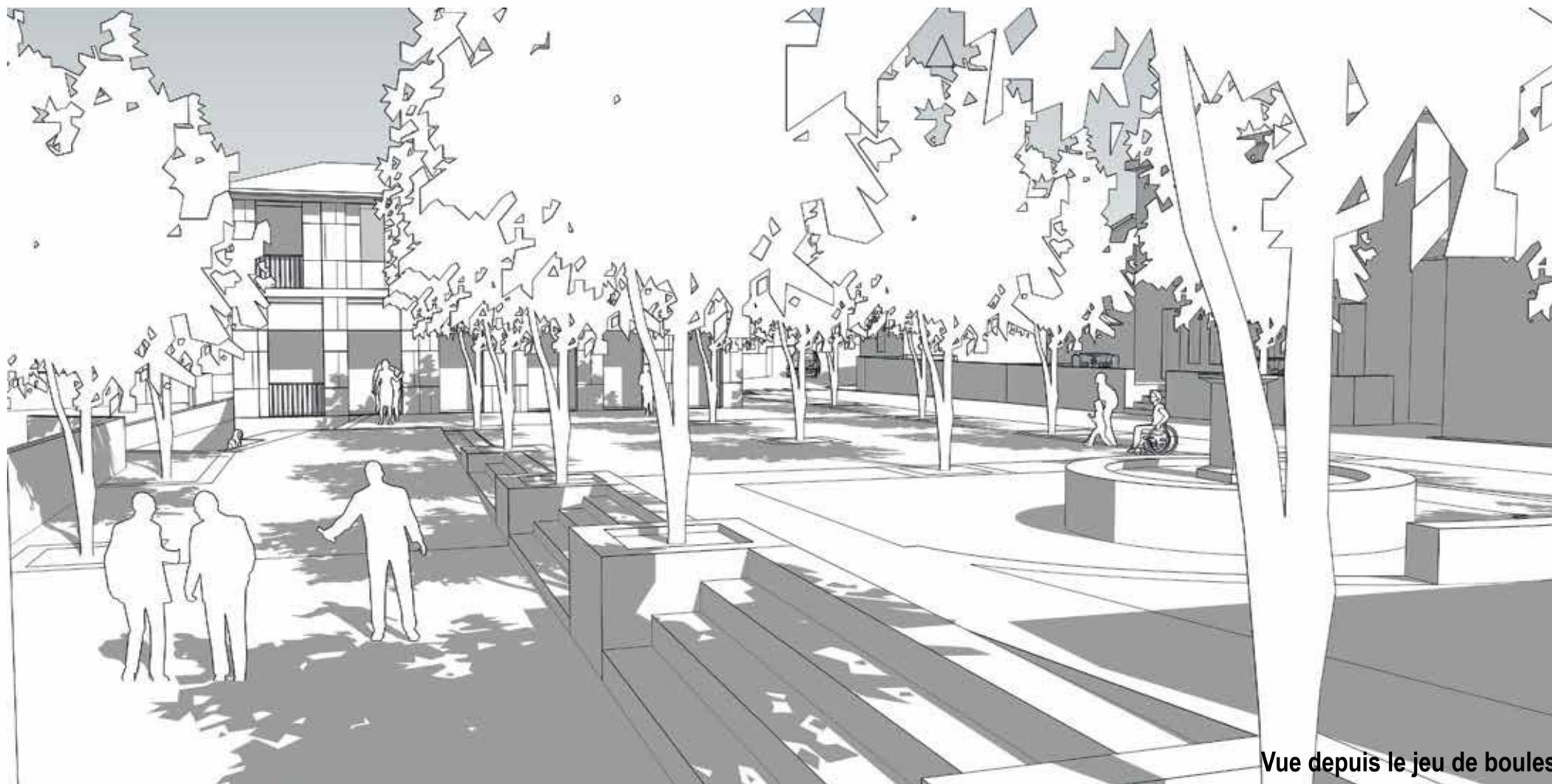


Vue aérienne générale

Aménagement d'un cœur de village (38)
(concours gagné - 2021)

Documents de phase concours - Elisabeth Polzella





Vue depuis le jeu de boules

Documents de phase concours - Elisabeth Polzella

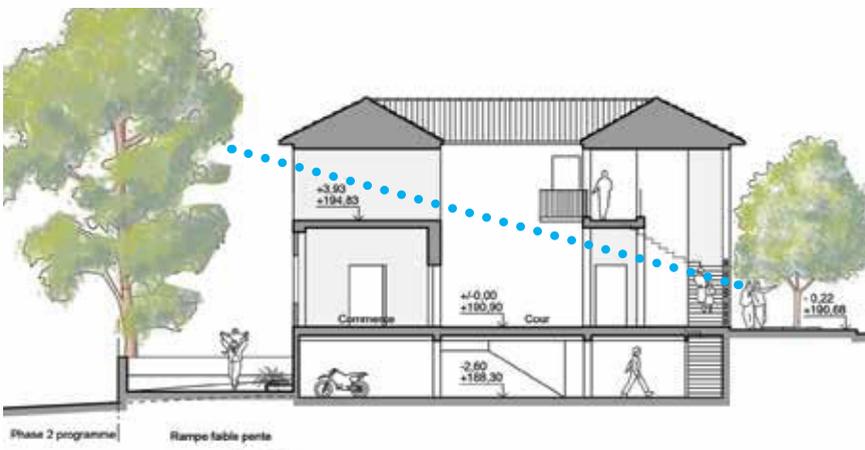
La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020

13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021

elisabethpolzella
architecte D.P.L.G.



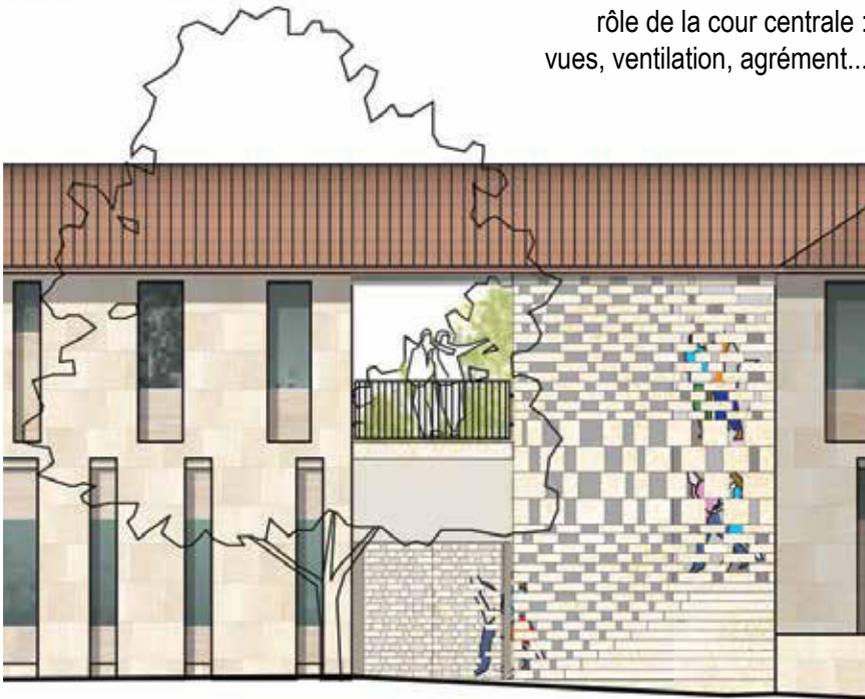
Terre et Pierre
Expertise et Innovation



rôle de la cour centrale :
vues, ventilation, agrément...



Vue depuis la terrasse du bar



Documents de phase concours - Elisabeth Polzella

Terminologie :

Bbio : C'est le besoin bioclimatique exprimé en points qui traduit le besoin en chauffage, refroidissement et éclairage. Il caractérise la conception architecturale du bâtiment et la qualité de l'enveloppe.

Cep : C'est la consommation en énergie primaire du bâtiment.

Cep, nr : C'est la consommation conventionnelle du bâtiment pour les mêmes usages que le Cep, en ne conservant que la part non renouvelable.

DH : L'indicateur Degrés-Heures, permet d'évaluer la durée et l'intensité des périodes d'inconfort d'été sur une année, lorsque la température intérieure d'un bâtiment est supposée inconfortable.

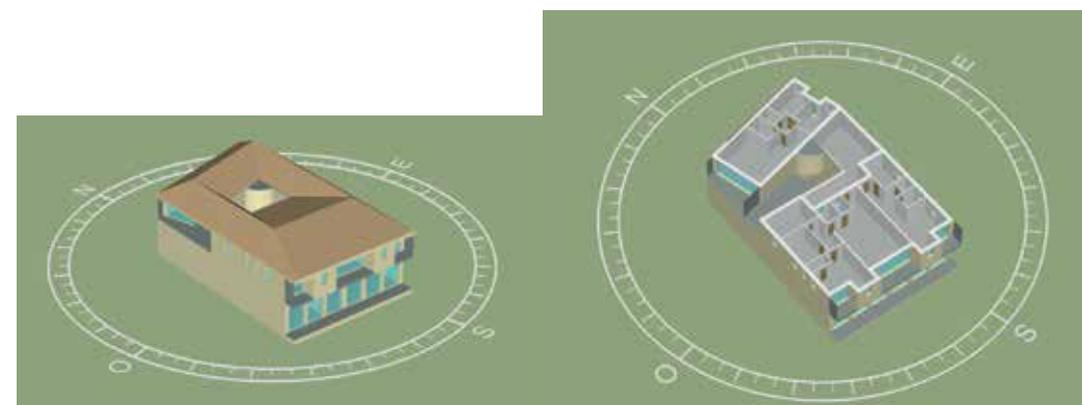
Ic énergie : Cette valeur correspond à l'impact sur le changement climatique, à l'horizon 50 ans, des émissions de gaz à effet de serre relatives aux consommations d'énergie du bâtiment pendant son exploitation.



Simulation du bâtiment suivant la future réglementation RE 2020.

A ce stade du projet, la simulation ne porte que sur le volet énergie de la réglementation.

Vues du projet :



Le projet est conforme à la RE 2020 :

	Bbio	Cep	Cep nr	D.H	Ic énergie
	(pts)	kWhEp/m ² .an		(°C.h)	Kgeq CO ₂ /m ²
Logements	46.8 / 80.6	28.9 / 84.0	28.9 / 61.6	760.3 / 1250	36.8 / 179.3





Merci pour votre écoute !

www.elisabethpolzella.com

06 03 21 47 56

Comptoir de bar en marbre massif et pilier en calcaire, auberge de Dareizé - Elisabeth Polzella

La pierre massive au défi de la réglementation environnementale 2020

13^e JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021

elisabethpolzella
architecte D.P.L.G.



Terre et Pierre
Expertise et Innovation



La pierre massive
au défi de
la réglementation
environnementale
2020

13^E JOURNÉE TECHNIQUE DU CTMNC / 14 OCTOBRE 2021



Terre et Pierre
Expertise et Innovation

CTMNC

Présentation du bâtiment

8 logements (4 T2 / 2 T3 / 1 T5 / 1 T6)

Bâtiment en R+4

Emprise au sol du bâtiment : 163 m²

SHAB moyenne : 62 m² /log

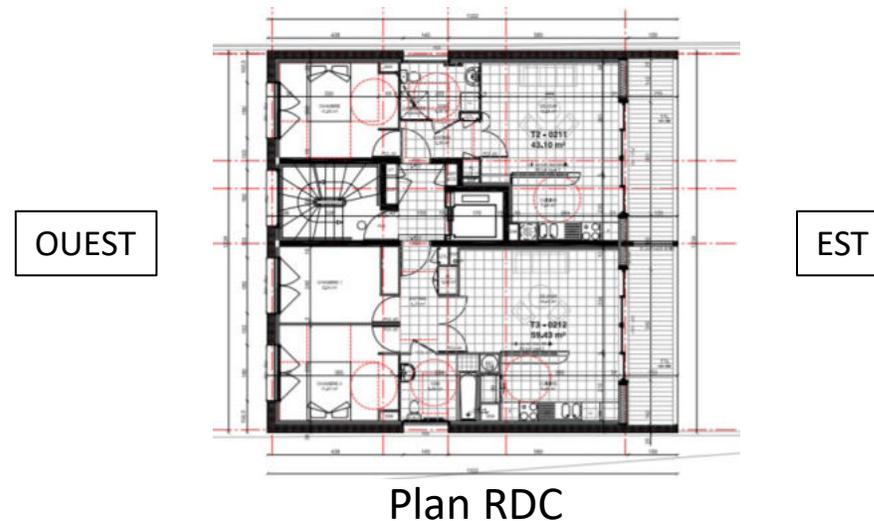
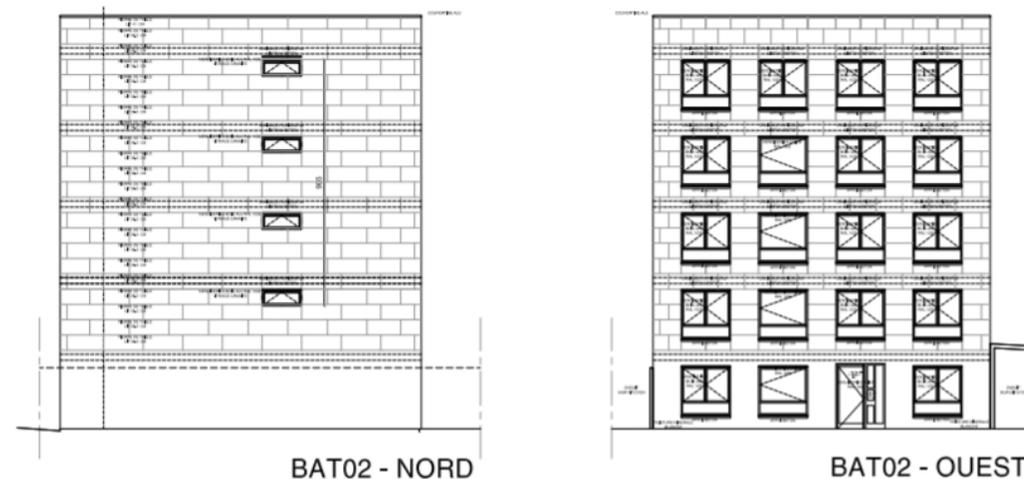
100% de logements traversants

Ratio surf baie/SHAB = **30%**

Balcons : environ 9 m²/log

Inertie lourde

SRT	640 m ²
SHAB	492 m ²
Ratio	1,30



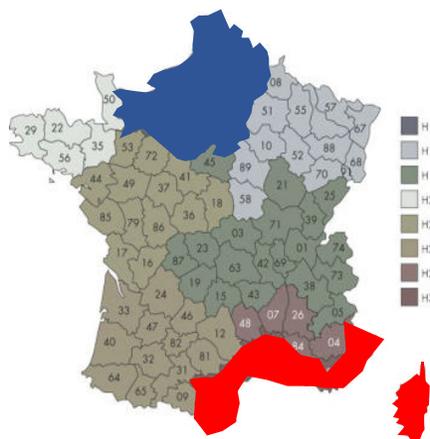
Architecte Laurent Lehmann

Prestations RE2020

Prestations RE2020		
Mode constructif	Variante pierre	Murs en pierre d'épaisseur 25cm
	Variante béton	16 cm de béton + Enduit extérieur / pierre en double mur
	Variante brique	Murs en brique d'épaisseur 20cm + Linteaux et chaînage vertical + Enduit extérieur
Isolant façade		Polystyrène 120mm
Isolant plancher terre-plein		Sous chape : Polyuréthane 100mm Sous dalle : Polystyrène 100mm
Isolant toiture terrasse		Polyuréthane 160mm
Traitement des ponts thermiques		Rupteurs de ponts thermiques en plancher intermédiaire et acrotères
Perméabilité à l'air		1 m ³ /h.m ²
Menuiseries extérieures		Mixtes bois/alu Uw = 1,3 W/m ² .K
Occultations		Volets roulants PVC manuel

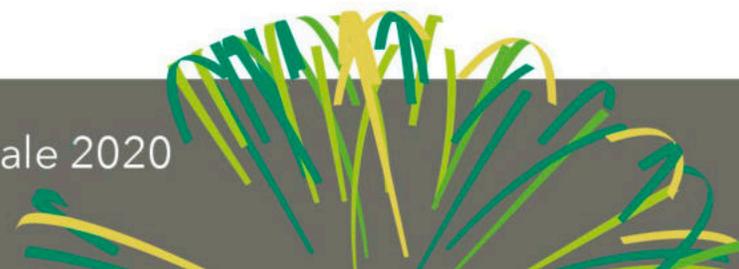


Répartition du Bbio

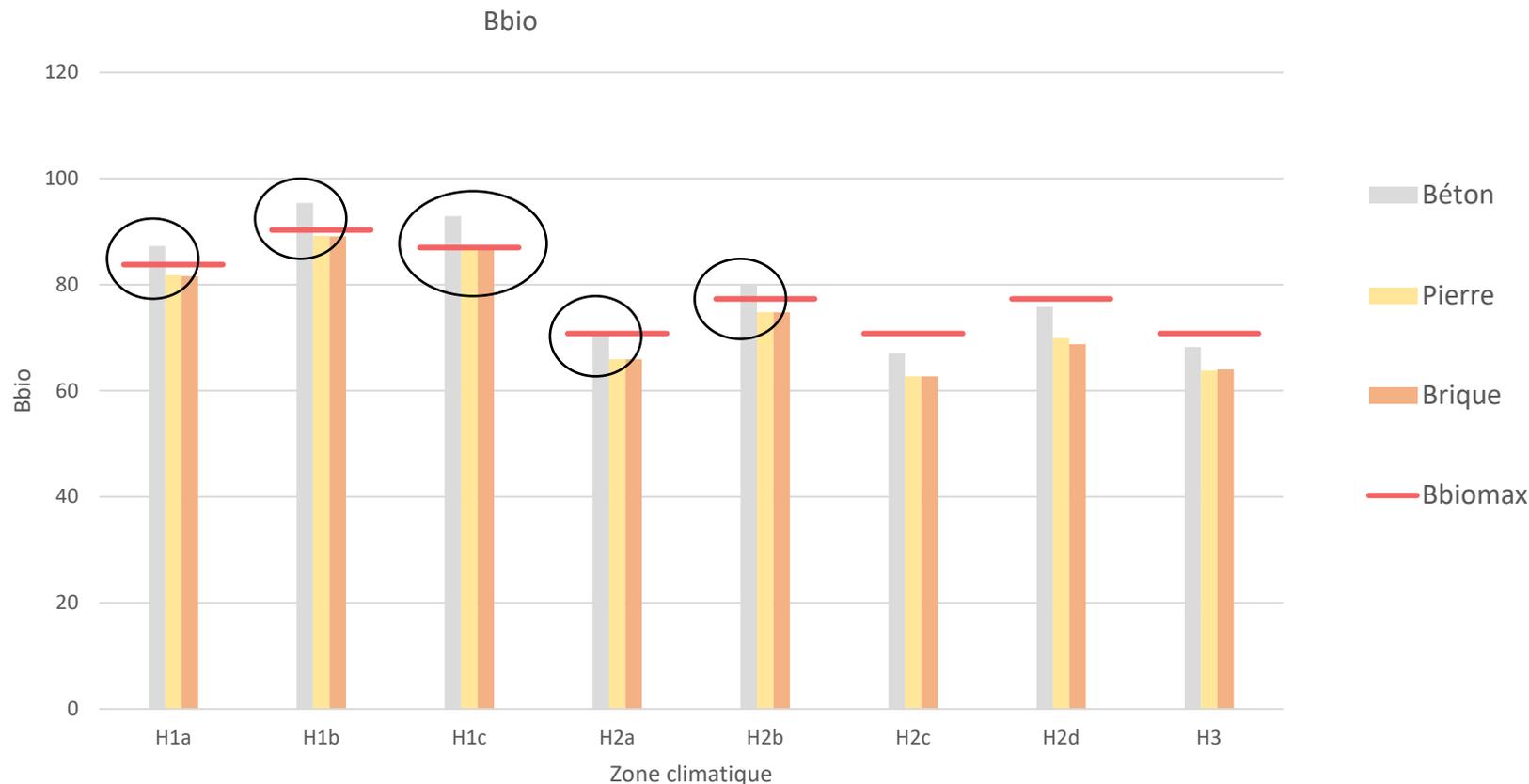


H1a
H1b
H1c
H2a
H2b
H2c
H2d
H3

Répartition du Bbio Pierre

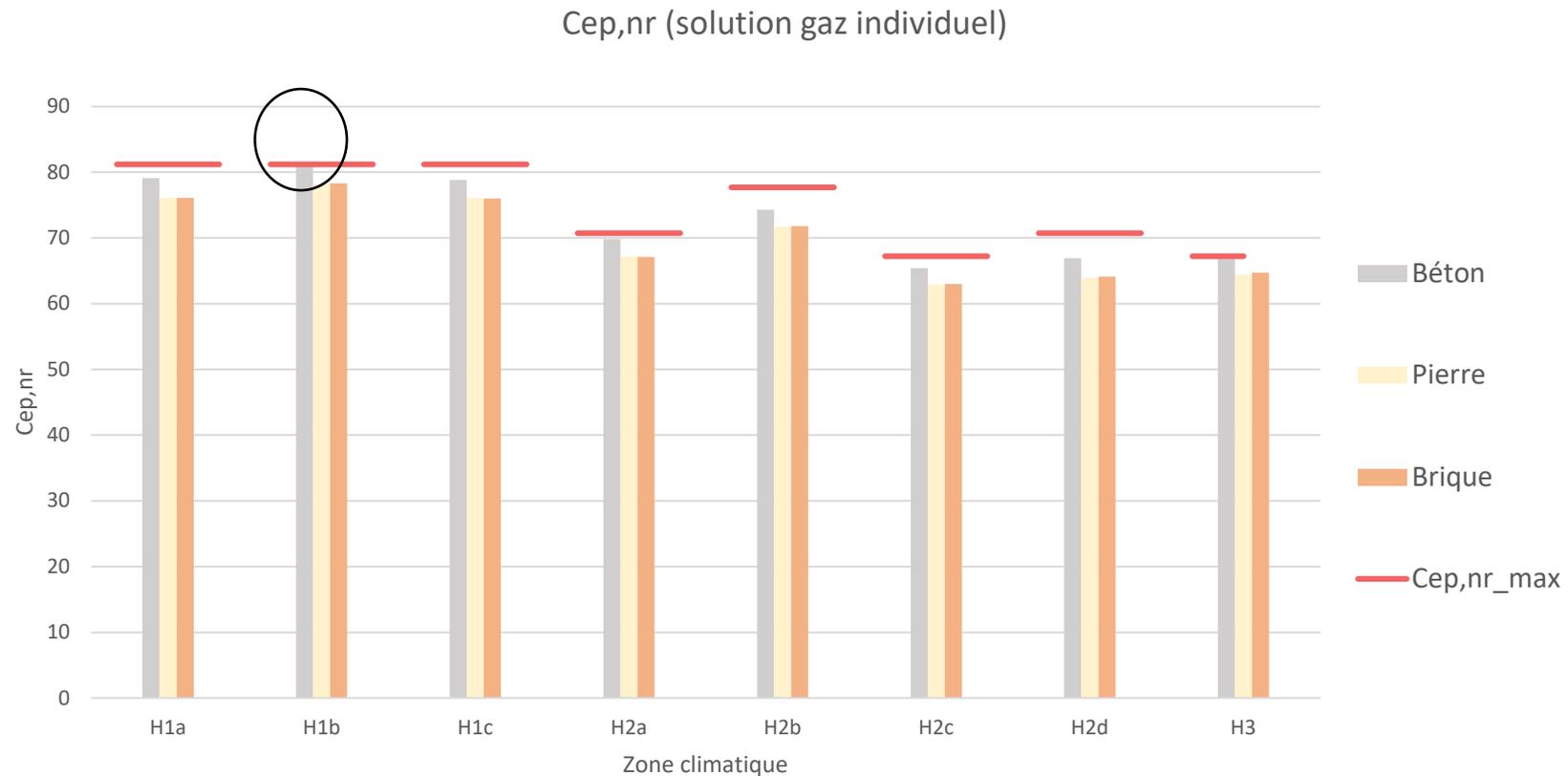


Résultats Bbio – Comparaison modes constructifs



Dépassement du seuil 2022 pour le mode béton + enduit dans 5 zones climatiques
Zone H1c : léger dépassement pour les modes pierre naturelle et brique

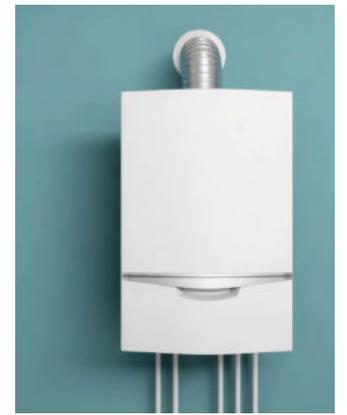
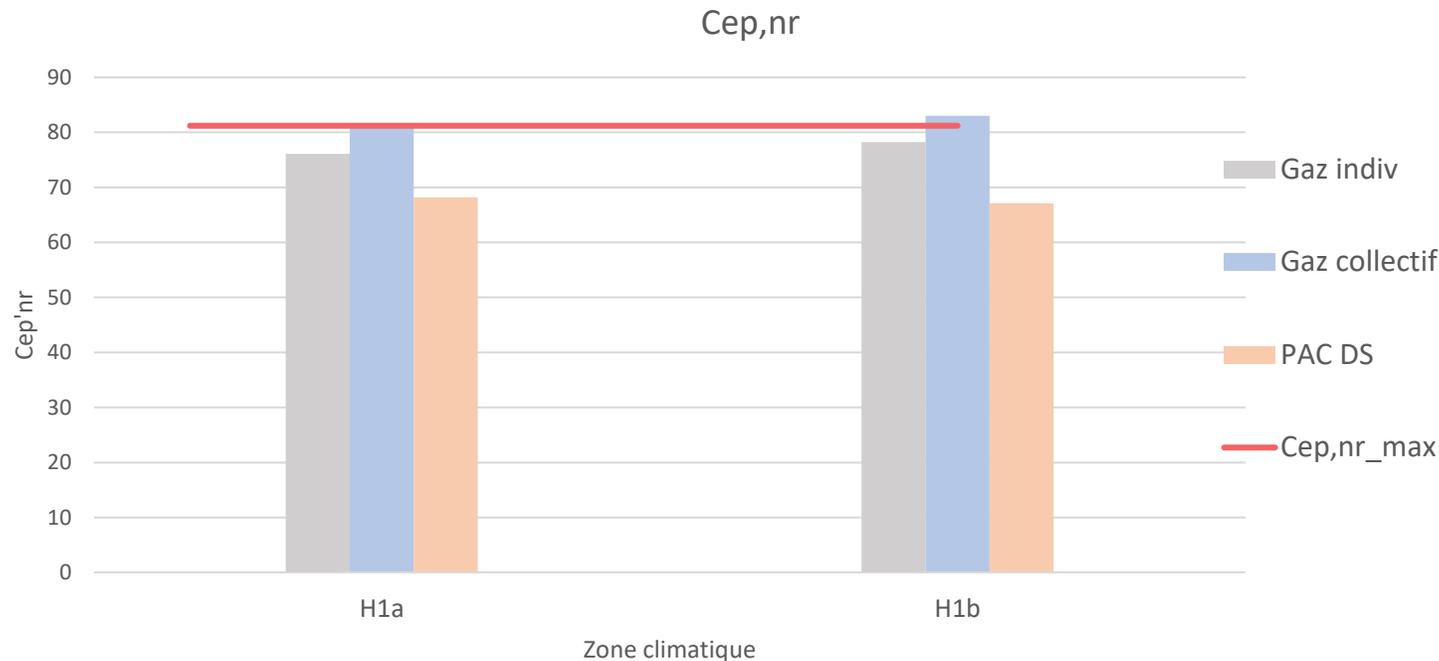
Résultats Cep,nr – Gaz individuel



Béton : léger dépassement en zone H1b, passage de justesse en zone H2a et H3

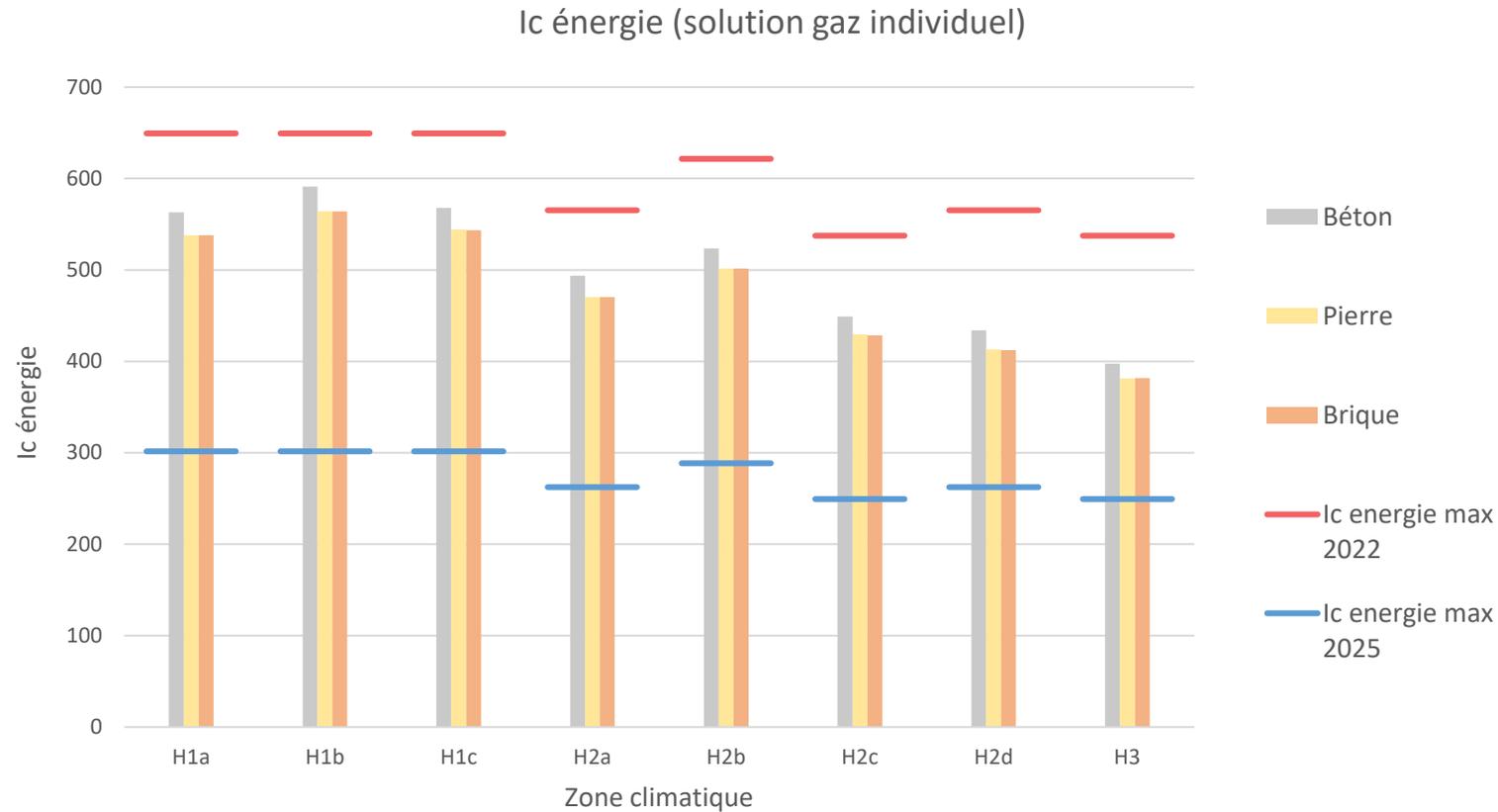


Résultats Cep,nr – Solution pierre

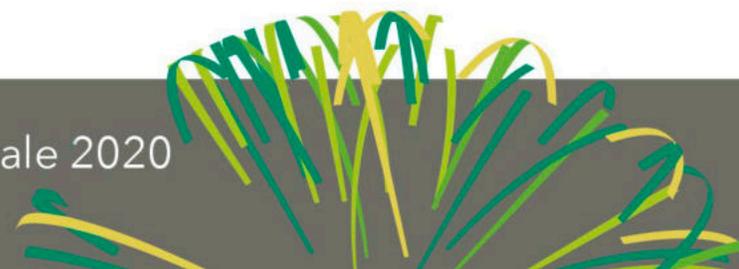


Solution pierre associée aux autres solutions énergétiques passent toute France
Hormis H1b de justesse en gaz collectif

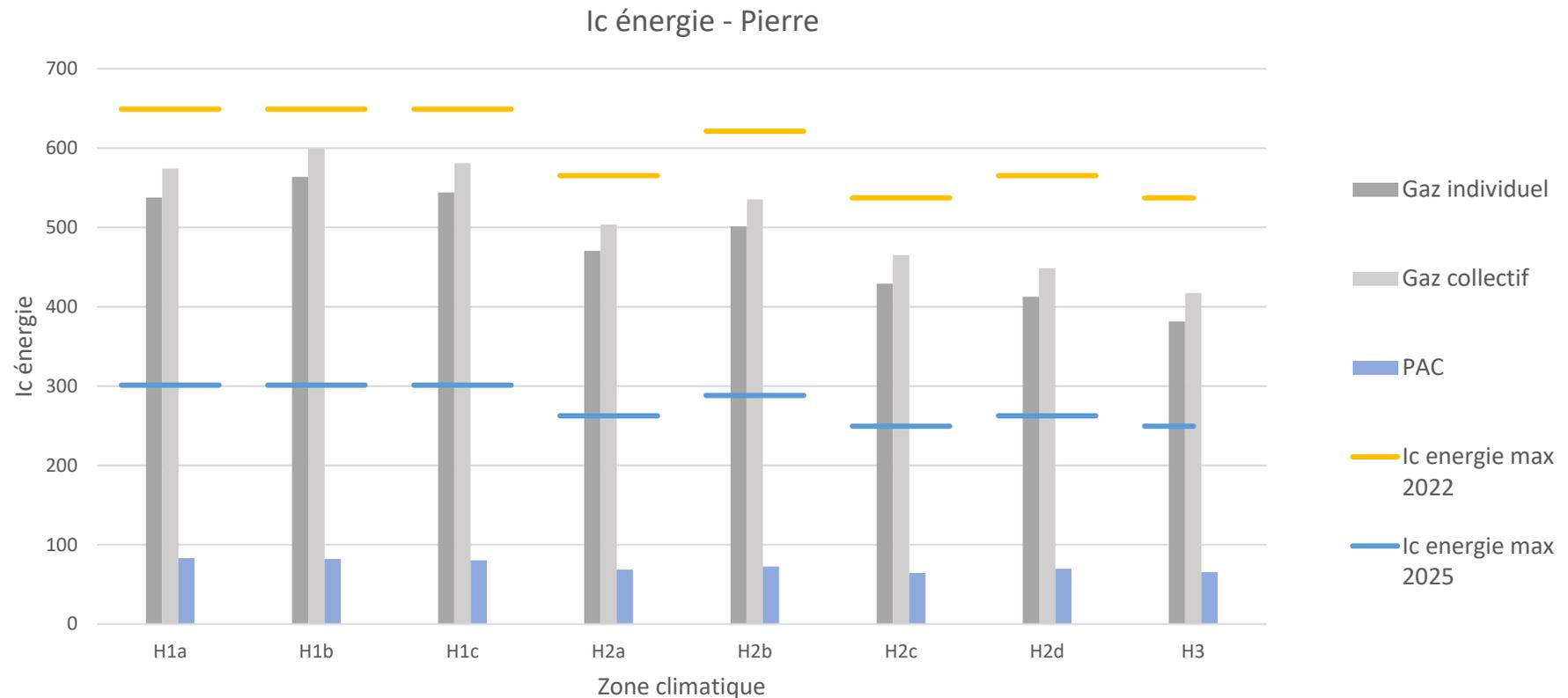
Résultats Ic,énergie– Gaz individuel



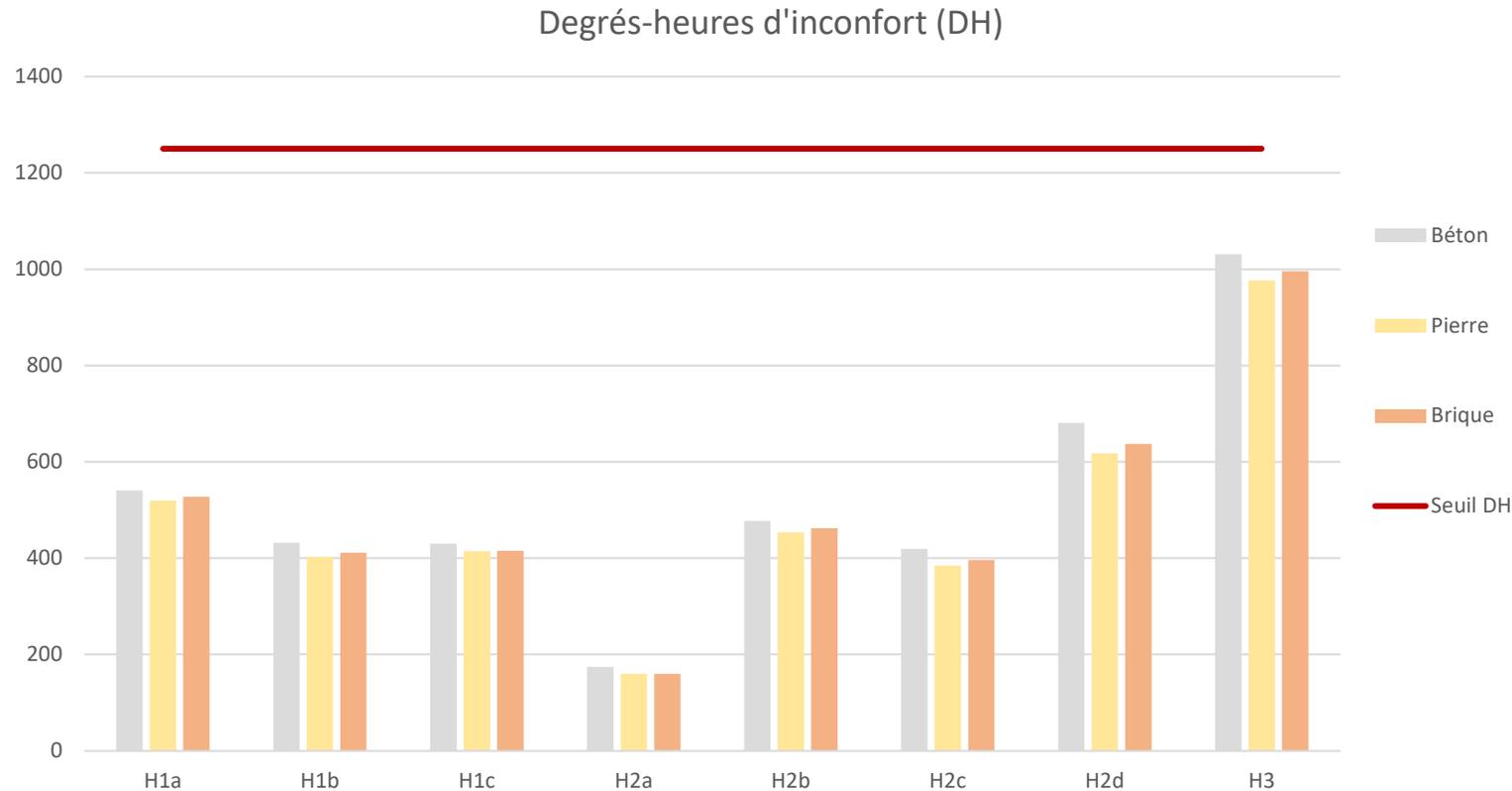
Pas de contrainte en 2022 sur le Ic,énergie



Résultats Ic,énergie– Pierre

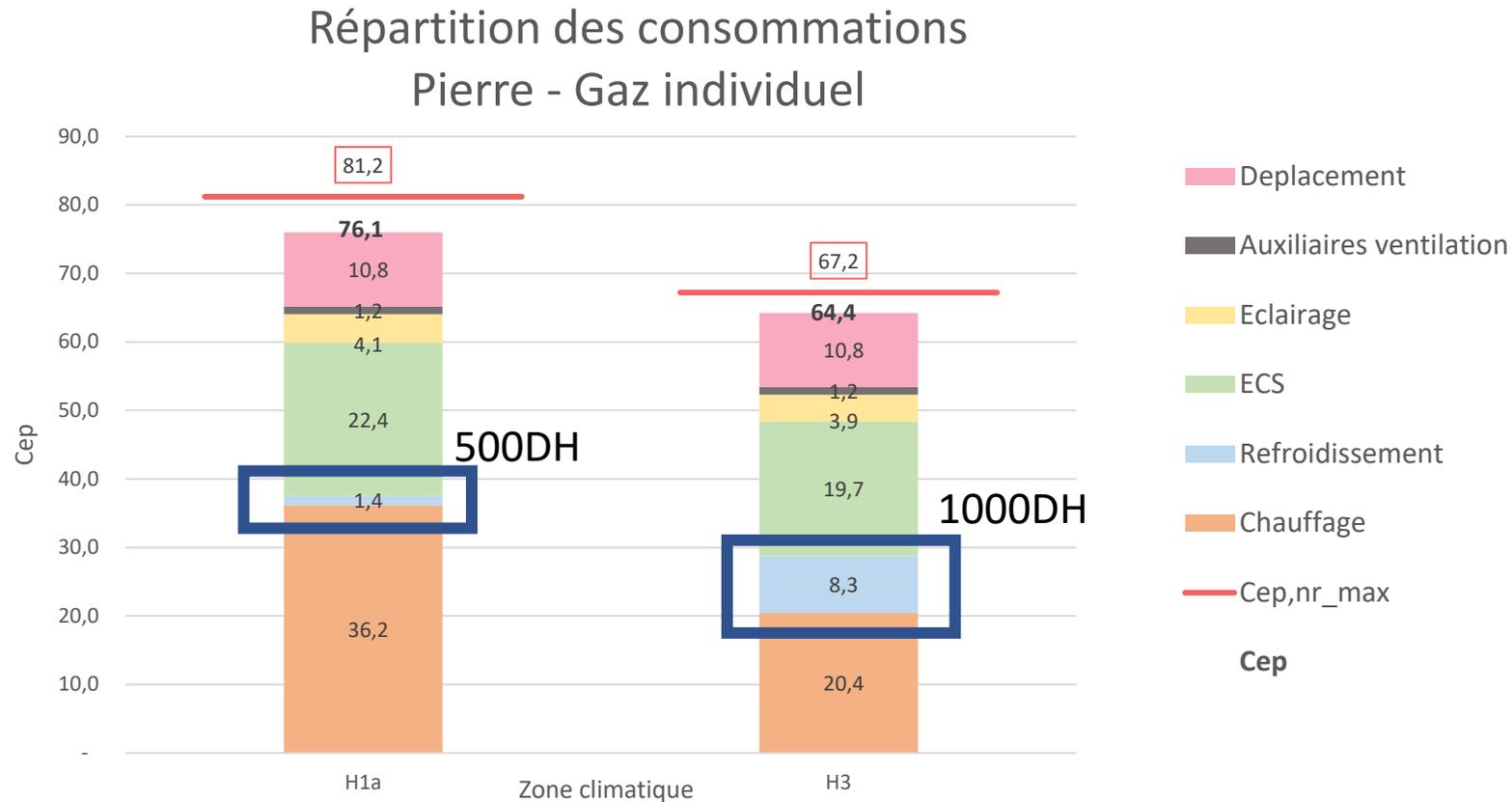


Résultats DH – Gaz individuel



100% des logements
sont traversants

Répartition des consommations

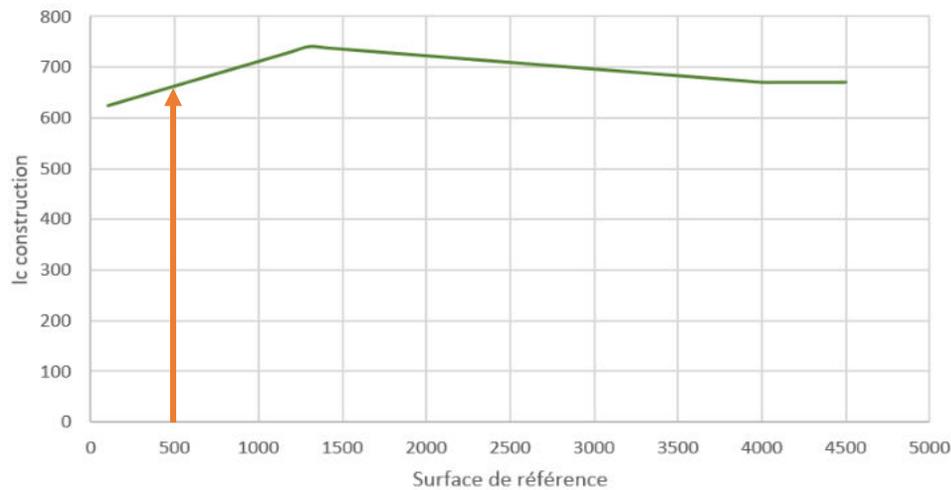


Calcul seuil Ic construction

Ic construction maxmoyen 2022 = **740 kgCO2eq/m2**

$Ic_{\text{construction_max}} = Ic_{\text{construction_maxmoyen}} \times (1 + Micombles + Misurf) + Migéo + Miinfra + Mivrd + Mided$

Evolution Ic construction en fonction de la SHAB



Misurf	-0,105
Migéo	0
Miinfra (si Ic_lot2 > 40 kgCO2eq/m2)	36
Mivrd (si Ic_lot1 > 10 kgCO2eq/m2)	0
Mided	0

Ic construction max 2022 = **698 kgCO2eq/m2**



Données étude carbone

Fiche	Type	Porteur	Date d'édition	kgCO2eq/m2	Durée de vie de référence	Distance jusqu'au chantier (A4)	Epaisseur
Mur en Pierre du Midi	Collectif	Association Pierres du Sud	01/2019	22,7	100 ans	110km	40 cm
Murs en pierre naturelle ALBAMIEL	Individuelle	Rosal Stones	10/2020	89,3	100 ans	1623 km	15 à 45 cm
Petits éléments de maçonnerie en pierre naturelle (mortier de jointement inclus)	DED		12/2019	22,7	100 ans	/	20 cm
	DED		12/2019	34,1	100 ans	/	20 à 30 cm
	DED		12/2019	45,4	100 ans	/	30 à 40 cm
Brique de structure de 20 cm pour pose à joint mince	Collective	CTMNC	02/2018	29,5	100 ans	308 km	20 cm
Brique Bio'bric Bgv'costo th+	Individuelle	Bouyer Leroux	04/2018	22,4	100 ans	222 km	20 cm

	Type de béton	Type de ciment	Armatures	Type	kgCO2eq/m2	Durée de vie de référence	Distance jusqu'au chantier	Epaisseur
Voiles façade béton	XC1, C30/37	CEM II/A	27 kg/m3	Collective – Configurateur BETie	42,5	100 ans	18,5 km	16cm
Plancher dalle pleine	XC1, C25/30	CEM II/A	58 kg/m3	Collective – Configurateur BETie	55,4	100 ans	18,5 km	20cm



Impact lié au transport de la pierre

Fiche	kgCO2eq/m2	Dont transport	Hypothèse distance	kgCO2/m2/km	kgCO2 sans transport
Mur en Pierre du Midi	22,7	6,9	110km	0,063	15,8
Murs en pierre naturelle ALBAMIEL	89,3	67,9	1623km	0,041	21,4

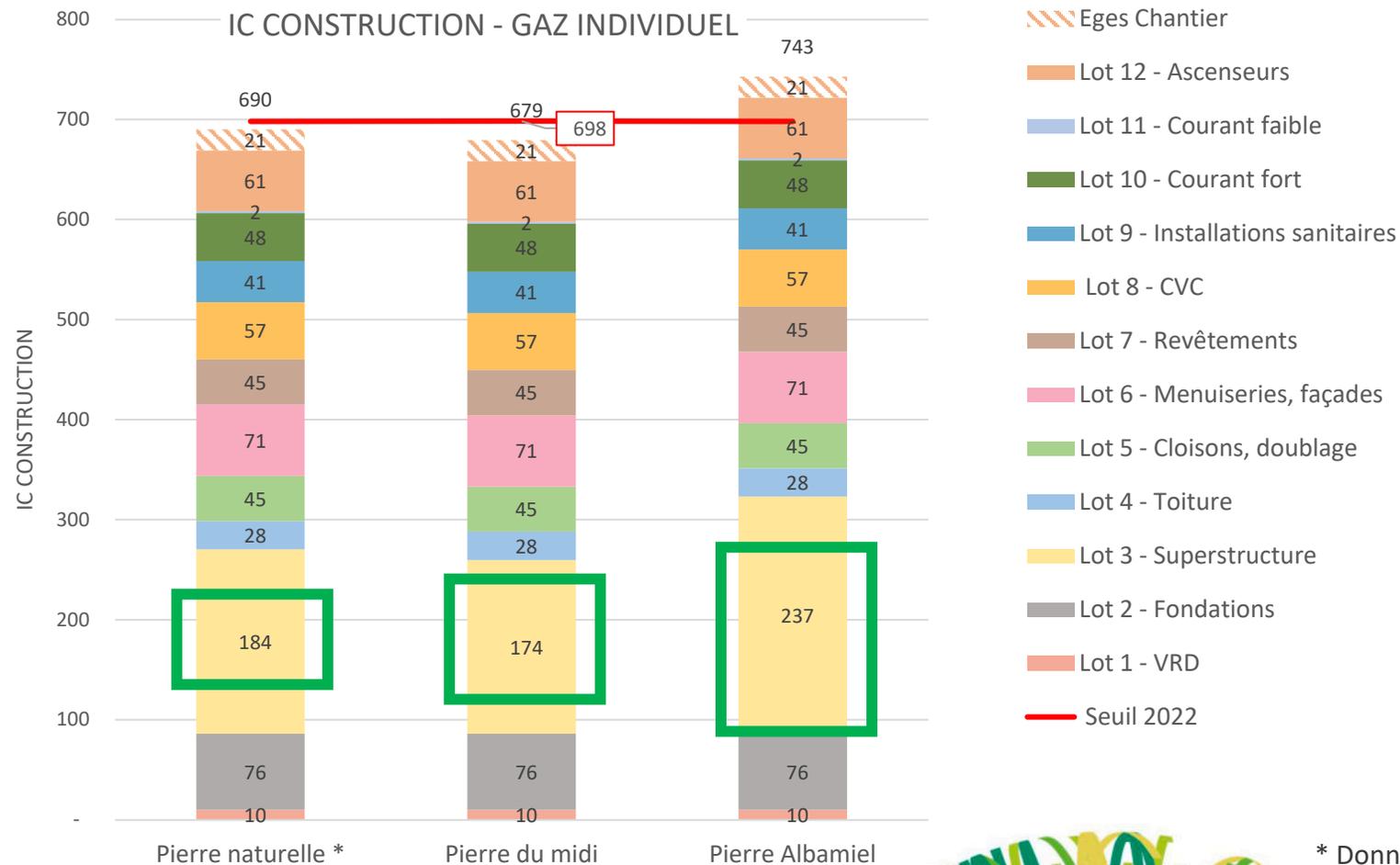
Si distance équivalente à 200km :

- Pierre du Midi : 28,3kgCO2/m²
- Albamiel : 29,8kgCO2/m²

La distance entre la carrière et le chantier est donc une valeur très important mais qui est fixe dans la FDES.
Il serait intéressant de développer un configurateur pour adapter le poids carbone de la pierre pour chaque chantier.

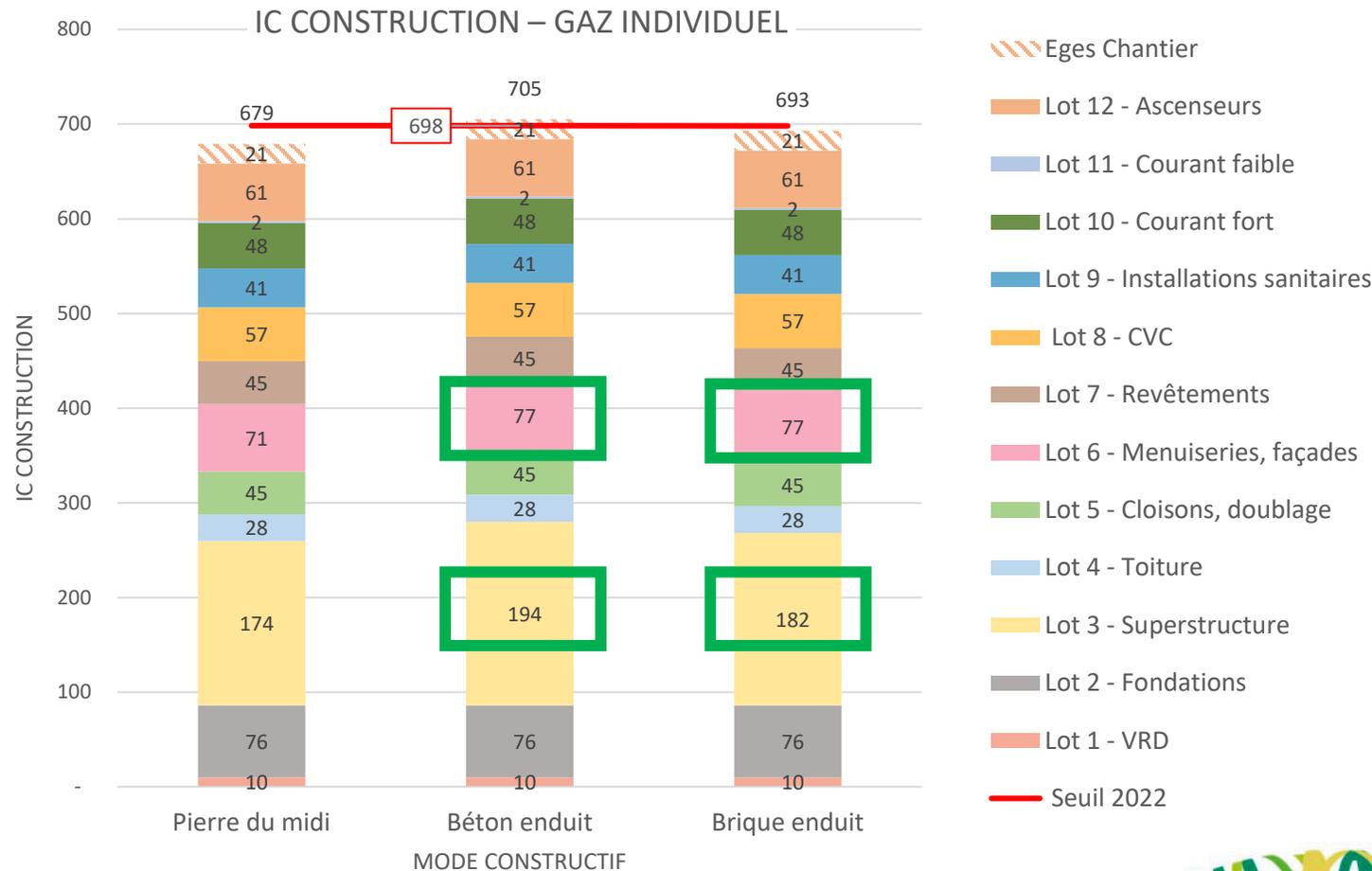


Ic construction – Comparaison des solutions pierre



* Donnée environnementale par défaut

Ic construction – Comparaison des modes constructifs

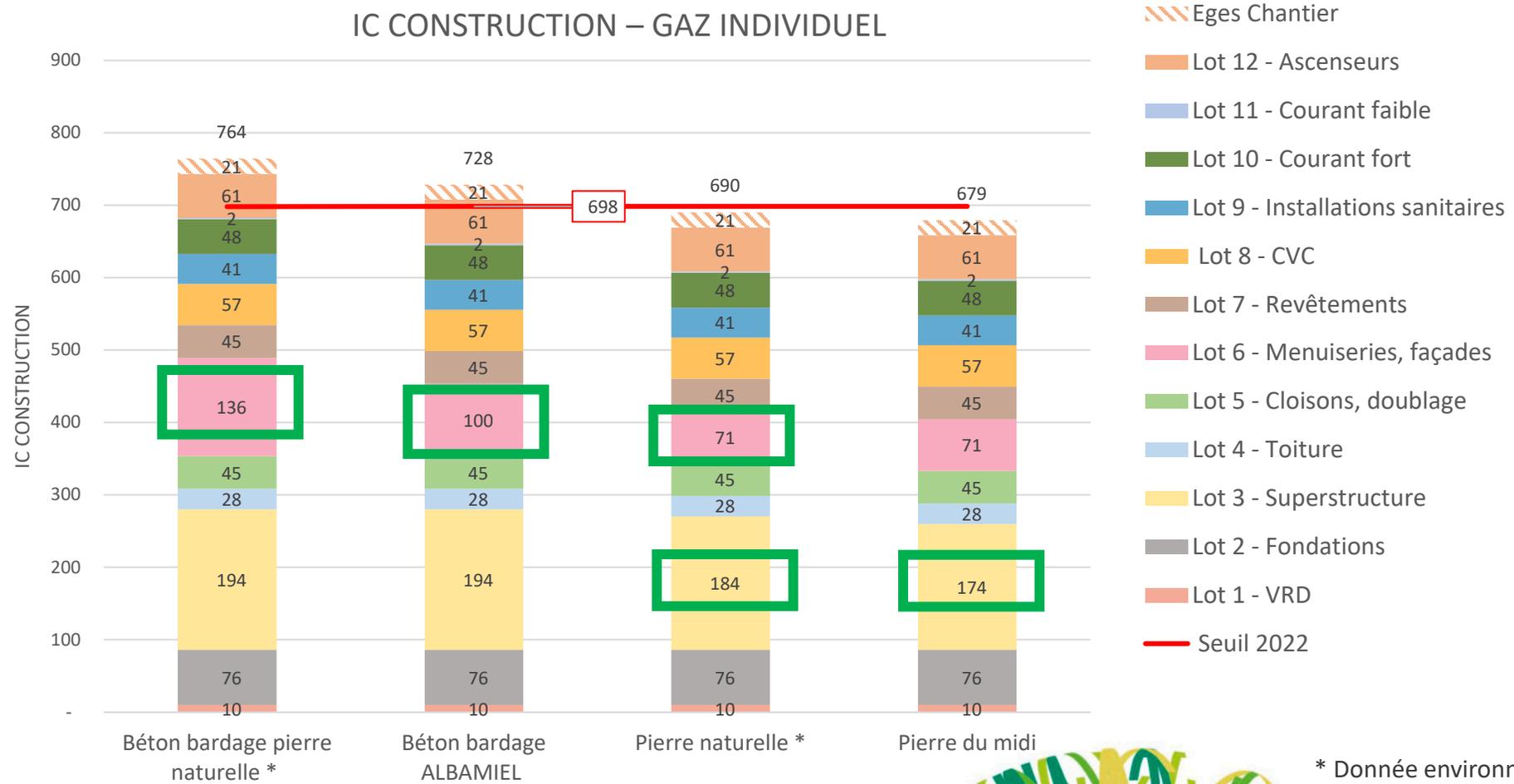


Solutions de revêtements extérieurs

Fiche	Type	Porteur	Date d'édition	kgCO2eq/m2	Durée de vie de référence	Distance jusqu'au chantier (A4)	Epaisseur
Mortier d'enduit naturel	Collective	Syndicat National des mortiers industriels	09/2021	5,7	50 ans	300 km	/
Bardage en pierre naturelle ALBAMIEL	Individuelle	Rosal Stones	10/2020	30,9	100 ans	1623 km	2 à 15cm
Bardage en pierre naturelle	DED		12/2019	66,6	100 ans	/	/



Ic construction



En guise de conclusion

Fort impact du type de fiche (DED, collective, individuelle) et de la distance prise en compte dans la fiche.

Pas de changement énergétique en 2022.

La construction pierre massive est bien positionnée dans la RE2020.

* Donnée environnementale par défaut

