

Construction & Développement Durable  
**arcanne**



## WEBCONFÉRENCE

### PerfInMind :

Retours d'expérience et  
nouveaux enseignements  
sur la rénovation BBC

Organisé dans le cadre du  
**MOOC**  
RÉNOVATION PERFORMANTE  
LES CLÉS DE LA RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE



Soutenu par  
RÉPUBLIQUE  
FRANÇAISE  
Liberté  
Égalité  
Fraternité



**FARE**

Soutenu par  
GOUVERNEMENT  
Liberté  
Égalité  
Fraternité



Le projet FARE est soutenu par l'État dans le cadre de l'AMI « Compétences et Métiers d'Avenir » du Programme France 2030, opéré par la Caisse des Dépôts.



# Une rénovation performante ?



**MOOC**  
RÉNOVATION PERFORMANTE  
LES CLÉS DE LA RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE



rénovation performante  
**dorémi**

=



saine  
qualité de l'air intérieur

+



préserve le bâti  
non-pathogène

+



confortable  
été comme hiver

+



BBC ou équivalent  
80 kWh/m2.an



**En 2005, pour initier le  
BBC en France nous sommes  
partis des très bons retours  
d'expérience de pays précurseurs.  
Qu'en est-il en France ?**



5



**En 2005 nous sommes  
partis sur les très bons retours  
d'expérience des pays précurseurs.  
Qu'en est-il en France ?**



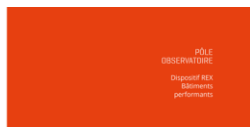
**observatoireBBC**  
Agir pour les bâtiments de demain



**Perf in Mind**  
Rénovation performante de maisons individuelles



Pratiquer les disciplines,  
améliorer la qualité  
de la construction



...etc.



**Perf in Mind**  
Rénovation performante de maisons individuelles

6



**Perf in Mind**  
Rénovation performante de maisons individuelles

## Evaluation par la mesure de 100 rénovations performantes de maisons individuelles. (Rénovations globales et accompagnées)

Etude réalisée sur  
2019/2021  
Rendu. Fin 2021

Etude soutenue par l'ADEME dans le cadre  
de son Appel à Projet « vers des bâtiments  
responsables à l'horizon 2020 »



7



### Un comité de pilotage



### Un comité de suivi technique



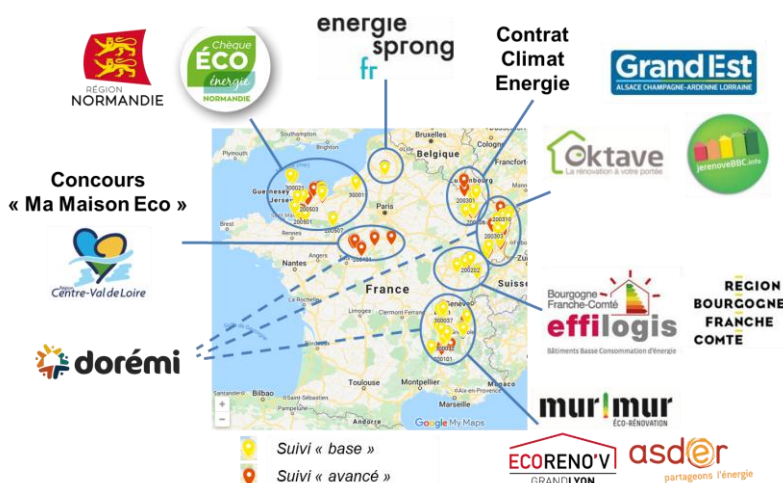
8



# 106 maisons rénovées, 11 dispositifs



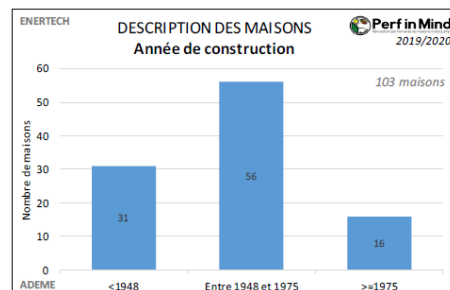
Analyse multicritère énergie, confort, santé, satisfaction, coût



9



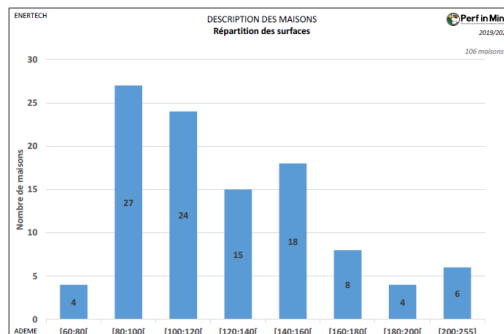
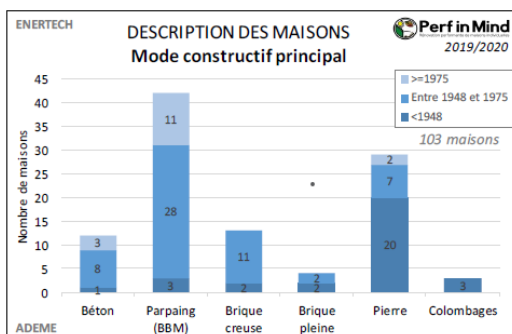
## Une grande diversité de maisons suivies



10



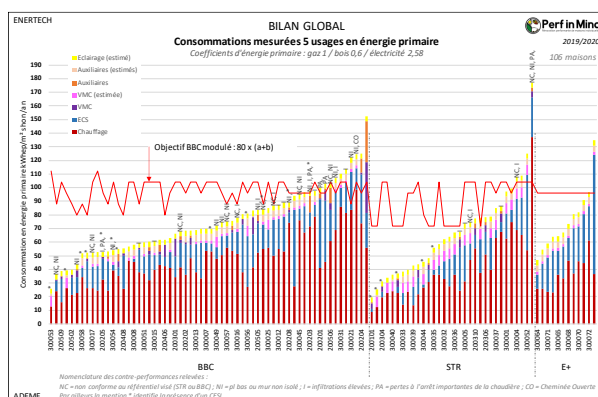
## Une grande diversité de maisons suivies



## 106 maisons rénovées, 11 dispositifs



Succès de la rénovation complète et performante, et accompagnée



### Respect des objectifs

- ✓ BBC : 95% des réno atteignent leur objectif de Cep (tolérance +20%)

### Retour des habitant-es

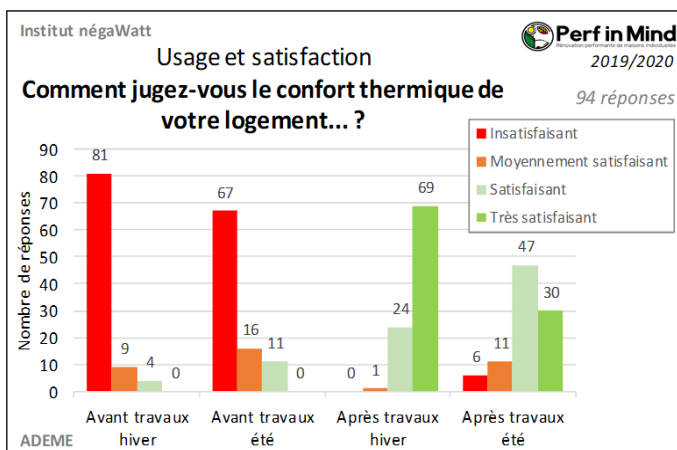
- ✓ 96 % des ménages plutôt ou entièrement satisfaits de leur rénovation
- ✓ 80 % satisfaits de leur facture énergétique



# 106 maisons rénovées, 11 dispositifs



## Succès de la rénovation complète et performante, et accompagnée



- ✓ Hiver : 99% de ménages satisfaits  
T° moyenne de 20°C
- ✓ 88% saluent un meilleur confort après rénovation qu'avant.

### Eté : mesures décevantes

- ✗ 32% dépassent 40h à >28°C

Vigilance nécessaire sur ce sujet.

Pourtant 82% satisfaits du confort d'été

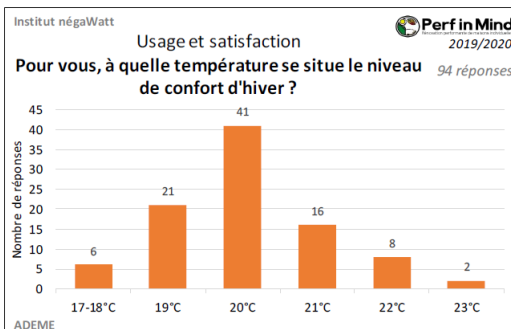
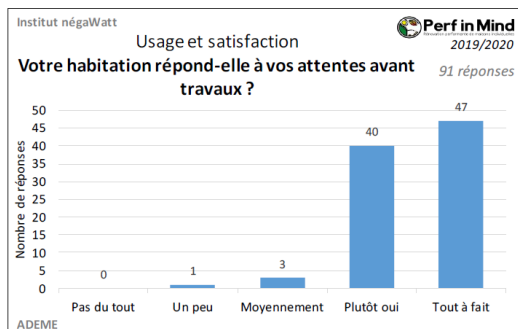
13



# 106 maisons rénovées, 11 dispositifs



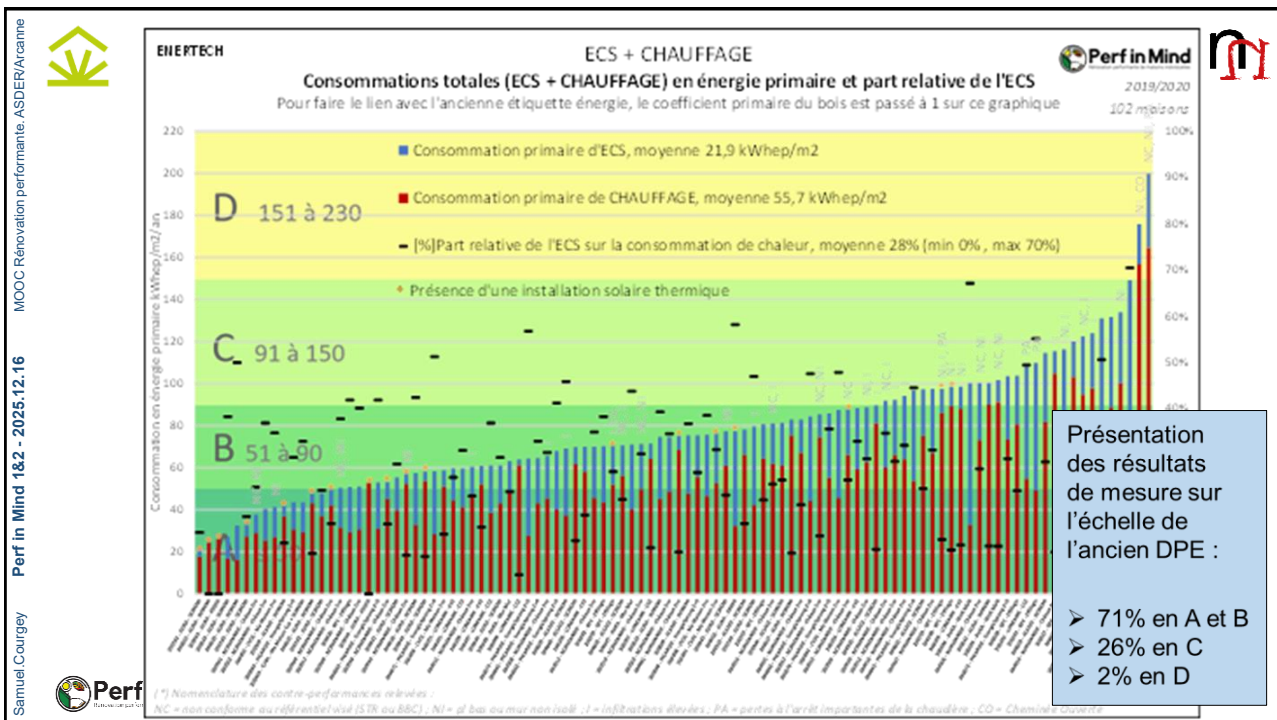
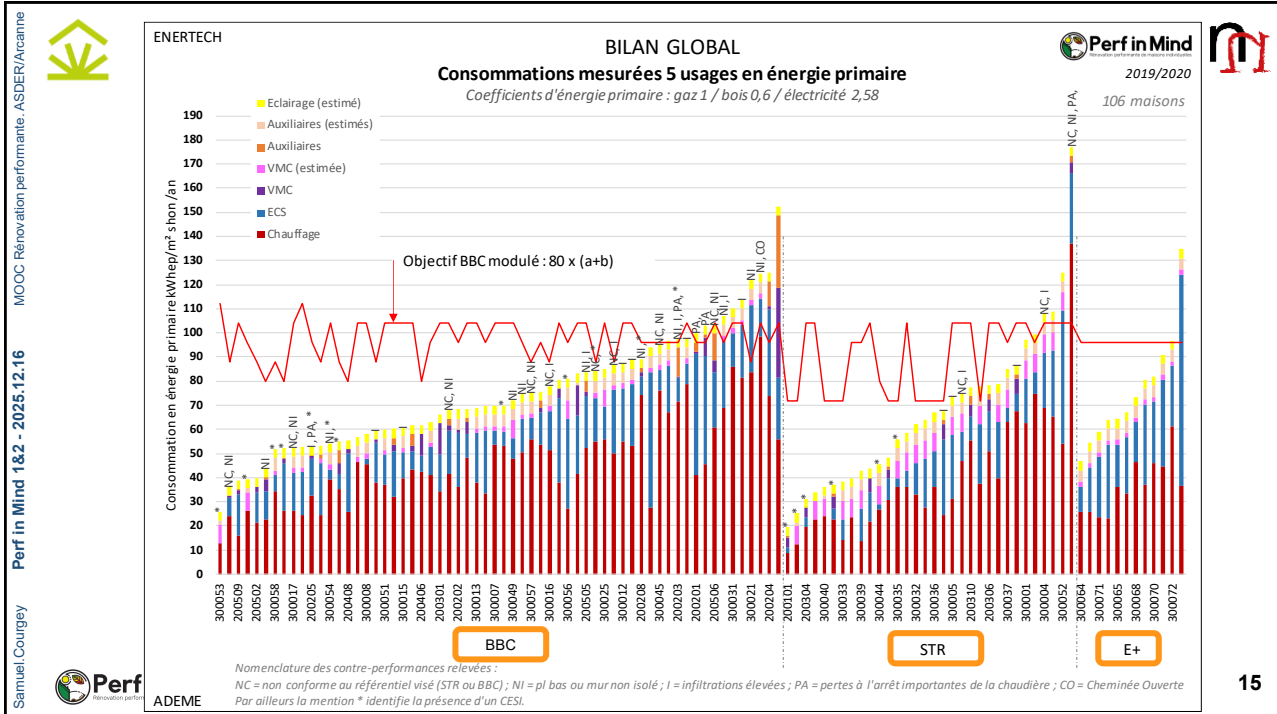
## Succès de la rénovation complète et performante, et accompagnée



### Importance de la notion de confort/inconfort !

« L'impact d'un degré de plus dans ces maisons rénovées à un niveau performant se traduit par une augmentation de la consommation de chauffage de +17% »

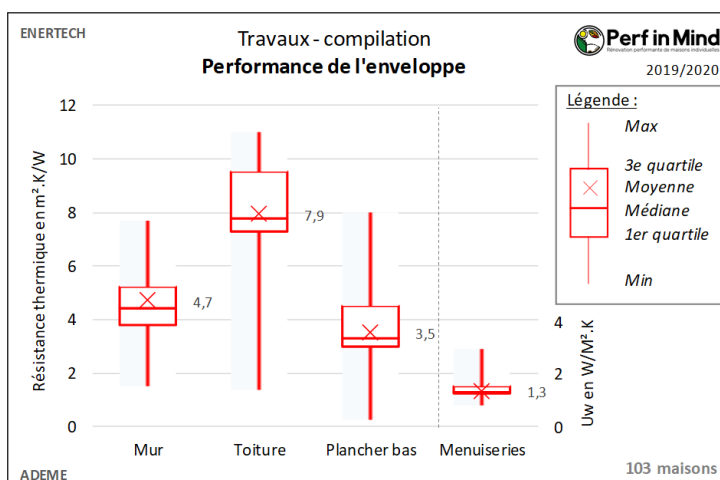
14







# Performance des enveloppes

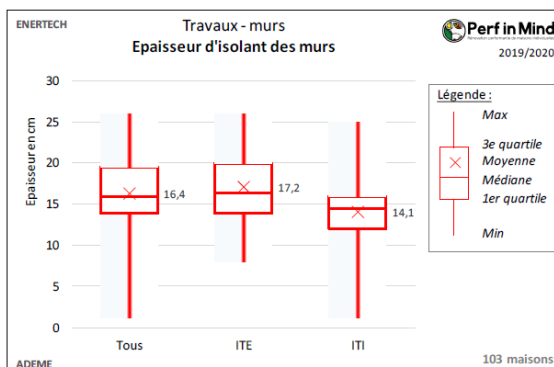
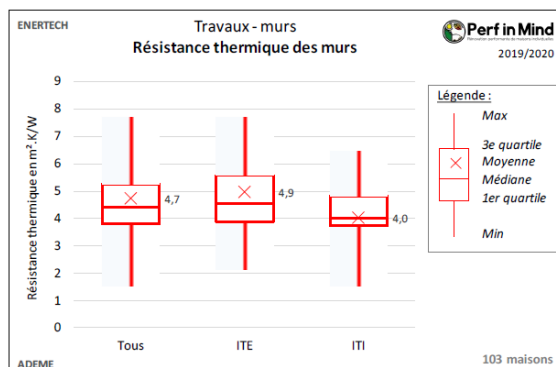


- ✓ De forts niveaux d'isolation
- ✓ Pour les rénos BBC, statistiques comparables à l'Observatoire BBC
- ✓ Rôle seulement partiellement prescripteur des aides

18



# Performance des enveloppes

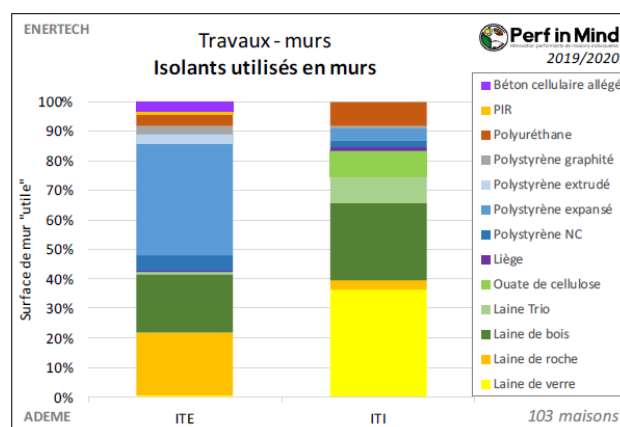
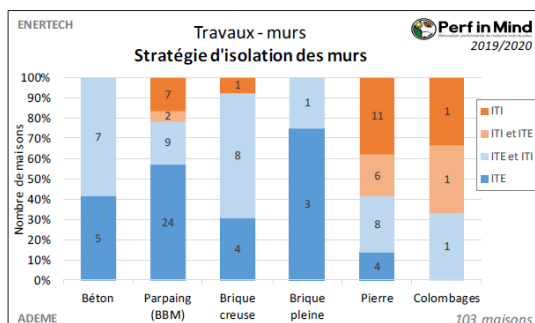


20





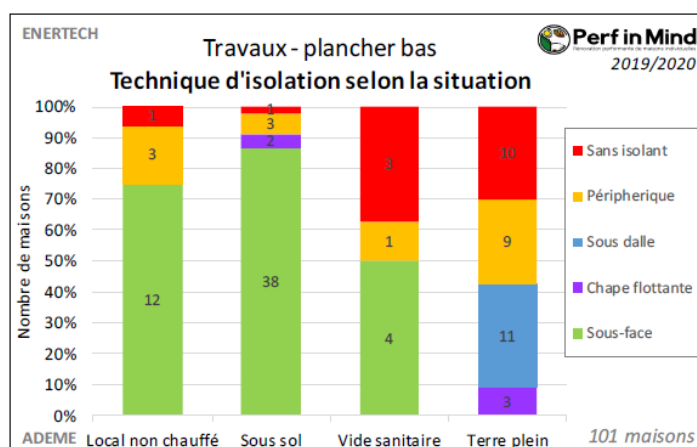
# Performance des enveloppes



21



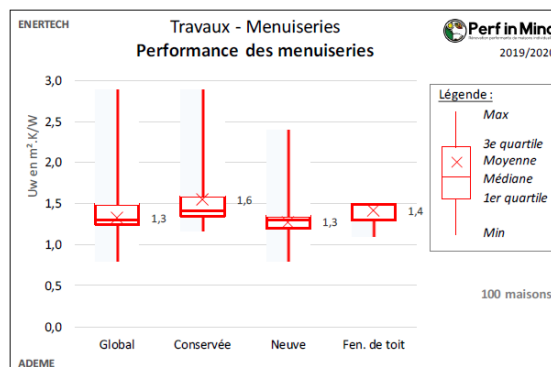
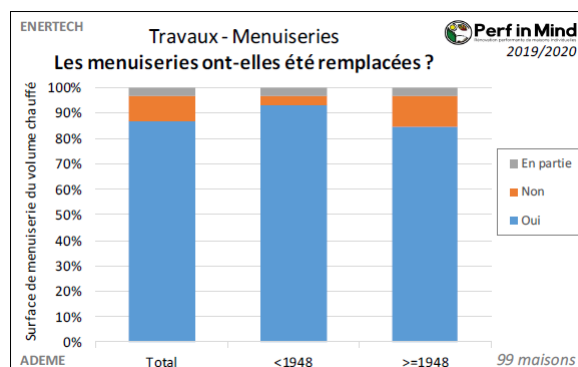
# Performance des enveloppes



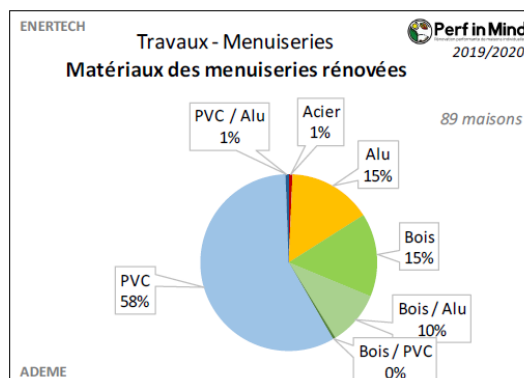
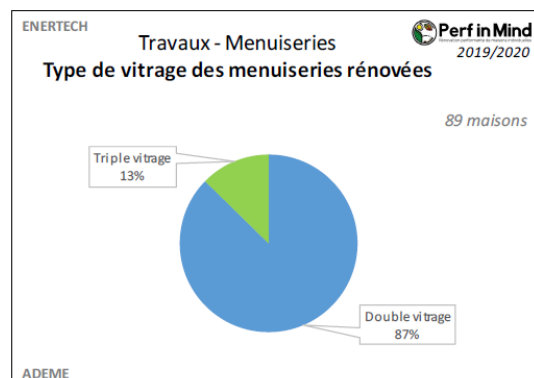
22



# Performance des enveloppes

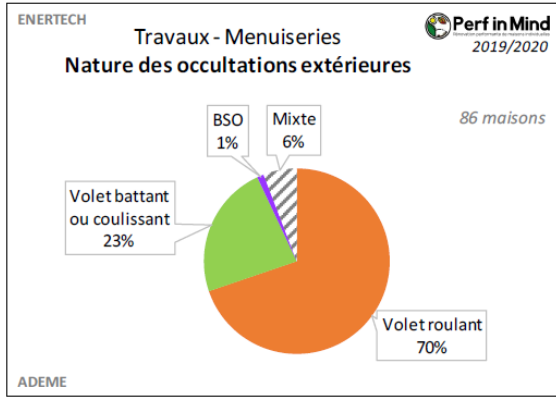
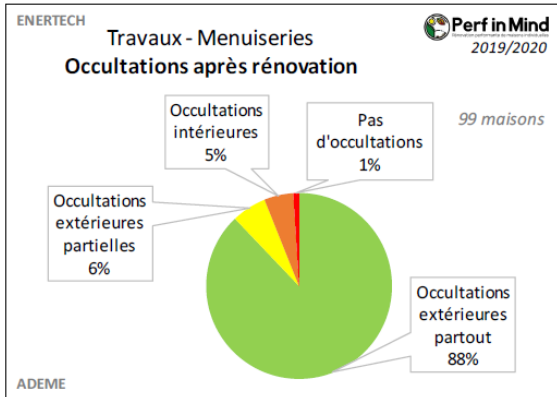


# Performance des enveloppes

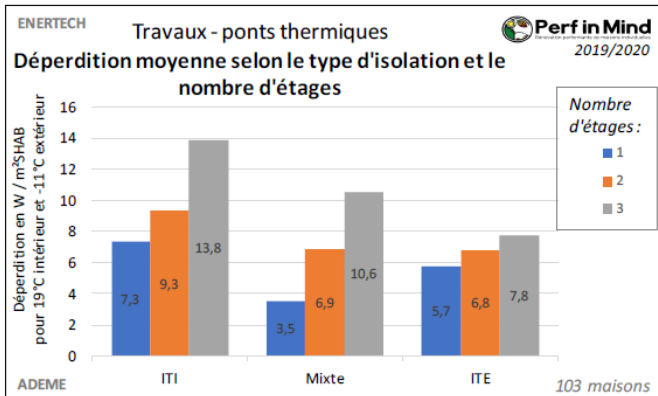


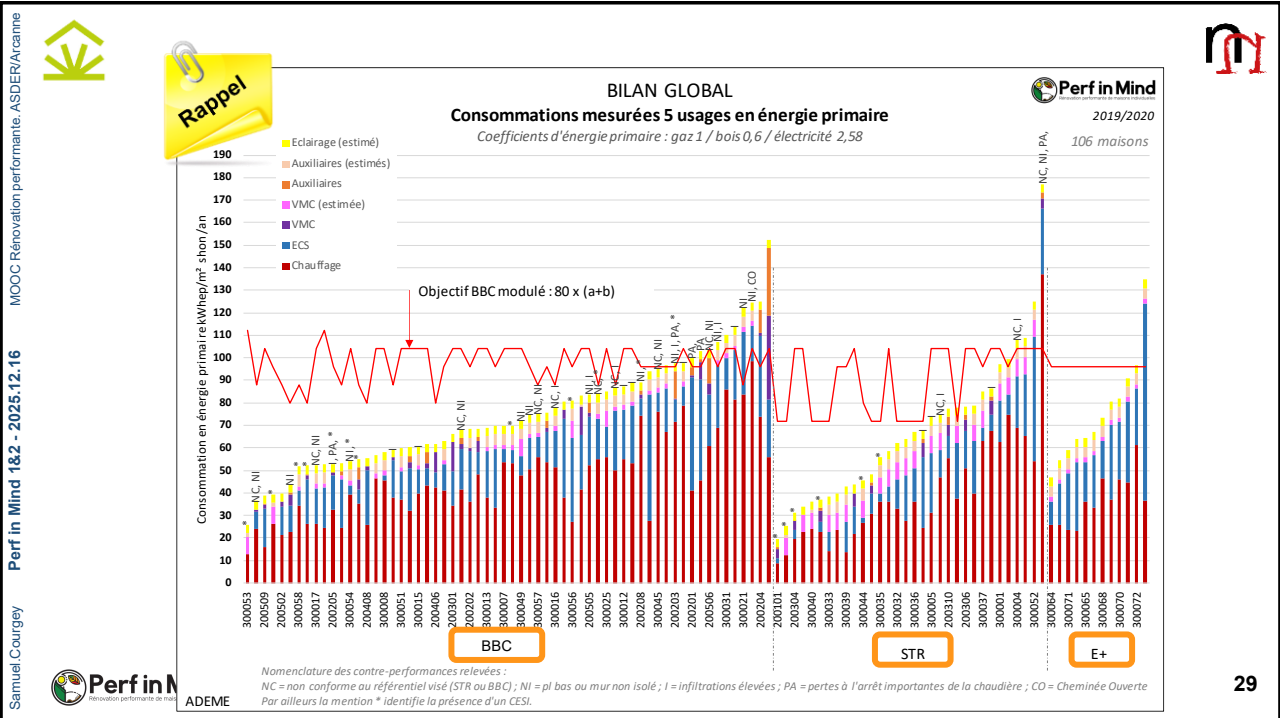
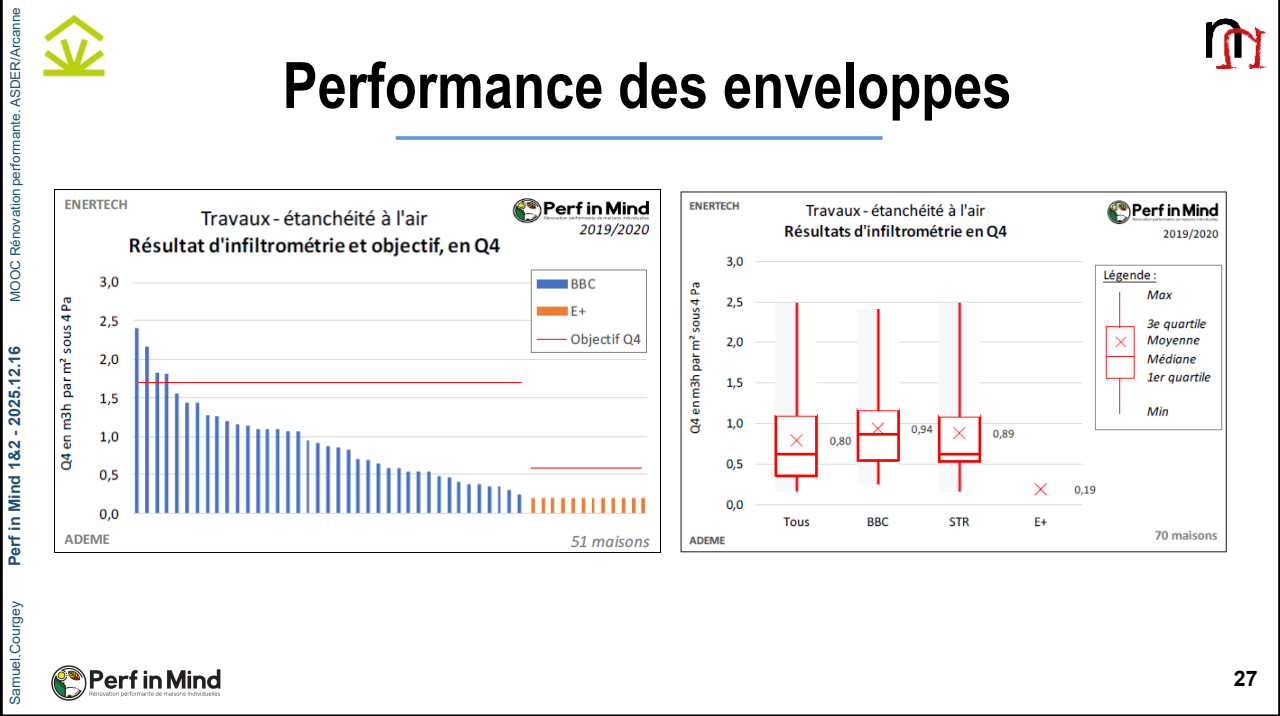


# Performance des enveloppes



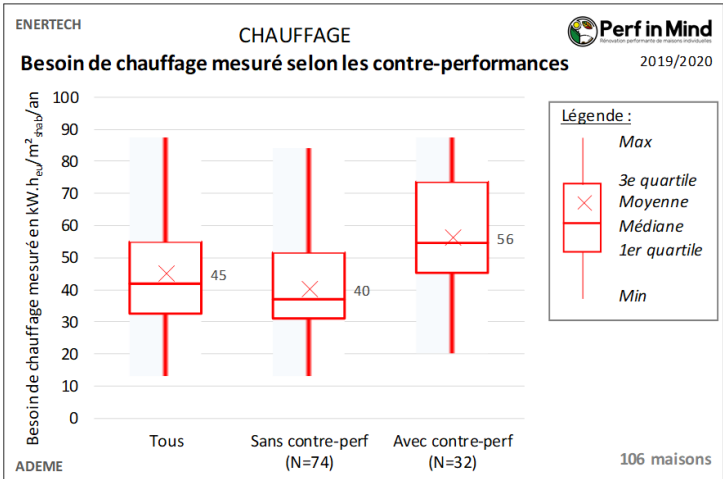
# Performance des enveloppes







# Performance des enveloppes

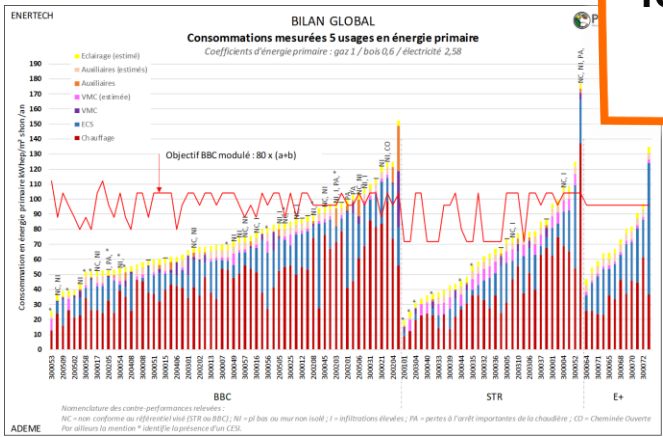


## De rares contre-performances

- ✗ Référentiel non respecté : 16% en BBC, 9% en STR
- ✗ Partie de mur ou plancher bas non isolé (pas même en périphérie)
- ✗ Infiltrations importantes



Ne pas respecter les référentiels proposés pénalise généralement fortement la performance finale réelle !



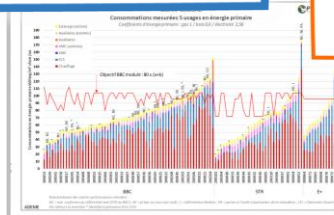


## En enseignements de l'analyse fine des projets :

- pour les parois que l'on ne peut pas réellement isoler, une isolation légère est très pertinente (pour le sol : une isolation périphérique)
- pour tous les projets : pensez à travailler finement l'étanchéité à l'air !



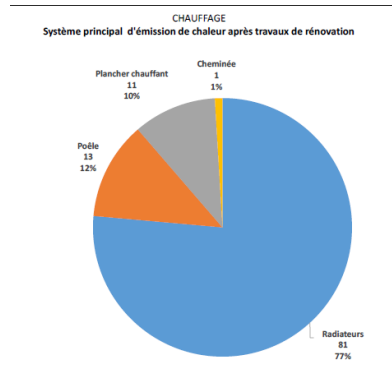
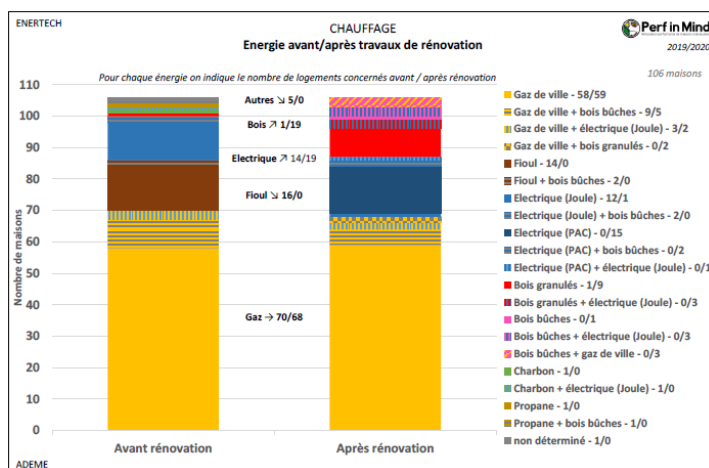
Ne pas respecter les référentiels pénalise généralement fortement la performance finale réelle !



29

32

## Performance du chauffage



33

MOOC Rénovation performante, ASDER/Arcanne

Perf in Mind 1&2 - 2025.12.16

Samuel Courgey

**Performance des chaudières**

✓ **Rendements globalement bons**, néanmoins :

- ✗ Mauvais rendem.t pour certaines chaudières conservées
- ✗ Certaines régulations terminales peu performantes
- ✗ Rendement quelques fois très mauvais sur l'ECS

**Performance des pompes à chaleur**

✓ **COP globalement bons**, mais ne pas oublier que :

**Plus la maison est isolée, meilleur est le COP !**

**CHAUFFAGE**  
Contributions de chauffage en énergie finale

2019/2020  
106 maisons

BOIS ELEC BOULE ELEC PAC

Consommation en énergie (kWh/m²/an)

Moyenne globale : 50,5 kWh/m²/an  
Moyenne des performances : 42,3 kWh/m²/an  
Performance : 42,3 kWh/m²/an

(\*) Nomenclature des codes performances réduites :  
BC = non conforme au référentiel exist (DTR ou BNC), NE = à gél bas ou mur non isolé, I = infiltrations d'air, PA = pertes à l'arrêt importantes de la chaudière, CC = Cheminée ouverte

ADAME

Perf in Mind  
Rénovation performante de maisons individuelles

34

MOOC Rénovation performante, ASDER/Arcanne

Perf in Mind 1&2 - 2025.12.16

Samuel Courgey

**Performance du poste ECS**

**EAU CHAUDE SANITAIRE**  
Système principal de production de chaleur après travaux de rénovation

ENERTECH

Perf in Mind  
2019/2020  
106 maisons

ADAME

Couplé au chauffage (PAC) 3  
Cumulus électrique 6  
Ballon thermodynamique 22  
Chauffe-eau solaire 18  
Couplé au chauffage (gaz avec appoint électrique) 2  
Chauffe-eau gaz 1  
Couplé au chauffage (gaz) 54

21% 5% 21% 17% 2% 1% 51%

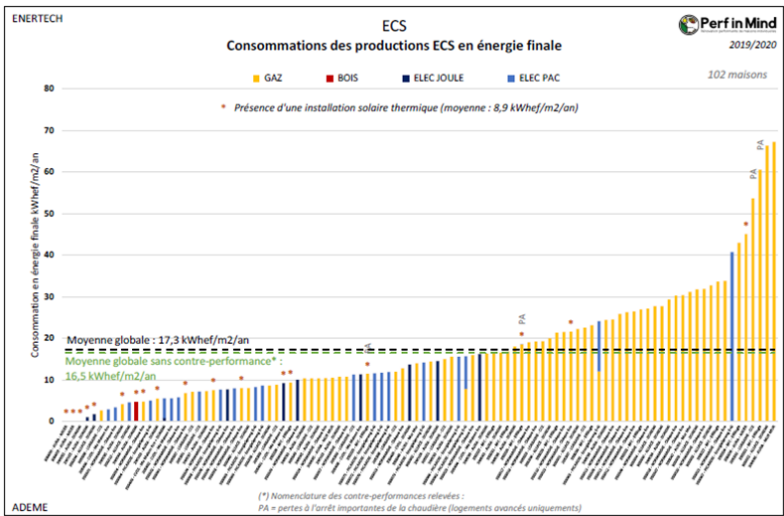
Perf in Mind  
Rénovation performante de maisons individuelles

36

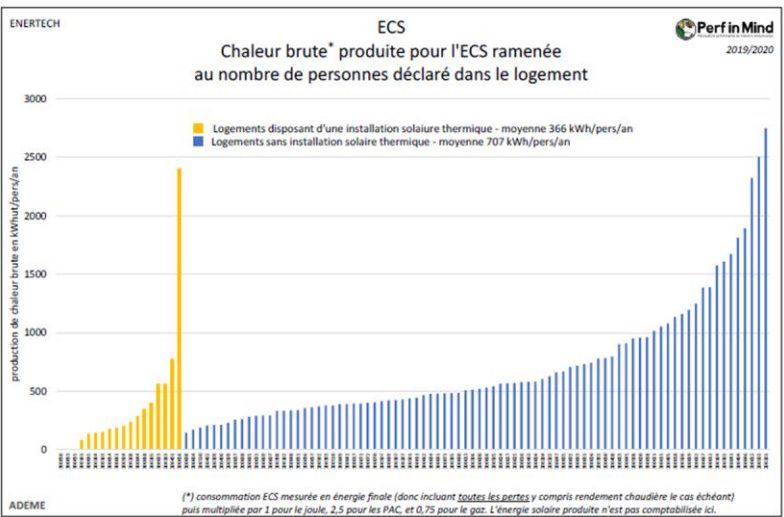




# Performance du poste ECS



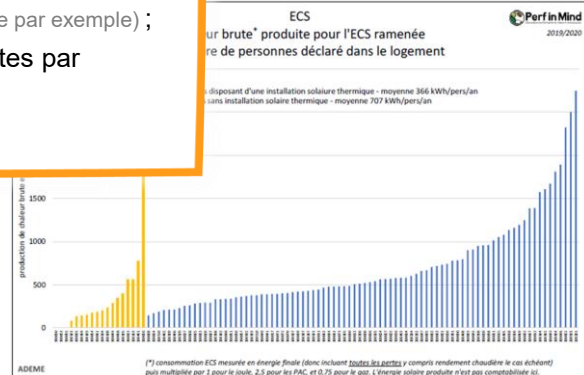
# Performance du poste ECS





« Il est clair que de très nombreux paramètres entrent en jeu dans ce résultat :

- biais déclaratif sur le nombre de personnes / effectif moyen dans le logement ;
- rendements de production et pertes de stockage hétérogènes d'une installation à l'autre ;
- profils de consommation d'ECS très différents d'une personne à l'autre (adolescent vs. personne âgée par exemple) ;
- débits aux points de puisage disparates par logements »

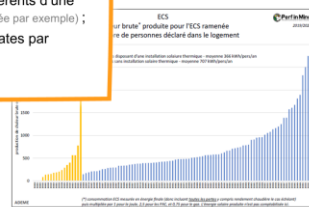


39



« Il est clair que de très nombreux paramètres entrent en jeu dans ce résultat :

- Biais déclaratif sur le nombre de personnes effectif moyen dans le logement ;
- Rendements de production et pertes de stockage hétérogènes d'une installation à l'autre ;
- Profils de consommation d'ECS très différents d'une personne à l'autre (adolescent vs. Personne âgée par exemple) ;
- Débits aux points de puisage disparates par logements »



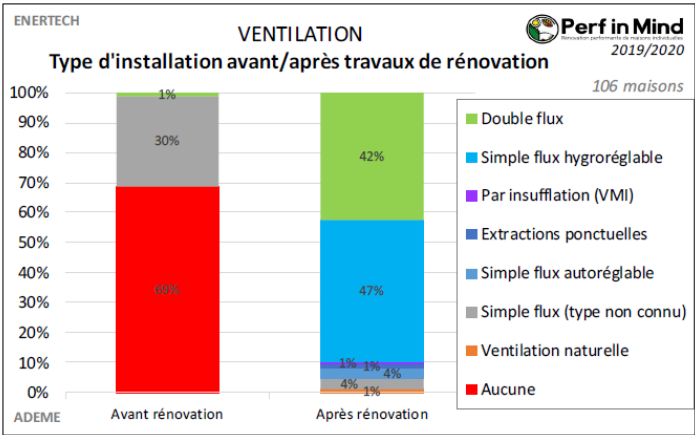
37

**Le poste "Eau Chaude Sanitaire" est un poste de première importance si l'on vise une réelle performance énergétique en résidentiel !**

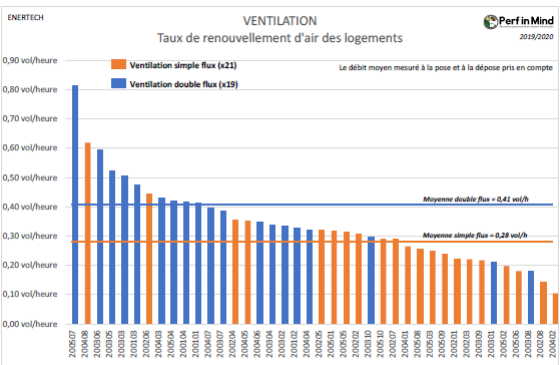
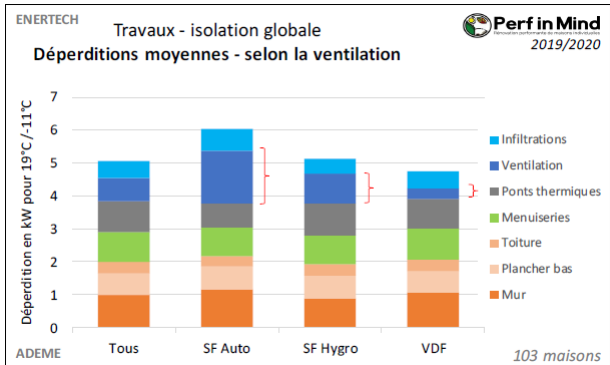
40



# Performance du poste Ventilation

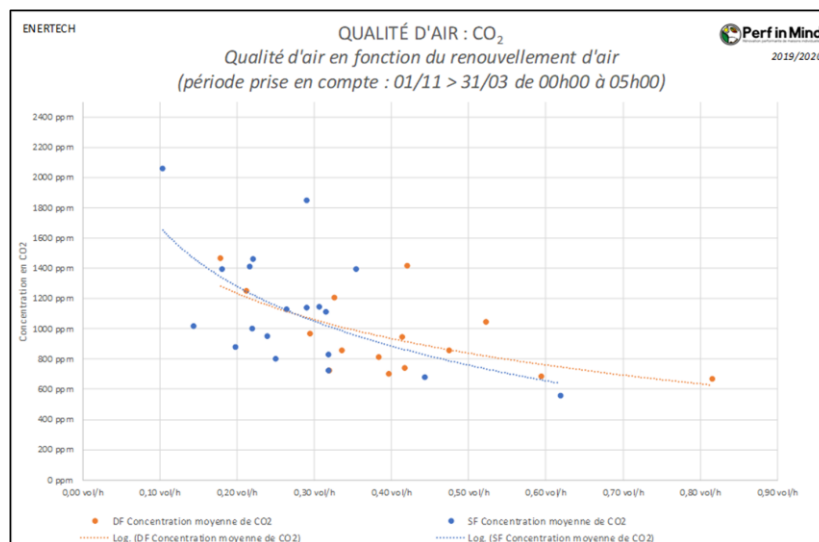


# Performance du poste Ventilation





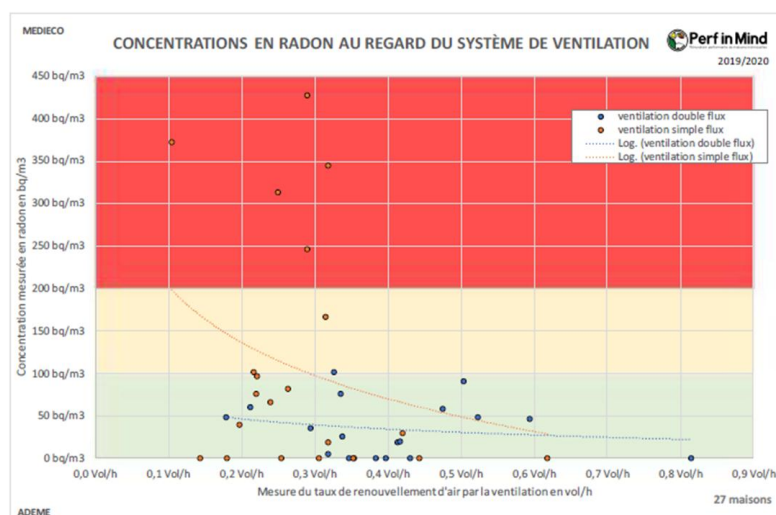
# Performance du poste Ventilation



43



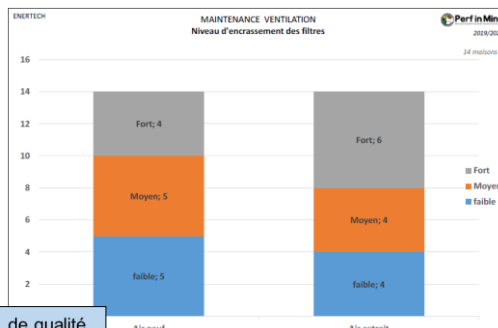
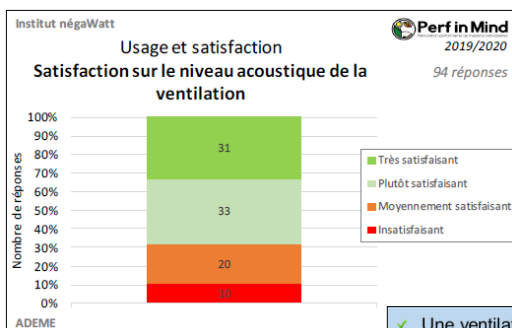
# Performance du poste Ventilation



44



## Performance du poste Ventilation



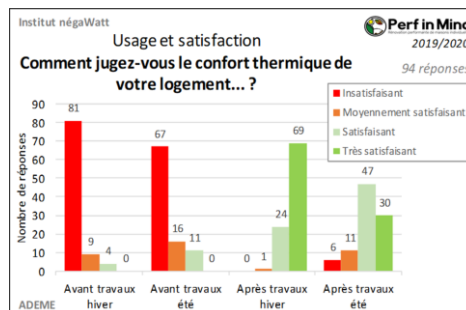
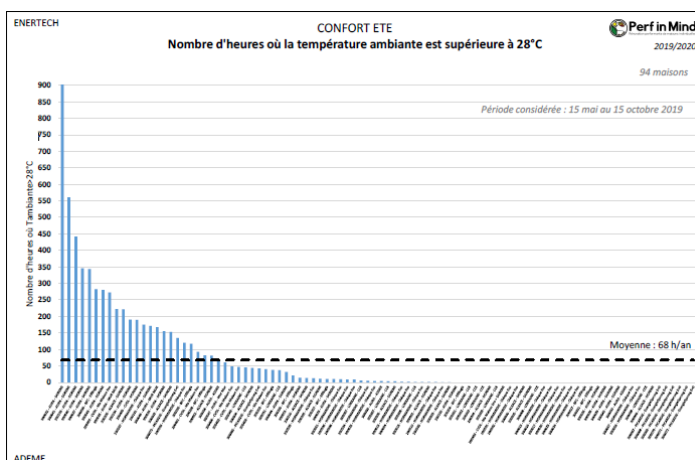
- ✓ Une ventilation de qualité et bien réglée assure une bonne qualité d'air
- ✗ Vigilance au radon en ventilation simple flux
- ✗ Vigilance au réglage et à l'entretien



45



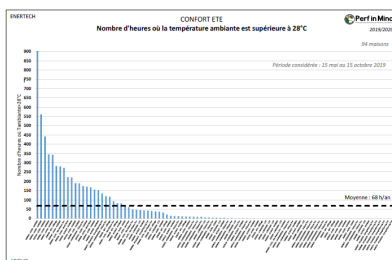
## Confort d'été ?



46



## Confort d'été ?

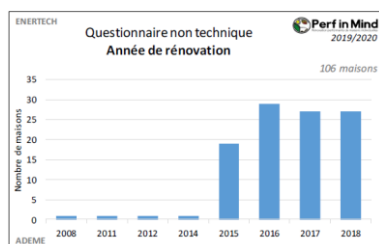


« Nous avons cherché, outre la rigueur climatique, des facteurs expliquant ces observations :

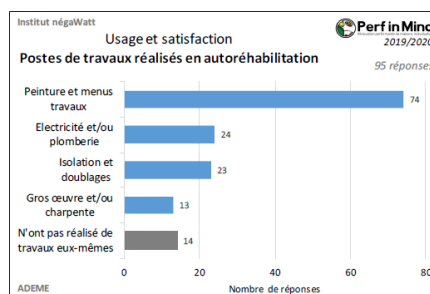
- **Le logement le plus inconfortable** au sens de ce critère (903 heures, soit près de 38 jours) n'est équipé que d'occultations partielles. De plus, son occupant indique ne mettre en œuvre aucune pratique permettant de limiter la surchauffe (occultation, aération nocturne...). Pourtant, il se déclare satisfait du niveau de confort de son logement.
- **Les 5 logements** qui présentent le plus grand nombre d'heures pendant lequel la température ambiante dépasse (plus de 300 heures dans tous les cas) sont situés en AURA et ont un nombre de DJU froid supérieur à 520. Mais, dans le même temps, 3 logements présentant un nombre de DJU froid supérieur à 520 ne présentent aucune heure supérieure à 28°C.
- **Il n'existe pas de corrélation immédiate et simple entre le nombre d'heures pendant lesquelles la température intérieure est supérieure à 28°C et les caractéristiques du bâti** (Ubat, ratio surface vitrée/surface habitable, présence de vélux, type d'isolation, occultations...). Le confort s'explique en effet à la fois par la conjugaison de l'ensemble des spécificités du logement et la façon dont il est utilisé. »



## Analyse du coût des opérations



Part non-négligeable de participation aux travaux

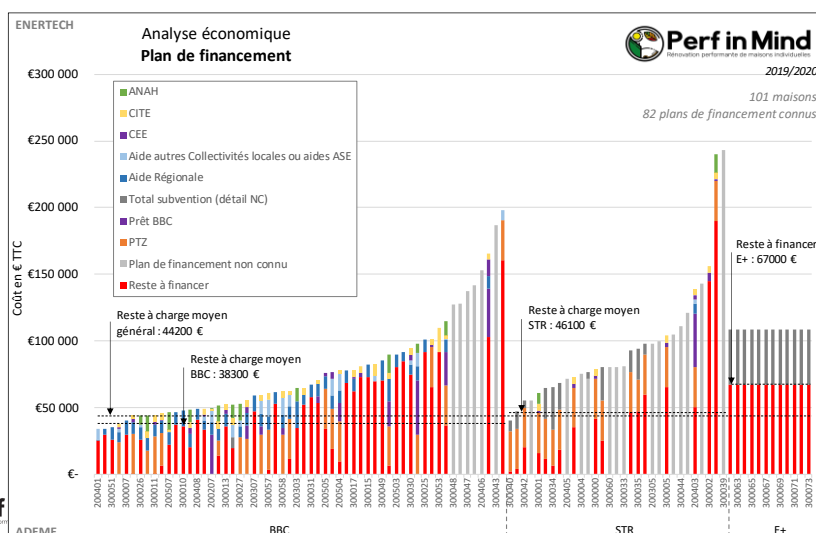


Coûts moyens constatés :

Coût moyen en €TTC	Energie (6 postes)				Autres qu' énergie		Etudes, MOE, Test infiltro	Rénovation hors énergie		Total
	Coût TTC	Comp-létude	Non rénové	Auto-réha	Coût TTC	NC (PV)		Coût TTC	Auto-réha	Coût TTC
BBC (58)	58 100 €	89%	7%	4%	2 800 €	3%	4 700 €	17 600 €	2,3 postes	77 300 €
STR (31)	67 200 €	96%	1%	3%	5 700 €	3%	1 000 €	23 400 €	2,0 postes	96 800 €
E+ (12)	66 800 €	100%	0%	0%	14 500 €	0%	9 200 €	18 100 €	0,0 poste	108 700 €
Tous (101)	<b>62 200 €</b>	92%	4%	3%	5 200 €	3%	4 400 €	19 600 €	1,9 postes	<b>87 000 €</b>



# Analyse du plan de financement



- ✓ Des cas de reste à financer nul (avec PTZ, avec ou sans ANAH)
- ✓ Montants de subventions et prêts bonifiés importants
- ✓ Aide au montage financier essentielle

✓ **Un plan de financement satisfaisant a pu être proposé à tous ces ménages « pionniers ».**

49



# Rénovation performante - Les clés du succès

## La volonté politique

de certaines Régions, collectivités territoriales et dispositifs nationaux d'encourager et soutenir la rénovation performante (BBC ou équivalent)

## Des dispositifs d'accompagnement

des ménages, notamment en phase chantier et lors de la réception des équipements

## Le financement

Une généralisation des rénovations performantes qui implique un renforcement, un fléchage et une simplification des financements.

## La formation

des acteurs aux nouvelles compétences techniques.

## Un lien de confiance

entre les ménages et la chaîne d'acteurs intervenant sur le projet de rénovation.

## Un première étape-clé : Le diagnostic

Etat des lieux technique et architectural





# De nombreux livrables



Retrouvez l'ensemble des livrables du projet à partir de la page :  
<https://associationarcanne.com/webinaire-perfin-mind/>



51



En 2005 nous sommes partis sur les très bons retours d'expérience des pays précurseurs. Qu'en est-il en France ?



**observatoireBBC**  
Agir pour les bâtiments de demain



...etc.

**Perf in Mind**  
Rénovation performante de maisons individuelles



**Perf in Mind II**  
Rénovation performante de maisons individuelles

5

52

MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcame

Samuel Courgey

Perf in Mind 1&2 - 2025.12.16












## Poursuite de l'analyse des rénovations énergétiques en maisons individuelles.

Etude réalisée sur 2022/2025.  
Rendu. Fin 2025

Etude soutenue par l'ADEME dans le cadre de son Appel à Projet « vers des bâtiments responsables » de 2022



53

MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcame

Samuel Courgey

Perf in Mind 1&2 - 2025.12.16












## Poursuite de l'analyse des rénovations énergétiques en maisons individuelles.

Etude réalisée sur 2022/2025.  
Rendu. Fin 2025

Etude soutenue par l'ADEME dans le cadre de son Appel à Projet « Vers des bâtiments responsables » de 2022



48

Membres du CoPil :












54



# Objectifs du projet



## Dans la continuité de Perf in Mind 1

- **Communication** : valoriser les très bons résultats mesurés dans PiM et faire évoluer les pratiques
- **Mesure de terrain** : élargir l'étude à des rénovations issues de dispositifs avec des ambitions énergétiques différentes
- **Confort d'été** : affiner l'analyse croisée de la mesure et du ressenti des habitants
- **Analyse de Cycle de Vie et Coût global** des rénovations
- **Isolants biosourcés en ITI** : revue de littérature scientifique, mesures in situ et simulations WUFI®



**Perf in Mind II**  
Rénovation performante de maisons individuelles



55

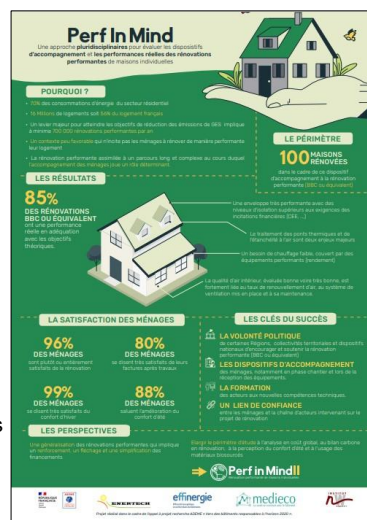


# Lot 1. Diffusion et appropriation des résultats



## . Valoriser les résultats de Perf in Mind I

- Des **résultats opérationnels et performants**
  - Plus 85% des rénovations BBC atteignent leurs objectifs de consommations réelles
  - Un taux de satisfaction élevé qu'elle que soit la thématique
  - Une qualité de l'air intérieur bonne voire très bonne associée à la présence de système de ventil. performant et à leur maintenance
- Des **clés du succès**
  - La qualité et le dimensionnement de l'accompagnement
  - La formation des acteurs aux nouvelles compétences
  - Le lien de confiance
  - Une ambition portée par la puissance publique avec des aides ciblées
- Faire **œuvre de pédagogie**



56



## Lot 1. Diffusion et appropriation des résultats

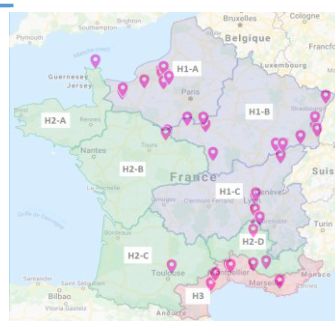
### . Valoriser les résultats de Perf in Mind I



## Lot 2. Campagne de mesures

### . Présentation de l'échantillon

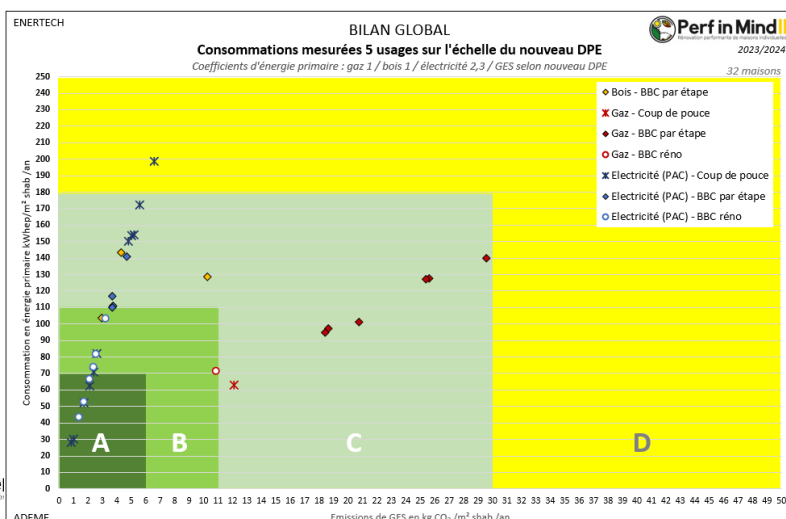
- 40 nouvelles maisons suivies
- Niveaux de performance :
  - 17 « Coup de pouce rénovation globale »
  - 15 rénovations BBC par étapes
  - 8 BBC rénovation
- Niveaux de suivi : base, intermédiaire, avancé (15 en PAC air-eau)
- Diversité de climat





## Lot 2. Campagne de mesures

### . Quelles performances mesurées ?



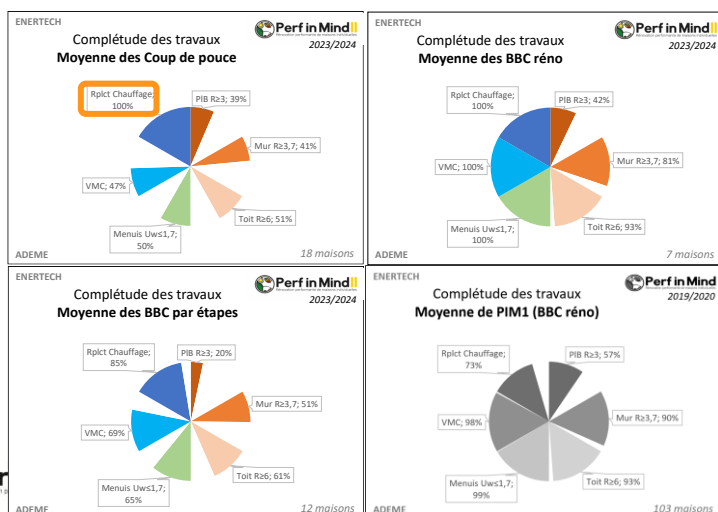
- Toutes les rénovations **BBC** sont en classe **A ou B**
- 90% des rénovations « BBC par étapes » sont en classe **C**
- Grande variation** des résultats des rénovations « **Coup de pouce** », certaines en classe **C ou D**, d'autres en classe **A (AMO + H3)**

59



## Lot 2. Campagne de mesures

### . Caractérisation des travaux



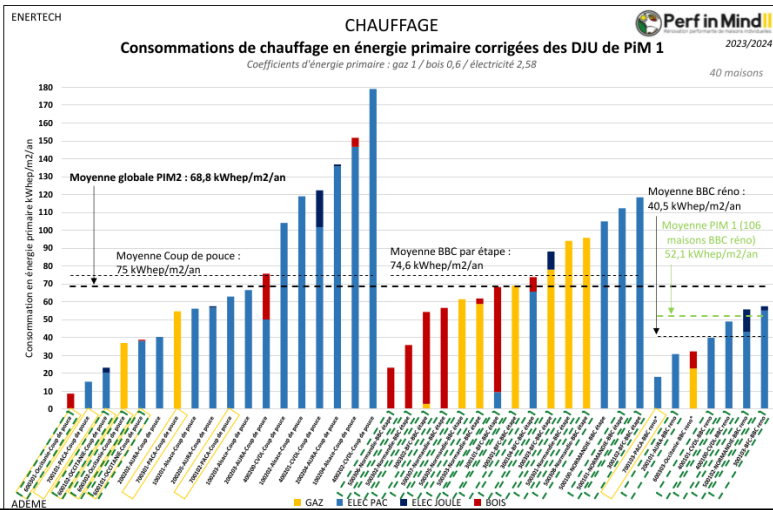
- La rénovation **BBC** est **complète et performante**
- "Coup de pouce" et BBC par étapes **moins complets que BBC**
- Le plancher bas reste **peu traité**
- Performances unitaires **moindres en "Coup de pouce"**
- Calcul "Coup de pouce" : **Cep initial parfois étonnant** (jusqu'à 920 kWh/m²)
- Quelques **malfaçons constatées** et/ou signalées par les ménages

60



# Lot 2. Campagne de mesures

## Consommation mesurée de chauffage

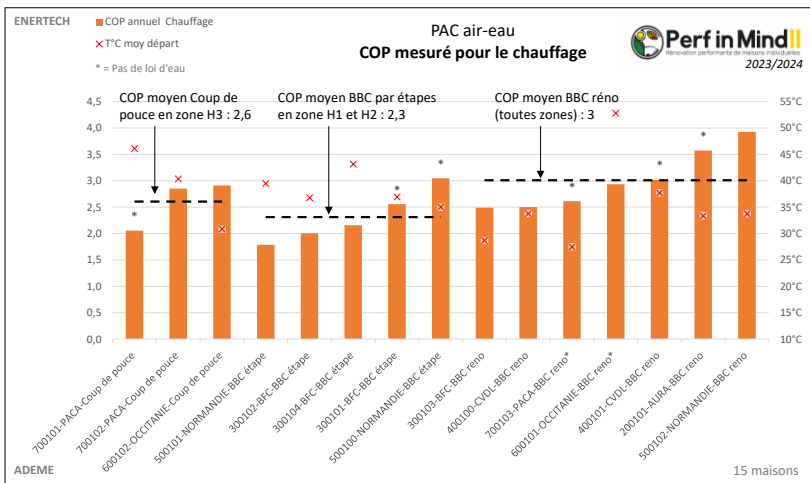


- Les rénovations **BBC** confirment leur performance
- "Coup de pouce" et BBC par étapes : **moins performants**, et résultats **plus dispersés**,
- **Importance majeure de l'accompagnement** sur l'atteinte d'une performance globale
- Un **cadre technique** (référentiel) adapté + un **accompagnement** qualitatif = des résultats à la hauteur des attentes et des objectifs.

61



# Lot 2. Campagne de mesures



- Moyenne en BBC réno : **COP de 3**
- Marge de progression (réglages)
- Le COP est dégradé si la rénovation est moins performante
- **Proposition** : Revoir les hypothèses de COP du DPE

63





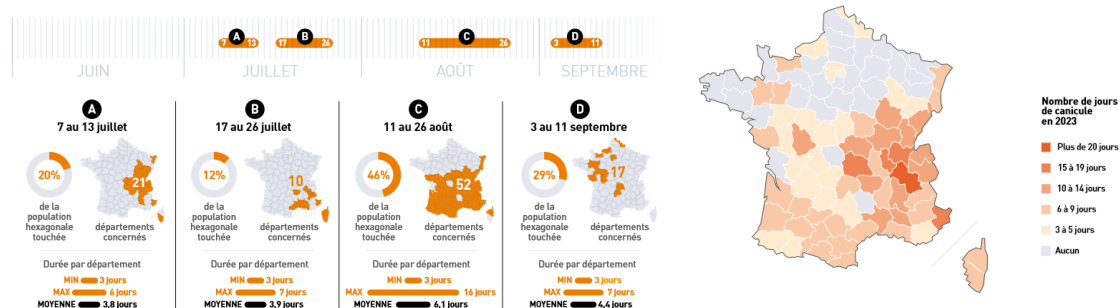
## Lot 3. (In)confort d'été



### . (In)confort d'été mesuré, perçu et vécu

**Objectif :** Comprendre la divergence fréquente entre mesure dite « objective » des paramètres de confort (température, hygrométrie etc.) et ressenti/perception du confort par les habitants

**Période étudiée :** été 2023, 4<sup>ème</sup> été le plus chaud en France depuis le début du 20<sup>ème</sup> siècle



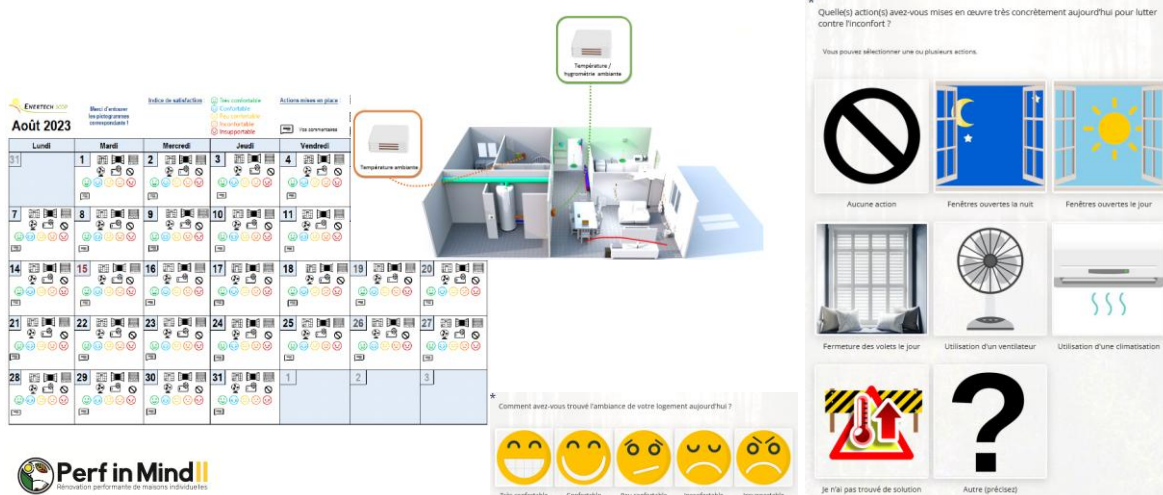
65



## Lot 3. (In)confort d'été



### . Déploiement d'une méthodologie de mesure et d'enquête "en temps réel"



66

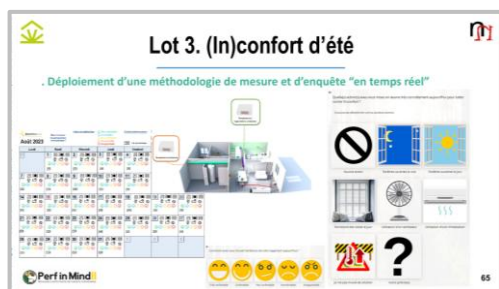




## Lot 3. (In)confort d'été



### . Déploiement d'une méthodologie de mesure et d'enquête "en temps réel"



#### Approche pluridisciplinaire croisée

##### Mesures par instrumentation (40 maisons)

- **Température et hygrométrie** dans le séjour
- **Température** dans la chambre présentant la plus forte densité d'occupation

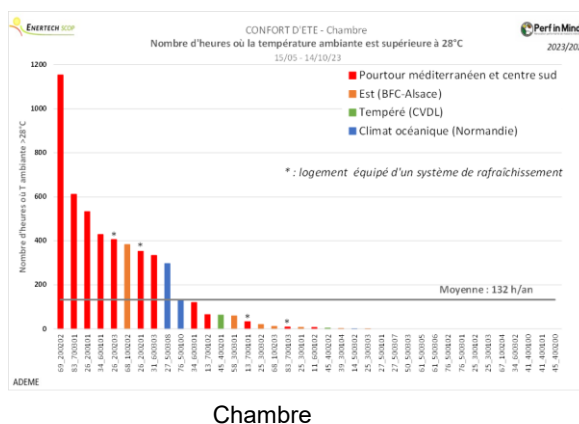
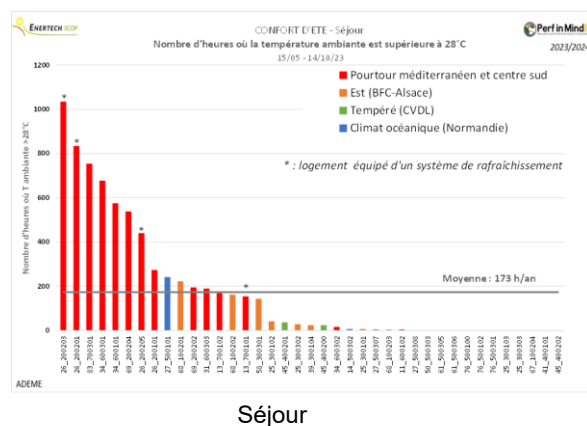
##### Enquête quantitative et qualitative

- **Questionnaire générique** autour du ressenti global du confort thermique d'été avant / après travaux de rénovation.
- **Suivi en temps réel** des perceptions du confort et des stratégies mises en œuvre pour avoir moins chaud (23 maisons)
- **Entretiens semi-directifs** autour de la rénovation, des installations, des confort et inconforts et de ce qui est mis en œuvre pour avoir moins chaud (16 entretiens)

67



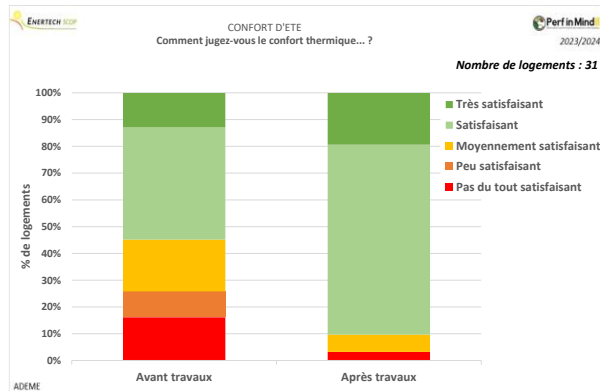
## Lot 3. (In)confort d'été



68



## Lot 3. (In)confort d'été



69



## Lot 3. (In)confort d'été

### . Principaux résultats

- **Grande satisfaction générale.** Néanmoins l'enregistrement des ressentis en cour de période chaude est très instructif.
- Logements avec plus grand nombre d'heures > 28°C dans la chambre : **ressentis d'inconfort.** Mais quelques exceptions.
- **Disparités entre zones géographiques**, mais pas forcément là où on l'attend.
- Même région, et parfois même maison : **ressentis très contrastés.**
- **Écarts** entre **référentiels** des concepteurs et **perceptions/ressentis** des habitant-es.

### Au delà de la question thermique d'autres dimensions à prendre en compte :

- Le **confort** qui prime (il n'y a pas que la température de l'air !)
- Le **pouvoir d'agir** sur son environnement joue également fortement

70



## Lot 4. Analyse Cycle de vie et Coût Global



### . L'analyse environnementale et économique des projets PiM

**Objectif.** Quantifier le bénéfice en carbone et en coût global des actions de rénovation par rapport au statu quo.

#### Champ de l'étude

- Une **trentaine de maisons** rénovées à différents niveaux de performance
- Pour chaque maison, analyse comparative de **deux scénarios** :
  - Les travaux de rénovation + 30 ans d'usage
  - Un Statu quo + 30 ans d'usage
- Période d'analyse = **30 ans** (cf. Règlement délégué No 244/2012 de la CE)
- Une analyse statique : **pas d'évolution des paramètres** sur 30 ans (mix électrique, coût de l'énergie...)
- Sources données d'activité : devis et factures avant travaux, modélisation outil "besoins simples d'Enertech" pour les consommations après travaux
- Données environnementales : INIES (Produits de Construction et Équipements), ecoinvent (mix énergie)



71



## Lot 4. Analyse Cycle de vie et Coût Global



### . Méthodologie et définitions

#### **L'unité fonctionnelle (UF)**

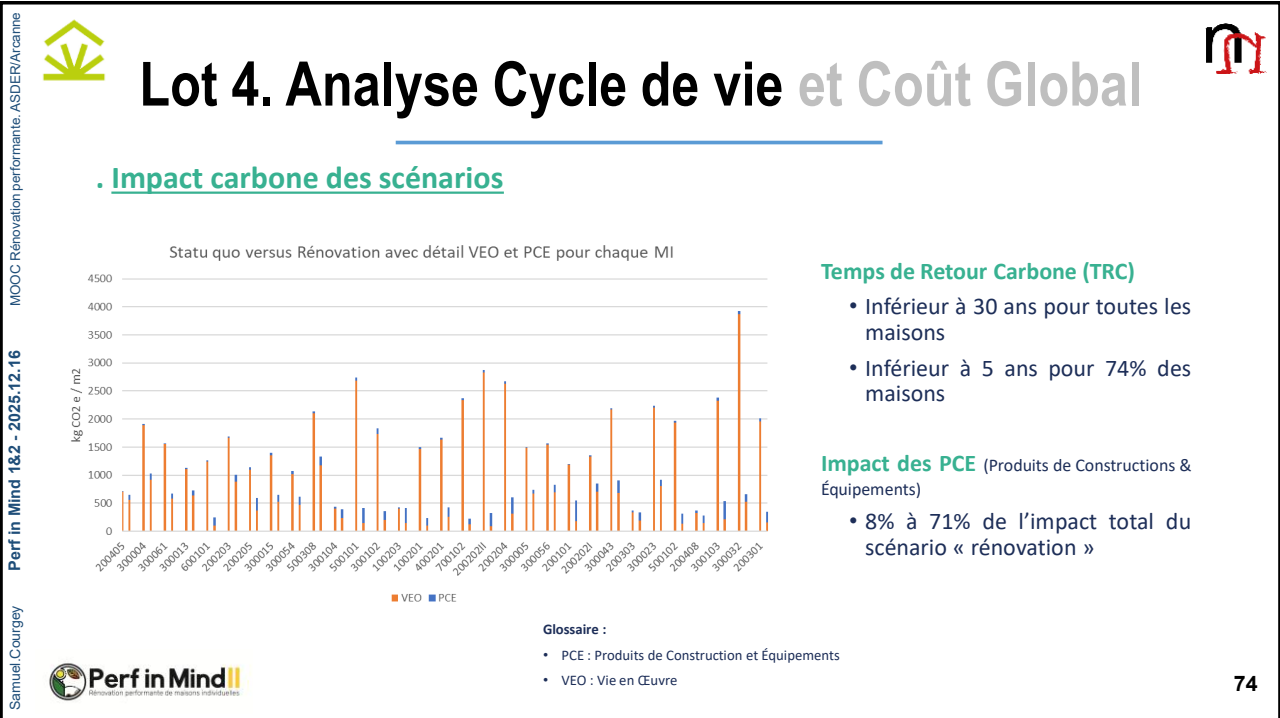
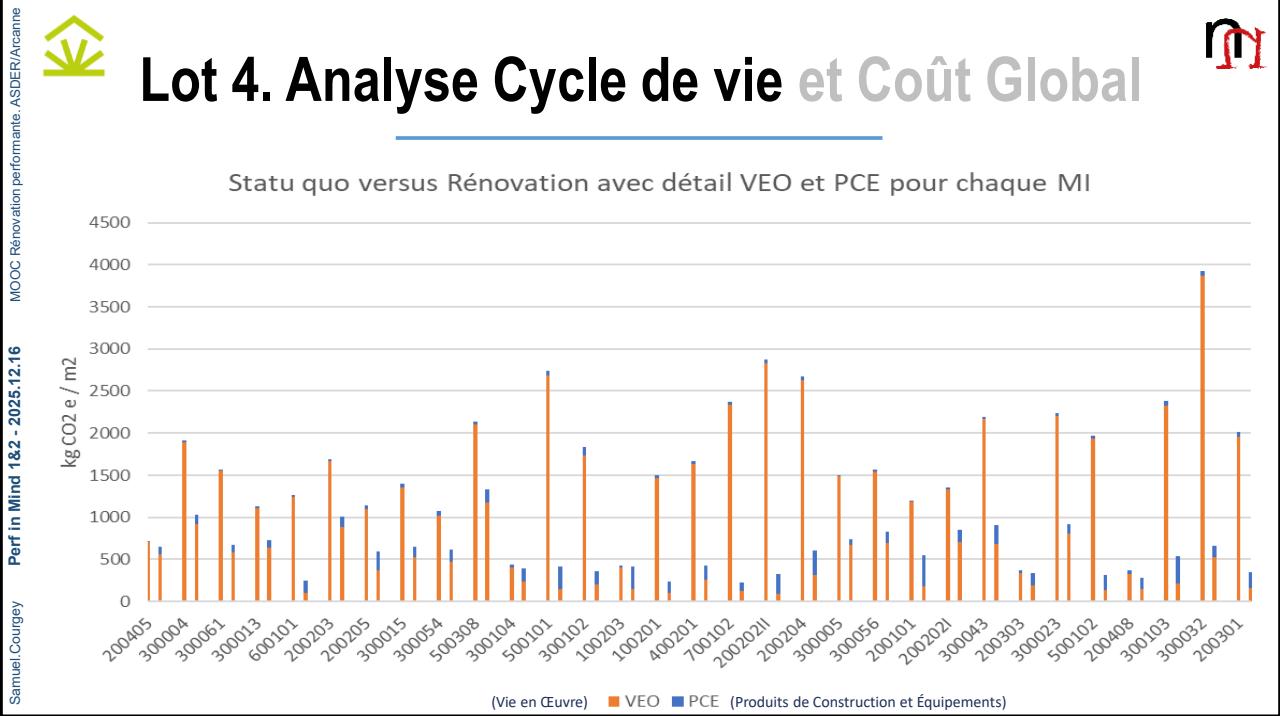
- État initial :
  - 1 m<sup>2</sup> de surface habitable de maison individuelle en fonctionnement
- Unité fonctionnelle (UF):
  - A partir de l'état initial précédemment défini,
  - Fournir 1 m<sup>2</sup> de surface de plancher de maison pour un usage d'habitat, avec :
    - une consigne de température en hiver comprise entre T1 et T2 ;
    - un approvisionnement en Eau Chaude Sanitaire (ECS) conforme à la réglementation des bâtiments résidentiels ;
    - un approvisionnement en électricité permettant d'assurer l'éclairage et les autres usages de l'énergie ;
    - pendant 30 ans.
  - Cf. Méthode I3E Rénovation (Enertech – Cycleco - AAP ADEME 2014 -2017)

#### **Les scénarios**

- Les travaux de rénovation réalisés
- Le statu quo :
  - Le propriétaire ne rénove pas sa maison mais souhaite tout de même continuer à l'utiliser à "éléments absolument fonctionnels" (nécessaires au bon fonctionnement de la maison) qui sont considérés remplacés dans le scénario de statu quo (systèmes CVC, menuiseries)



72



MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcanne

Perf in Mind 1&2 - 2025.12.16

Samuel Courgey

# Lot 4. Analyse Cycle de vie et Coût Global

## . Méthodologies et scénarios

Le principe du scénario de rénovation «dédoublé»

76

MOOC Rénovation performante. ASDER/Arcanne

Perf in Mind 1&2 - 2025.12.16

Samuel Courgey

# Lot 4. Analyse Cycle de vie et Coût Global

## . Principaux enseignements

### Échantillon

- Restreint à 26 maisons
- Ambitions énergétiques hétérogènes

### Hypothèses de calcul

- Montant des travaux à t0
- Usage sur 30 ans : prix de l'énergie en 2022 (réglementé et statistique), maintenance et remplacement
- Prise en compte de la valeur verte à t=30 ans (mais calculée en 2024)

77

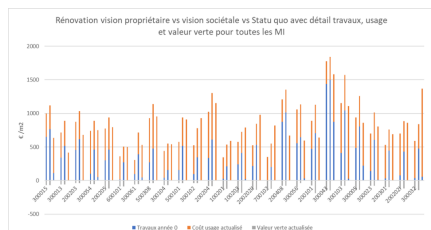
34



## Lot 4. Analyse Cycle de vie et Coût Global



### . Principaux enseignements



#### Les constats :

- Des chiffrages et métrés incohérents sur certains lots (isolation par l'extérieur de 90 à 750 €/m²)
- Une sur-représentation de solutions coûteuses (sarking entre 235 et 350 €/m²)
- Une rénovation expérimentale non reproductible
- Des travaux réalisés en amont (étiquette C ou D atteinte) mais incompatible avec une ambition de rénovation BBC
- Des aides (publiques, CEE et prêt...) parfois trop faibles au regard des montants des travaux
- **La rénovation est plus favorable que le statu quo dans 73% des cas (19 maisons sur 26).**

#### Des leviers à mobiliser et perspectives :

- Mieux intégrer les variations de prix (fait en analyse de sensibilité, à consolider)
- Approfondir l'analyse des coûts et lien avec les aspects techniques de la rénovation
- Élargir l'échantillon pour consolider l'étude
- **Accompagner à la montée en compétence des professionnels (devis et transparence)**
- **Cibler les financements publics sur les passoires et la rénovation BBC en priorité au détriment des rénovations mono gestes**
- **Privilégier l'avance travaux pour favoriser le passage à l'action**



78

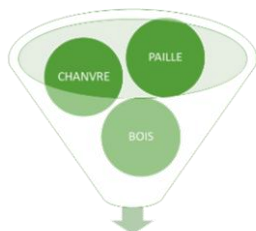


## Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée



### Des interrogations, particulièrement autour de la teneur en eau maxi

IL ETAIT UNE FOIS... DES PRECONISATIONS, SIMULATIONS...



#### Teneur en eau maximum pour les IBS :

« limite de **23%<sub>m</sub>** est basée sur des travaux en laboratoire et sur des expériences reconnues et réussies, prenant en compte diverses conditions de germination des spores »

(SimHuBat, 2021 : 36)



81



# Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée



## Des interrogations, particulièrement autour de la teneur en eau maxi

- Quels travaux et expériences ?
- Dans quelles conditions ?
  - 23% mais quid des autres conditions nécessaires à la germination (T°, durée d'exposition...)
- Pour quel type de champignons ?
  - lignicoles ou lignivores ?
- Quel impact du type d'IBS ?

### Une volonté de comprendre et d'apprendre

- Investiguer et étudier pour répondre aux interrogations
- Évaluer si les exigences imposées aux IBS sont trop sévères\* ?
- Caractériser le risque dans le cas d'une isolation par l'intérieur avec des isolants conventionnels ou biosourcés

→5.1. Revue de littérature "Sensibilité à la croissance fongique des IBS en ITI"

→5.2. Volet mesure in-situ / Simulation WUFI® / Comparaison SimHuBat



82



# Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée



## 5.1. Sensibilité à la croissance fongique des IBS en ITI

### Revue de littérature scientifique - 2022

- ➔ Étude de la prolifération des micro-organismes sur les matériaux de construction
- ➔ Comportements des isolants biosourcés
- ➔ Évaluation du risque fongique des isolants biosourcés en isolation par l'intérieur
- ➔ Conclusion



Image avec lien actif pour télécharger le dossier et le diaporama résumant l'étude

3







# Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée



## 5.1. Sensibilité à la croissance fongique des IBS en ITI

Revue de littérature - 2022 - Enseignements techniques

### Le périmètre d'étude

- Sujet vaste et complexe
- Étudié depuis longtemps / très nombreuses connaissances disponibles... Mais besoin de réaliser des synthèses
- L'apparition de moisissure
  - très aléatoire
  - à ne pas confondre avec pourriture
  - l'indicateur à retenir n'est-il pas l'incidence sur la Qualité de l'Air Intérieur ?

### La sinistralité

- Pas de sinistralité particulière pour les IBS
- Matériaux plus sensibles à l'eau, mais hygroscopiques et capillaires ils limitent les risques car :
  - ils séchent plus facilement
  - ils fixent naturellement et sans dommage de l'eau en leur sein (eau liée)
  - ils génèrent une humidité relative plus faible, pour eux et les matériaux contigus

### L'impact du matériau

- Des comportements hygrométriques bienvenus, mais différents selon l'IBS
- Une sensibilité à l'eau différente

### Les outils de simulation

- HAM (Heat, Air, Moisture) tels WUFI®, Delphin®...
- A améliorer pour mieux intégrer les incidences de l'hygroscopicité et la capillarité des matériaux
  - Données de base à compléter / fiabiliser, particulièrement « courbe de sorption » et « coefficient d'absorption d'eau ».



84



# Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée



## 5.1. Sensibilité à la croissance fongique des IBS en ITI

Revue de littérature - 2022 - Au regard du cadre normatif français (SimHuBat, e-cahier du CSTB 3713, 3728)

Des constats qui nous invitent à faire évoluer le cadre normatif et les avis techniques qui en découlent

### Le choix des indicateurs et des seuils

- **<23%<sub>m</sub>** : inspiré du bois mais sévère pour les IBS (temps de séchage moindre, absence de besoin d'exigence sur la résistance mécanique)
- **<30%<sub>m</sub> et HR<98%** : quid des durées minimums ? Et, n'est-ce pas le couple T°/HR qui nous importe ?
- **Conditions des tests** (28°C, HR 85% et surtout 95%) : inadaptées aux situations rencontrées en Europe

### Des caractéristiques d'IBS ignorées ou mal connues dans certains textes

- Diversité de sensibilité à l'eau
- Caractère et fonctionnement capillaire
- Caractère et fonctionnement hygroscopique

### Des préconisations contradictoires

- Entre l'invitation à faciliter le séchage côté intérieur (retour des études scientifiques, livret AQC "Humidité. 12 enseignements à connaître"...)
- Et la demande de poser des membranes empêchant tout séchage côté intérieur (e-cahier CSTB, majorité des Avis Techniques, ...)

### Les outils de simulation améliorables

- Méthodes calculatoires dont les simplifications augmentent particulièrement le taux d'humidité relative dans les isolants capillaires et/ou hygroscopiques
- Manque de précision des estimations <23%<sub>m</sub> et <30%<sub>m</sub> (du principalement à l'évolution extrêmement forte des courbes de sorption dans les zones de saturation et sursaturation)



85



## Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée



### 5.1. Sensibilité à la croissance fongique des IBS en ITI

Revue de littérature - 2022 - Au regard du cadre normatif français (SimHuBat, e-cahier du CSTB 3713, 3728)

Des constats qui nous invitent à faire évoluer le cadre normatif et les avis techniques qui en découlent

#### Le choix des indicateurs et des seuils

- **<23%<sub>m</sub>** : inspiré du bois mais sévère pour les IBS (temps de séchage moindre, absence de besoin d'exigence sur la résistance mécanique)
- **<30%<sub>m</sub> et HR<98%** : quid des durées minimums ? Et, n'est-ce pas le couple T°/HR qui nous importe ?
- **Conditions des tests** (28°C, HR 85% et surtout 95%) : inadaptées aux situations rencontrées en Europe

#### Des caractéristiques d'IBS ignorées ou mal connues dans certains textes

- Diversité de sensibilité à l'eau
- Caractère et fonctionnement capillaire
- Caractère et fonctionnement hygroscopique

#### Des préconisations contradictoires

- Entre l'invitation à faciliter le séchage côté intérieur (retour des études scientifiques, livret AQC "Humidité. 12 enseignements à connaître"....)
- Et la demande de poser des membranes empêchant tout séchage côté intérieur (e-cahier CSTB, majorité des Avis Techniques, ...)

#### Les outils de simulation améliorables

- Méthodes calculatoires dont les simplifications augmentent particulièrement le taux d'humidité relative dans les isolants capillaires et/ou hygroscopiques
- Manque de précision des estimations <23%<sub>m</sub> et <30%<sub>m</sub> (dû principalement à l'évolution extrêmement forte des courbes de sorption dans les zones de saturation et sursaturation)



86



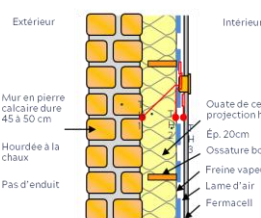
## Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée



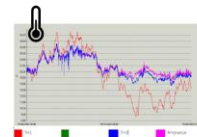
### 5.2. Volet mesure in-situ / Simulation WUFI® / Comparaison SimHuBat



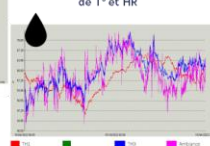
Dépt	Altitude	Logements	Nb murs
39	235 m	Maison Jura A	3
39	270 m	Maison Jura B	4
39	1240 m	Maison Jura C	3
39	905 m	Maison Jura D	3
29	<100 m	Appart. Brest 1	1
29	<100 m	Appart. Brest 2	2
07	486 m	Maison Ardèche	3
Total		7 logements	19 murs



Mesure température et humidité relative sur l'an



Analyse des mesures de T° et HR



Simulations WUFI® Comparaison mesures in situ

Analyse du bon fonctionnement du mur du point hygrothermique selon les critères SimHuBat

Critère	Description	Meilleure pratique	Simulation WUFI®	Simulation SimHuBat	Simulation Fylo
1	Présence d'un freine vapeur	Non	Non	Non	Non
2	Présence d'une lame d'air	Non	Non	Non	Non
3	Présence d'une ossature bois	Non	Non	Non	Non
4	Présence d'une ouate de cellulose	Non	Non	Non	Non
5	Présence d'une projection humide	Non	Non	Non	Non
6	Présence d'une ossature bois	Non	Non	Non	Non
7	Présence d'une ouate de cellulose	Non	Non	Non	Non
8	Présence d'une projection humide	Non	Non	Non	Non
9	Présence d'une ossature bois	Non	Non	Non	Non
10	Présence d'une ouate de cellulose	Non	Non	Non	Non
11	Présence d'une projection humide	Non	Non	Non	Non
12	Présence d'une ossature bois	Non	Non	Non	Non
13	Présence d'une ouate de cellulose	Non	Non	Non	Non
14	Présence d'une projection humide	Non	Non	Non	Non
15	Présence d'une ossature bois	Non	Non	Non	Non
16	Présence d'une ouate de cellulose	Non	Non	Non	Non
17	Présence d'une projection humide	Non	Non	Non	Non
18	Présence d'une ossature bois	Non	Non	Non	Non
19	Présence d'une ouate de cellulose	Non	Non	Non	Non
20	Présence d'une projection humide	Non	Non	Non	Non

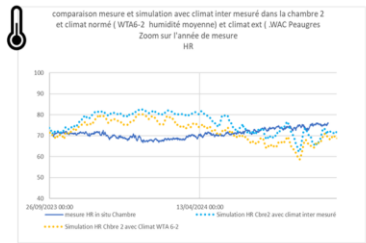
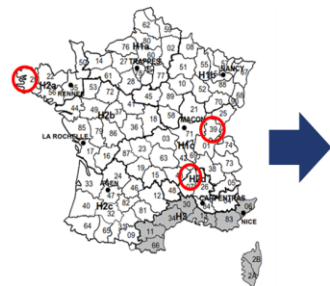


87



# Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée

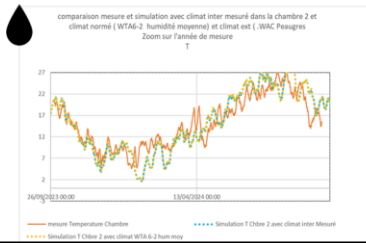
## 5.2. Volet mesure / Simul. WUFI® / Comparaison SimHuBat - Résultats



**Mesures in situ**  
Excepté pour Brest 2, l'ensemble des résultats est positif, y compris pour les projets en altitude, qui par ailleurs avaient une ventilation et/ou une protection à la pluie insatisfaisantes.

**Simulations WUFI®**  
Les simulations sont toutes plus pessimistes que les mesures in-situ. (Résultat cohérent avec les enseignements de la revue de littérature)

Dépt	Altitude	Logements	Nb murs
39	235 m	Maison Jura A	3
39	270 m	Maison Jura B	4
39	1240 m	Maison Jura C	3
39	905 m	Maison Jura D	3
29	<100 m	Appart. Brest 1	1
29	<100 m	Appart. Brest 2	2
07	486 m	Maison Ardèche	3
Total		7 logements	19 murs



Critères	Description	Simulation WUFI		Mesure in situ		
		Mur au global	TH1 : mur / isolant	Ardèche Chambre 1 - TH1	Ardèche Chambre 2 - TH1	Ardèche Chambre 3 - TH1
1	Teneur en eau stable ou diminue					
2	Pas de condensation (HR > 98%)					
3	Teneur en eau <23% (avec 8 semaines consécutives max ou teneur > 23%)					
4	Absence d'eau libre : teneur en eau en masse < 30% à tout moment					
Critère globale	Si au moins un des critères est rouge : critère non satisfait					

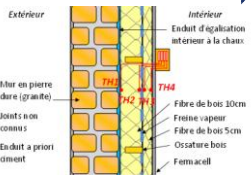


# Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée

## 5.2. Volet mesure / Simul. WUFI® / Comparaison SimHuBat – Focus Brest 1



Finistère / Brest  
Altitude : 69 m  
Bord d'Océan



Analyse du résultat de mesures selon les critères SimHuBat

Critères	Description	Mur au global	TH1 : mur / isolant	TH2 : FV côté ext	TH3 : FV côté int	TH4 : sous parament
1	Teneur en eau stable ou diminue					
2	Pas de condensation (HR > 98%)					
3	Teneur en eau <23% (avec 8 semaines consécutives max ou teneur > 23%)					
4	Absence d'eau libre : teneur en eau en masse < 30% à tout moment					
Critère globale	Si au moins un des critères est rouge : critère non satisfait					

- Pour les murs Brest 1, tous les critères de **SimHuBat** sont respectés du point de vue de la mesure in-situ
- ... Malgré le climat très humide de Brest et une humidité intérieure également élevée, car le chauffage est partiel (- de 19°C une bonne partie de l'hiver)
- Critère 3 également ok, mais une humidité relative au niveau isolant / mur allant jusqu'à 88% quelques jours dans l'année.

=> Configuration estimée pérenne. Elle s'approche de plusieurs critères mais sur des périodes courtes

Analyse du résultat des simulations selon les critères SimHuBat pour toutes les variantes

Paramètres	Simulation WUFI				Météo de l'année de mesure	
	WUFI Brest Guipavas 2010	Mesuré Brest 1	WUFI-2 élevé	ISO 15788 classé	Mesuré Brest 1	
Climat extérieur	WUFI-2 moyen	Mesuré Brest 1	WUFI-2 élevé	ISO 15788 classé	Mesuré Brest 1	
Pierre	Granite				Granite/Calcaire/Grés	Granite
Critères	Joint	2 cm				1, 2 et 4 cm
1	Teneur en eau stable ou diminue					
2	Pas de condensation (HR > 98%)					
3	Teneur en eau <23% (avec 8 semaines consécutives max ou teneur > 23%)					
4	Absence d'eau libre : teneur en eau en masse < 30% à tout moment					
Critère globale	Si au moins un des critères est rouge : critère non satisfait					



## Lot 5. Migration de vapeur en ITI biosourcée



### 5.2. Volet mesure / Simul. WUFI® / Comparaison SimHuBat - Résultats



Dept	Altitude	Logements	Nb murs
39	235 m	Maison Jura A	3
39	270 m	Maison Jura B	4
39	1240 m	Maison Jura C	3
39	905 m	Maison Jura D	3
29	<100 m	Appart. Brest 1	1
29	<100 m	Appart. Brest 2	2
07	486 m	Maison Ardeche	3
Total		7 logements	19 murs

- Les simulations WUFI® sont toutes plus pessimistes que les mesures in-situ.
  - Ce résultat est cohérent avec les enseignements de la revue de littérature
- Le type de climat intérieur impacte fortement les résultats finaux, mais estimer le climat à rentrer n'est pas aisé.
- SimHuBat apporte aux concepteur-trices une 1<sup>ère</sup> base intéressante de seuils et hypothèses, mais l'outil de simulation WUFI® additionné aux bases de données accessibles ne semblent pas assez fins pour appréhender l'ensemble des phénomènes en jeu.
- Pour Brest 2, mesures et simulations montrent une situation non pérenne. Une analyse de l'état de l'isolant permettrait de vérifier la pertinence des seuils SimHuBat. (Conclusion à comparer à celle de la revue de littérature, particulièrement au fait d'avoir des exigences HR non corrélées à des t° minimum)

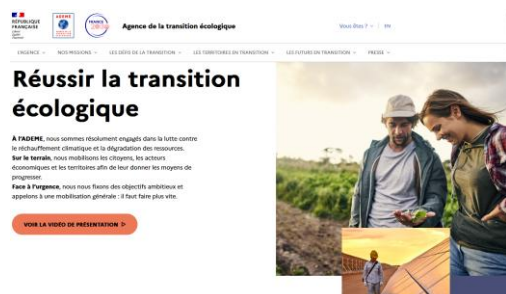
90



## Où trouver l'information ?



### Le site de l'ADEME



### Le site Effinergie



91



# Merci de votre écoute

Et merci à Thierry RIESER, Sébastien LEFEUVRE, Grégory HERFAY,  
Khedidja MAMOU et Stéphane MOTEAU pour la base ppt

