

***Réalisations déjà conformes aux objectifs 2050 de la
Directive Européenne Bâtiment***

Petit aperçu des savoir-faire maîtrisés

***Olivier SIDLER - Energéticien
Fondateur et ancien gérant du bureau d'études ENERTECH***

Décembre 2023

Préambule

ENERTECH en deux mots

Bet de **35 ingénieurs**

Spécialité : construction et rénovation de bâtiments à très basse consommation et à énergie positive

Missions : maîtrise d'œuvre, assistance à maîtrise d'ouvrage, campagnes de mesures massives



Mission complémentaire : formation pendant 3 jours de **10 000 personnes** à la conception et la rénovation des bâtiments à très basse consommation

Méthode de travail spécifique : depuis 30 ans, 15 000 mesureurs ont permis de réaliser des centaines de campagnes de mesure très lourdes de tous les types de consommation énergétique dans les bâtiments.



1 - La transition écologique

1 - La transition écologique

Les enjeux

Rappel : Ce n'est pas la planète qu'il faut protéger car elle sera encore là dans 1000 ans !

C'est la vie sur Terre.

⇒ Il nous faut avoir rapidement une vision et une action globales pour :



Le Doubs à sec...



- lutter contre le changement climatique dont les effets sont déjà bien visibles



- préserver la biodiversité car sans elle **aucune forme de vie n'est possible, pas même celle de nous autres les humains...**

1 - La transition écologique

Les enjeux



- préserver les ressources naturelles

- préserver les ressources en eau et la qualité de celle-ci



- préserver la qualité de l'air



- lutter contre la déforestation



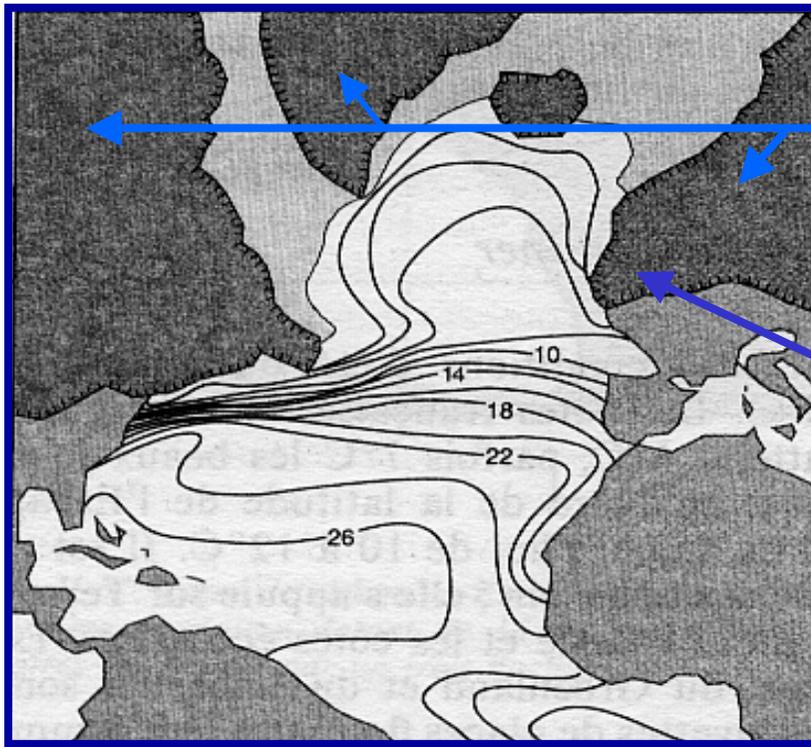
- stabiliser très vite la démographie

1 - La transition écologique

**Changement climatique :
l'enjeu**

**Quelques degrés en plus, c'est un
changement d'ère climatique**

Il y a 20.000 ans, avec 5°C de moins qu'aujourd'hui :



1 - D'immenses glaciers, épais de plusieurs km, recouvrent l'Amérique et l'Europe du nord et même l'Est de la France (glacier jusqu'à Lyon)

2 - Ailleurs en France le sol est gelé en permanence, et inapte aux cultures

3 - On passe à pied sec de France en Angleterre : la mer est plus basse de 120 mètres !

Depuis le dernier maximum glaciaire, Il y a 20.000 ans, la moyenne planétaire n'a augmenté «que» de 5°C, mais notre planète a considérablement changé...

2 - La transition énergétique des bâtiments

2 - La transition énergétique des bâtiments

Les objectifs à atteindre

Objectifs 2050 envisagés par la Directive Européenne Bâtiment :

Tous **les bâtiments, neufs ou existants** devront d'ici 2050 :

- être à **énergie positive** ce qui impose :

- * des consommations **inférieures à 60 kWh_{ep}/m²/an en logement et 85 en bureaux** (c'est la classe A de l'échelle énergie du DPE)

C'est une division par 3,5 des consommations actuelles du parc existant

- * de compenser celles-ci par la production d'énergie renouvelable **in situ**,

- avoir, lors de leur fonctionnement, des émissions de gaz à effet de serre (GES) les plus faibles possibles (**NZR** : « **near zero emission** ») ce qui est censé être obtenu si le bâtiment est à énergie positive (c'est la classe A de l'échelle des émissions du DPE).

Les usages concernés par ce texte sont : le chauffage, la production d'eau chaude sanitaire, le rafraîchissement, la ventilation et l'éclairage. **Tous les bâtiments devront donc être en classe de performance A du DPE.**



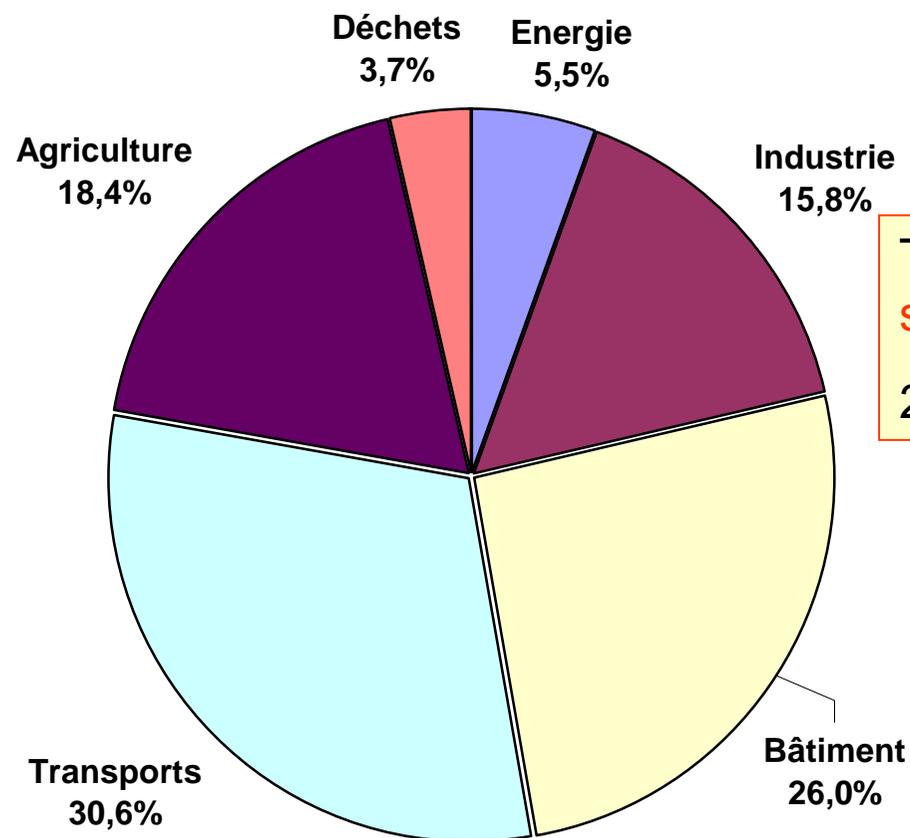
Ces objectifs sont très ambitieux, mais ils sont une réponse adaptée aux impératifs de la lutte contre le changement climatique.

3 – Les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans les bâtiments

3 - Les émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments

Leur poids

Structure par activité des émissions de gaz à effet de serre en France



Totalité des émissions sur le sol français en 2021 : 414,8 Mt CO2

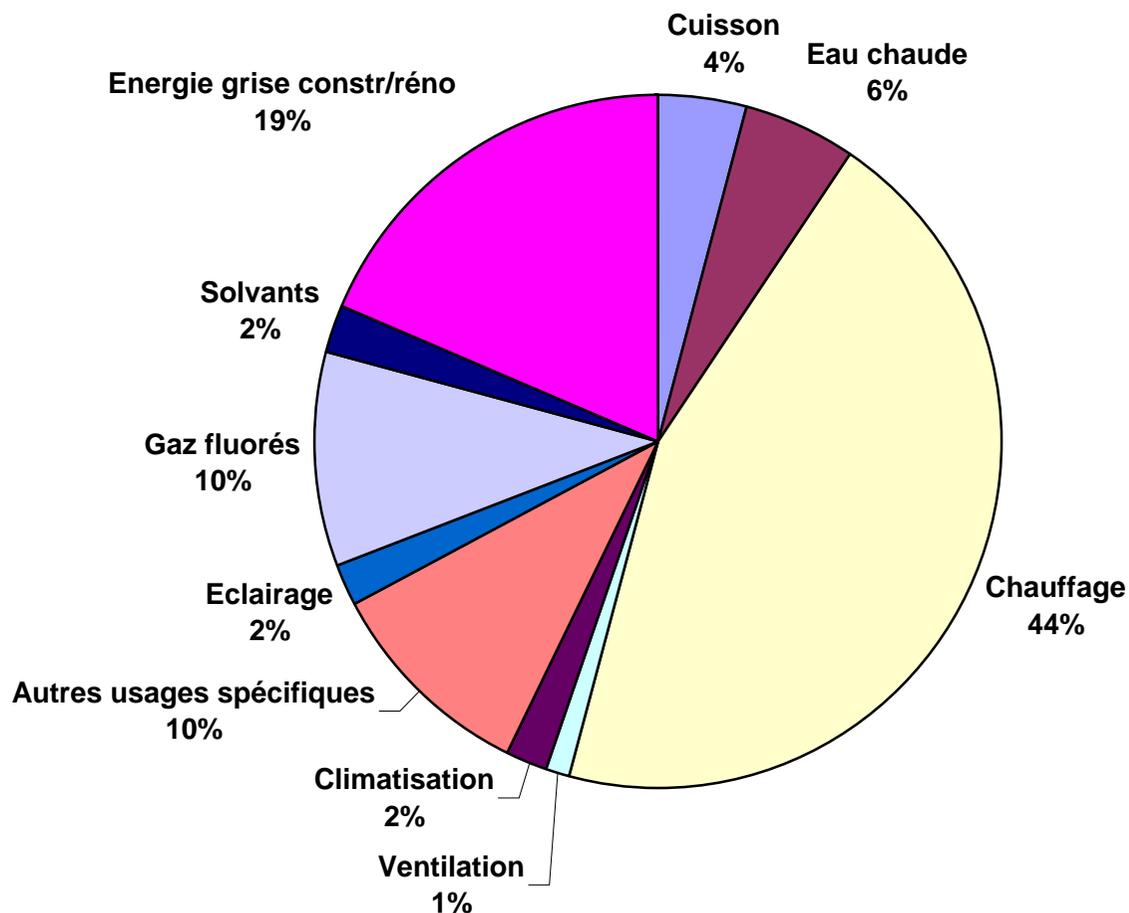
Sources : Citepa, SDES

Le bâtiment : second secteur émetteur de GES (en incluant l'énergie grise de la construction)

3 - Les émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments

Le poids de chaque usage

Structure par usage des émissions de gaz à effet de serre dans le bâtiment



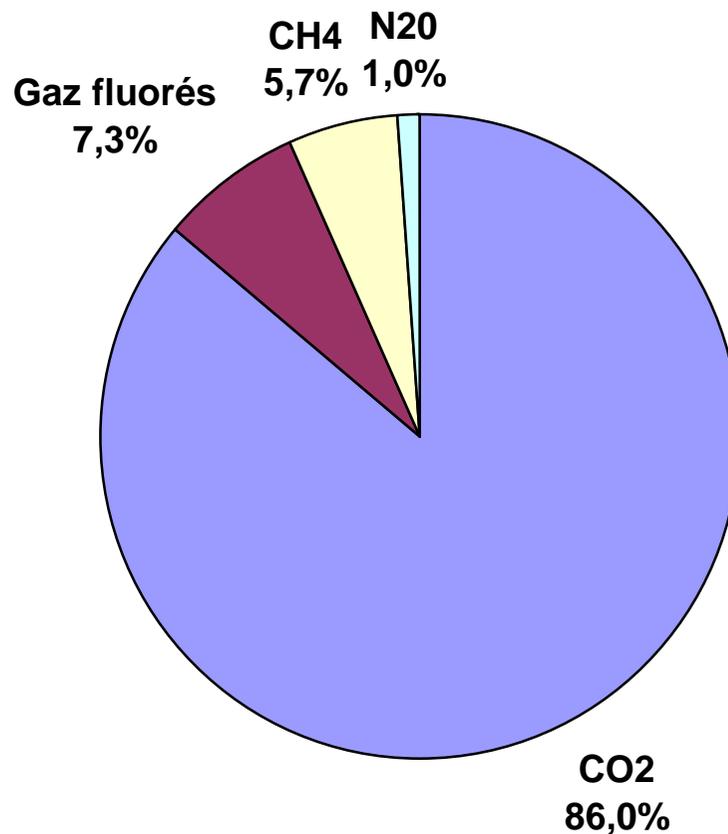
Source : SNBC2

1-Le chauffage; 2-L'énergie grise; 3-L'électricité spécifique; 4-Les gaz fluorés

3 - Les émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments

Le poids de chaque gaz

Poids des principaux gaz dans les émissions de GES du bâtiment



Source : Citepa

Le principal gaz à effet de serre dans le bâtiment est le gaz carbonique

3 - Les émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments

Causes à l'origine des émissions 1 – Les combustions

Les combustibles (fioul, gaz, bois, déchets) = Carbone + hydrogène

Combustion = combinaison avec oxygène \Rightarrow **CO₂** + eau + chaleur



Dans le bâtiment, les combustions servent pour :

1 – Le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire

2 – La cuisson des aliments

3 – Les fours nécessaires à la fabrication des éléments de construction (ciment, briques, acier, etc)



3 - Les émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments

Causes à l'origine des émissions 2 – La production d'électricité

La production d'électricité, quelle que soit sa nature, **est toujours « sale »** et émet plus ou moins de gaz carbonique, les pires technologies étant (dans l'ordre) les centrales à flamme au charbon, au fioul et au gaz qui servent toutes au moment des **pointes hivernales**.



La production d'électricité dans les centrales thermiques à flamme

Mais même les technologies les plus « propres » (hydraulique, nucléaire, photovoltaïque, éolien) sont à l'origine d'émissions de GES.

3 - Les émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments

Causes à l'origine des émissions 3 – Les gaz fluorés

Ces gaz sont utilisés comme **fluide frigorigène** dans :

- la climatisation,
- la production de froid,
- les pompes à chaleur



Gaz fluorés : très stables \Rightarrow longue durée de vie \Rightarrow le plus d'impact sur le réchauffement climatique

1 kg gaz fluoré \cong plusieurs milliers de kg de CO₂

Le danger : fuites en régime de fonctionnement et lors de la récupération en fin de vie.

Mais d'autres gaz à l'impact limité existent et sont progressivement mis en place

3 - Les émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments

Causes à l'origine des émissions 4 – Réactions chimiques

Le cas du ciment :

Décarboner le « calcaire » (CaCO_3) des carrières donne de la « chaux vive » (CaO) qui, mélangée à de l'argile et du sable chauffés à $1\,450\text{ °C}$ deviendra du clinker. Très grosse libération de gaz carbonique :



Cette décarbonation représente **62%** des émissions de CO_2 de la fabrication du ciment. Pour le reste des émissions il y a **24%** pour le four et **14%** pour l'électricité du process.

Solution : apprendre à réduire l'usage du ciment ou mettre au point d'autres liants !



3 - Les émissions de gaz à effet de serre dans les bâtiments

Mais alors, comment faire des bâtiments à faibles émissions ?

Limiter les émissions de GES suppose :

1 – **Minimiser les besoins en énergie utile** pour chauffage et ECS : solutions techniques et sobriété,

2 – Couvrir ces besoins par les **énergies les plus décarbonées**, et si possible renouvelables,

3 – Minimiser, sans supprimer, la **climatisation**, mais avec des fluides frigorigènes à très faible Pouvoir de Réchauffement Global (PRG)

4 – **Réduire la consommation d'électricité spécifique** (électrodomestique, bureautique, éclairage, etc).

5 – Utiliser des **matériaux biosourcés** à faible énergie grise



4 – Etat des lieux du parc de bâtiments et objectifs

4 - Etat des lieux du parc de bâtiments et objectifs

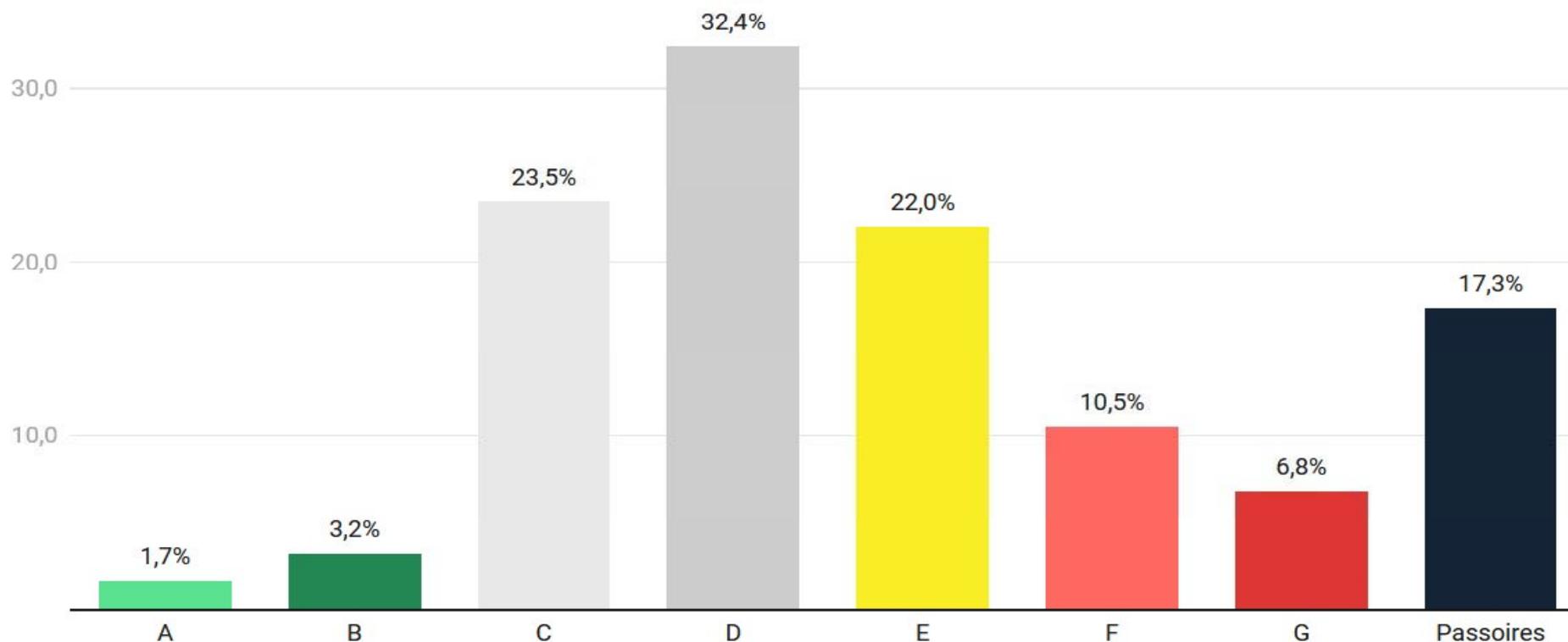
Structure du parc de logements par classe énergétique

Répartition des résidences principales selon l'étiquette DPE

En %

40,0%

Objectif Directive Européenne Bâtiment : zéro émission en 2050 et 60 kWhep/m²/an
⇒ tous les logements en classe A (< 6 kgCO₂/m²/an et <70 kWhep/m²/an)



Note : passoires = logements classés F ou G.

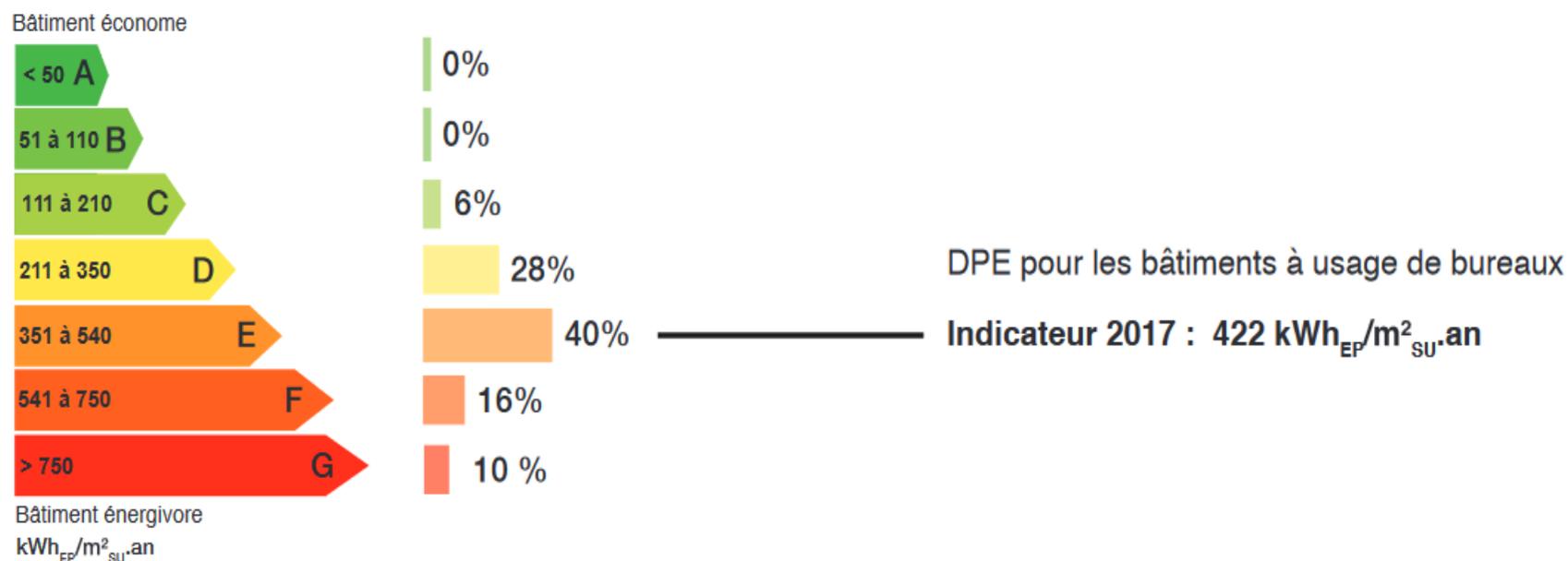
Champ : ensemble des résidences principales au 1er janvier 2022, France métropolitaine.

Source : SDES

4 - Etat des lieux du parc de bâtiments et objectif

Le parc de bâtiments tertiaires

RÉPARTITION 2017 DES BÂTIMENTS POUR LA FAMILLE BUREAUX

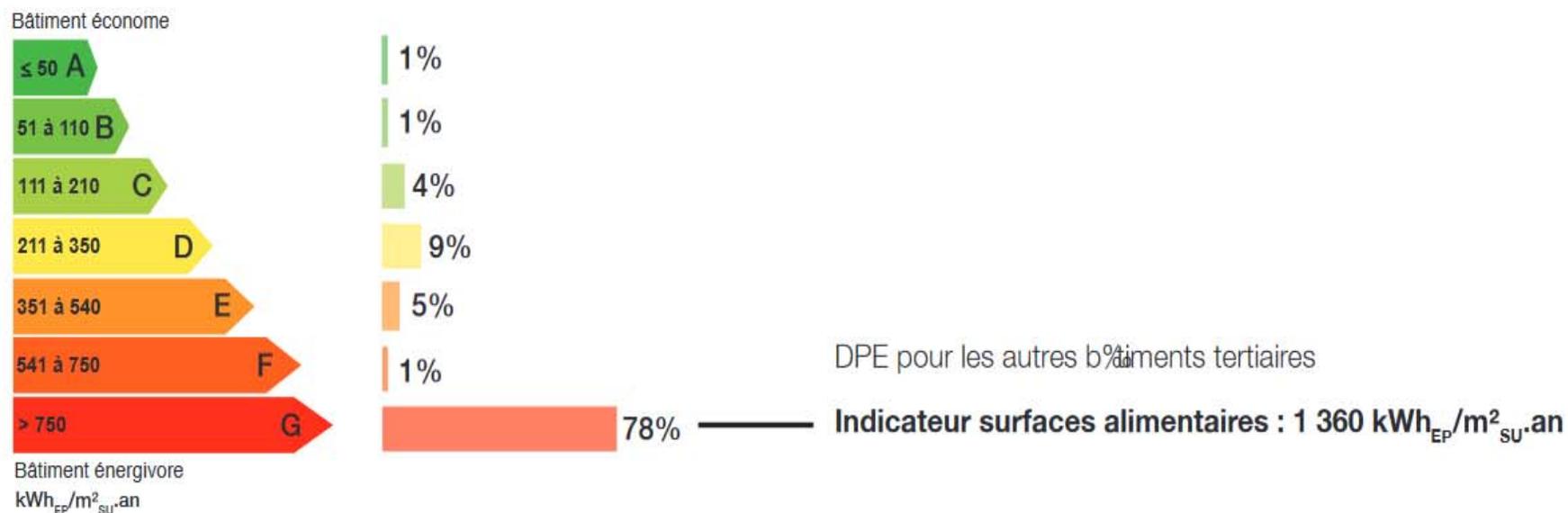


Les deux tiers des bâtiments de bureaux sont en classes E, F et G

4 - Etat des lieux du parc de bâtiments et objectif

Le parc de bâtiments tertiaires

RÉPARTITION 2017 DES BÂTIMENTS POUR LA FAMILLE COMMERCE SUR LE PÉRIMÈTRE PRENEUR
(SURFACES ALIMENTAIRES, SPÉCIALISÉES, PETITS COMMERCE)

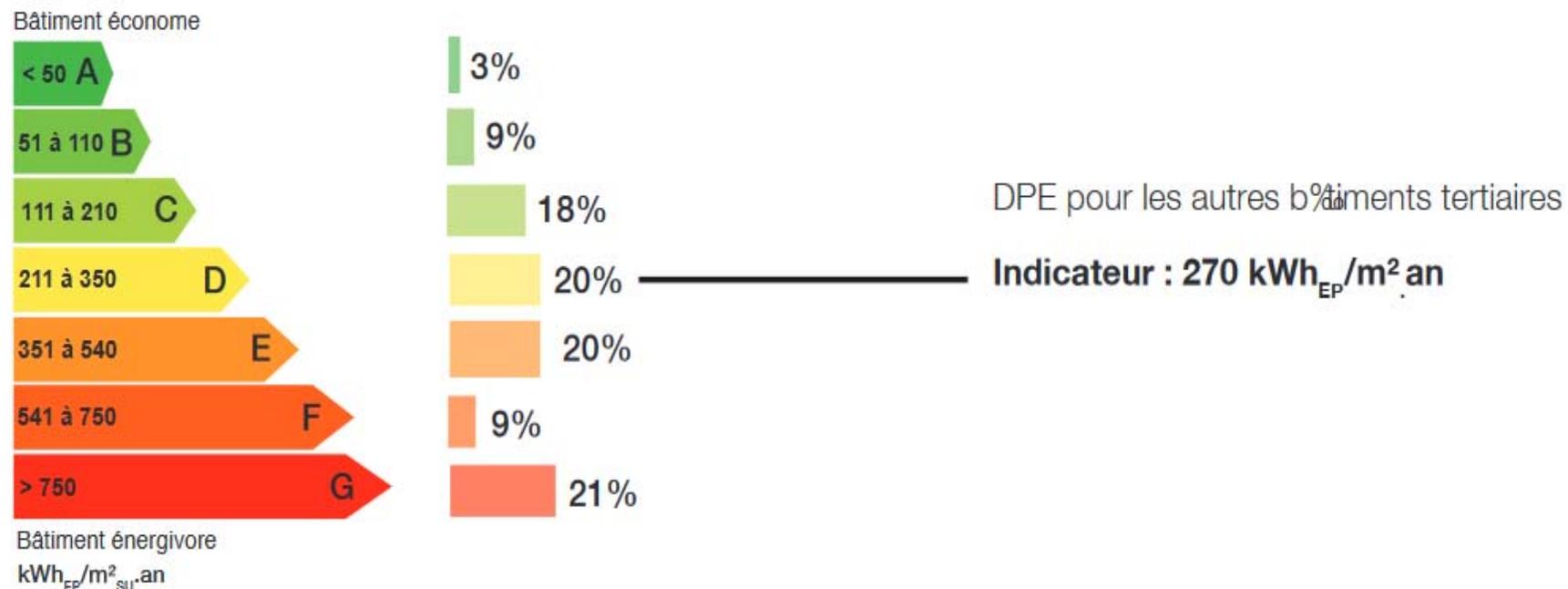


Un record pour les surfaces commerciales alimentaires : **78% sont en classe G**

4 - Etat des lieux du parc de bâtiments et objectif

Le parc de bâtiments tertiaires

RÉPARTITION 2017 DES BÂTIMENTS POUR LA FAMILLE LOGISTIQUE



50% des bâtiments du secteur logistique sont en classes E, F et G

4 - Etat des lieux du parc de bâtiments et objectif

Le parc de bâtiments tertiaires

Rappel des exigences du « Décret Tertiaire » applicables à tous les bâtiments de plus de 1 000 m² :

- d'ici 2030 : 40 % de réduction de la consommation de référence
- d'ici 2040 : 50 % de réduction de la consommation de référence
- d'ici 2050 : 60% de réduction de la consommation de référence

Il est probable que ces dispositions seront insuffisantes pour respecter le niveau de la Directive Européenne Bâtiment.

5 – Principes de conception des bâtiments à très basse consommation et très basse émission de GES

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

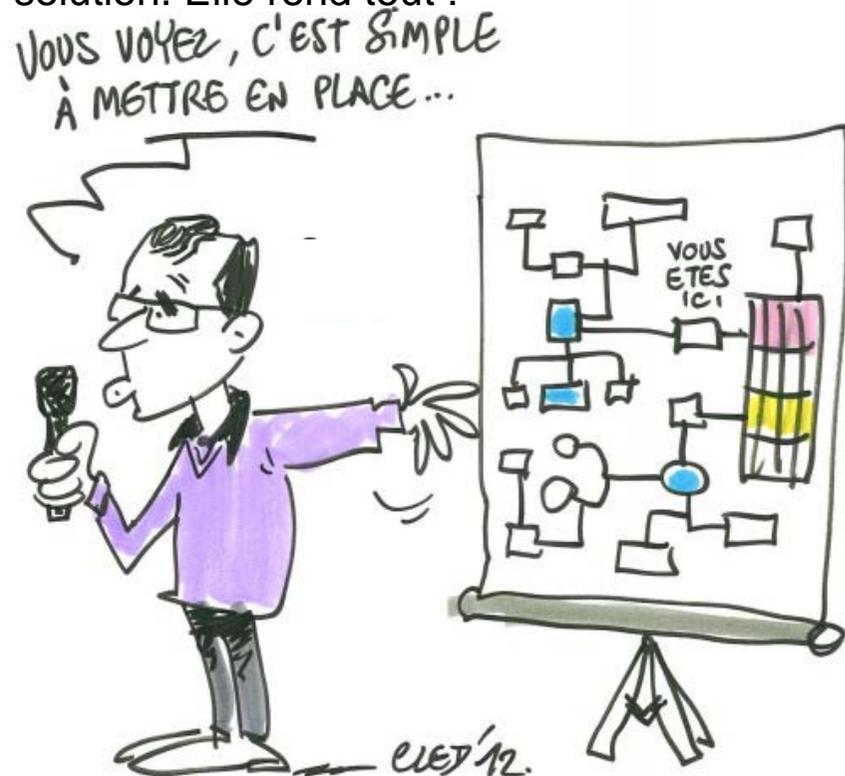
1-Quelques principes à respecter

Grands principes à respecter au cours de la conception :

1 – Fuir quand c'est possible la complexité des solutions « High Tech » et adopter l'approche « Low Tech ».

Le recours à outrance à la technologie n'est pas une solution. Elle rend tout :

- beaucoup plus **cher**
- plus **complexe** à mettre en œuvre,
- plus **complexe** et plus cher à exploiter et à maintenir,
- plus **difficile à réparer**,
- beaucoup **moins fiable**.



5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

1-Quelques principes à respecter

Grands principes à respecter au cours de la conception :

2 – Avoir une approche **globale** incluant :

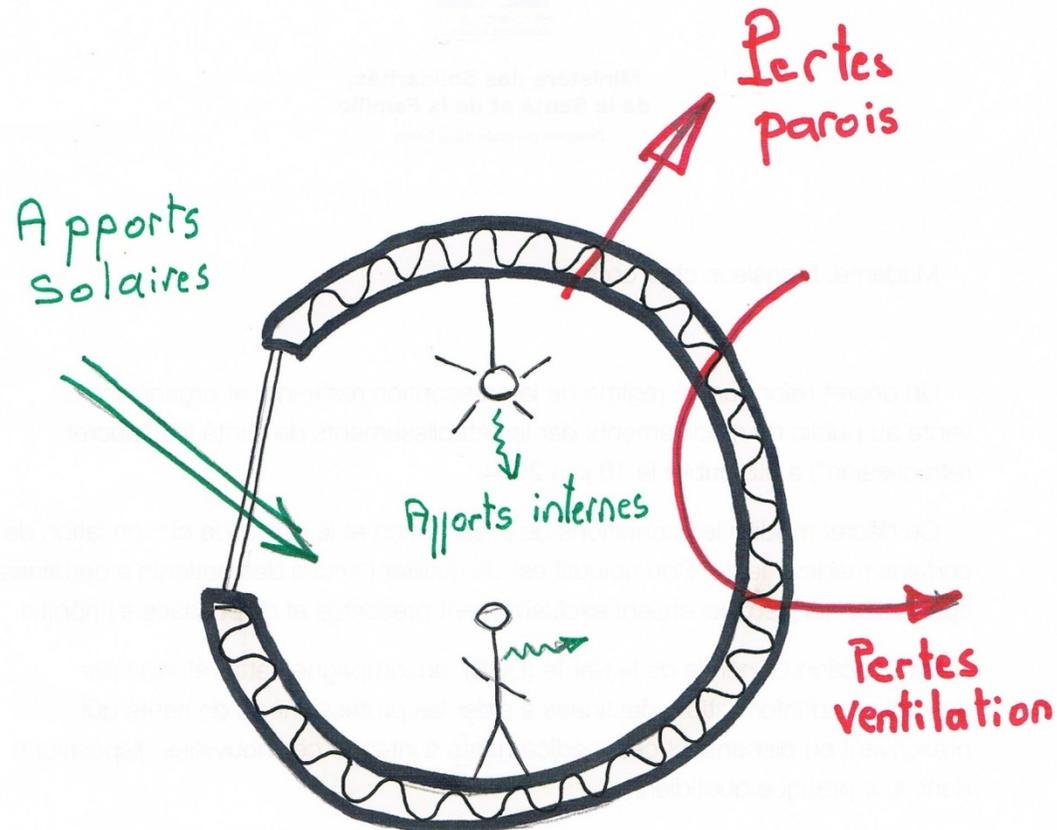
- l'équilibre énergétique des locaux,
- le confort d'été dans ce qui ressemble à une thermos,
- la durée de vie, la réparabilité, la maintenance des matériels et matériaux utilisés,
- leur rareté et leur énergie grise,
- les coûts,
- le piège des idées toutes faites et des habitudes,
- etc...



3 – Utiliser des **outils puissants de simulation** : faire de la physique (proche de la réalité) et non du calcul réglementaire (qui est un calcul conventionnel)

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

2-Minimiser les besoins de chauffage



Puissance chauffage =

Pertes parois + Pertes ventilation – Apports solaires – Apports gratuits +/-stockage

En clair : il faut minimiser toutes les pertes et maximiser tous les apports

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

2-Minimiser les besoins de chauffage

1- Fortes résistances thermiques dans les murs ($e= 20\text{ cm}$), les toitures (40 cm).

2 – Menuiseries isolantes, étanches à l'air, avec triples vitrages



3 – Très forte étanchéité à l'air des logements, vérifiée par le test à la porte soufflante



4 – Ventilation double flux avec récupération de chaleur :

- chauffage : - 30 kWh/m²/an
- élimine humidité et moisissures (pathologies respiratoires),
- blocage du radon (surpression)
- forts débits (formaldéhyde) + confort et qualité de l'air,
- confort d'été



E = 20 cm



E = 26 cm

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

3-Minimiser les besoins de la production d'eau chaude sanitaire

On peut mettre en place :

1 - Un **réducteur de pression** pour ne pas dépasser 3 bars.

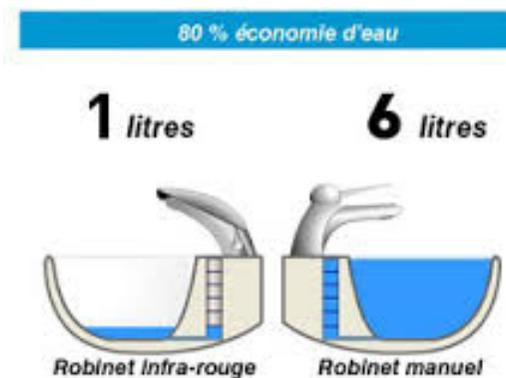


2 - Des **limiteurs de débit auto-régulés et calibrés** au nez des robinets lavabo/évier (préco : 3 l/min). **Économie moyenne mesurée sur un an : 25%**

3 - Des **douchettes économes** 5 l/min.



4 - Des **dispositifs de détection de proximité**

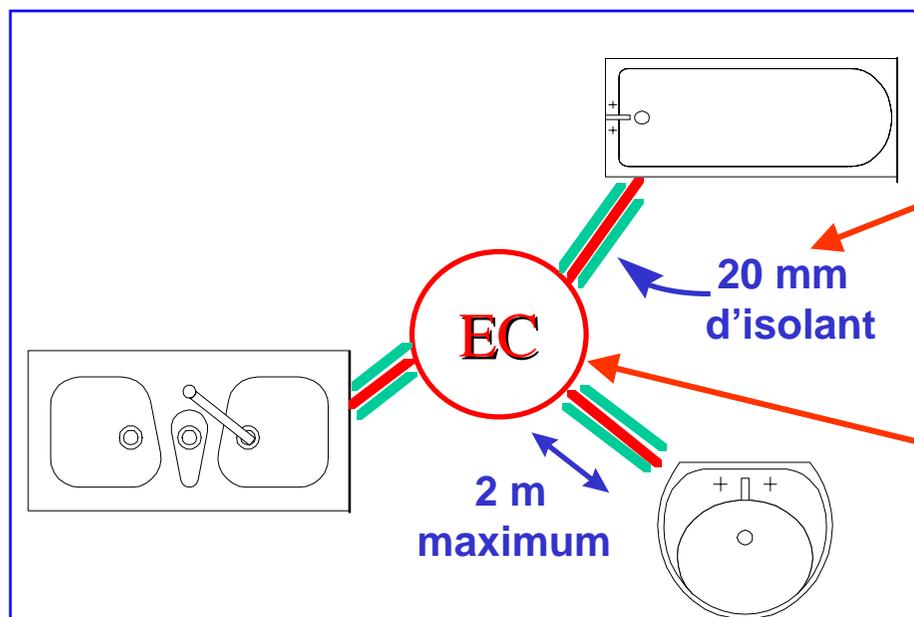


5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

3-Minimiser les besoins de la production d'eau chaude sanitaire

Grandes distances pour atteindre les points de puisage ⇒ A chaque puisage on vide la canalisation en attendant l'ECS...

Si l'occasion se présente, rapprocher le ballon de stockage des points de puisage. L'économie sera énorme.



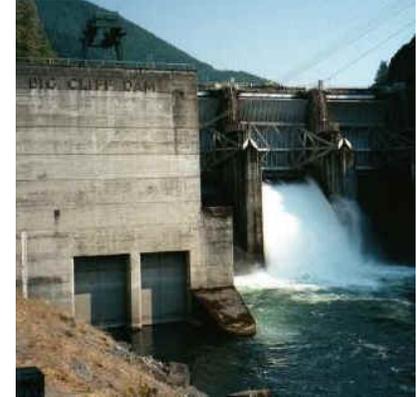
Il faut aussi très fortement calorifuger les distributions

...et les ballons de stockage, **sièges de 25 à 50% de pertes**

Les mesures ont montré que seulement 25% de l'énergie consacrée à la production ECS coule au robinet. Tout le reste est perdu.

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

4-Minimiser tous les usages spécifiques de l'électricité



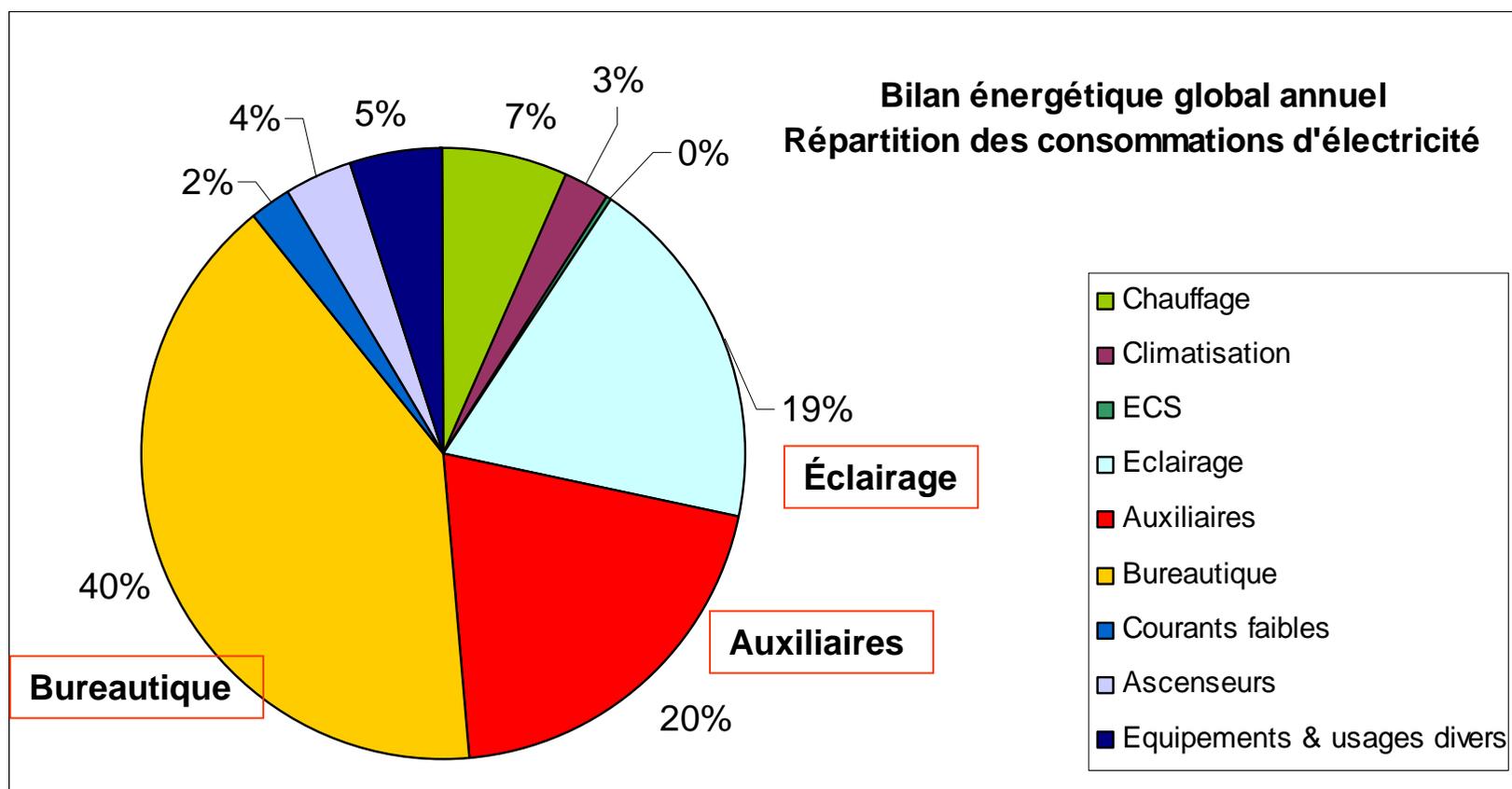
Il y a **quatre raisons** pour lesquelles il faut réduire nos consommations d'électricité :
1 - La **production d'électricité** est toujours **une activité sale**, quel que soit le mode de production. Moins en consommer sera toujours bon pour la préservation de l'environnement.



5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

4-Minimiser tous les usages spécifiques de l'électricité

2 - Dans les bâtiments de bureaux à très basse consommation, les usages spécifiques de l'électricité représentent **plus de 90 % de la consommation tous usages confondus....**



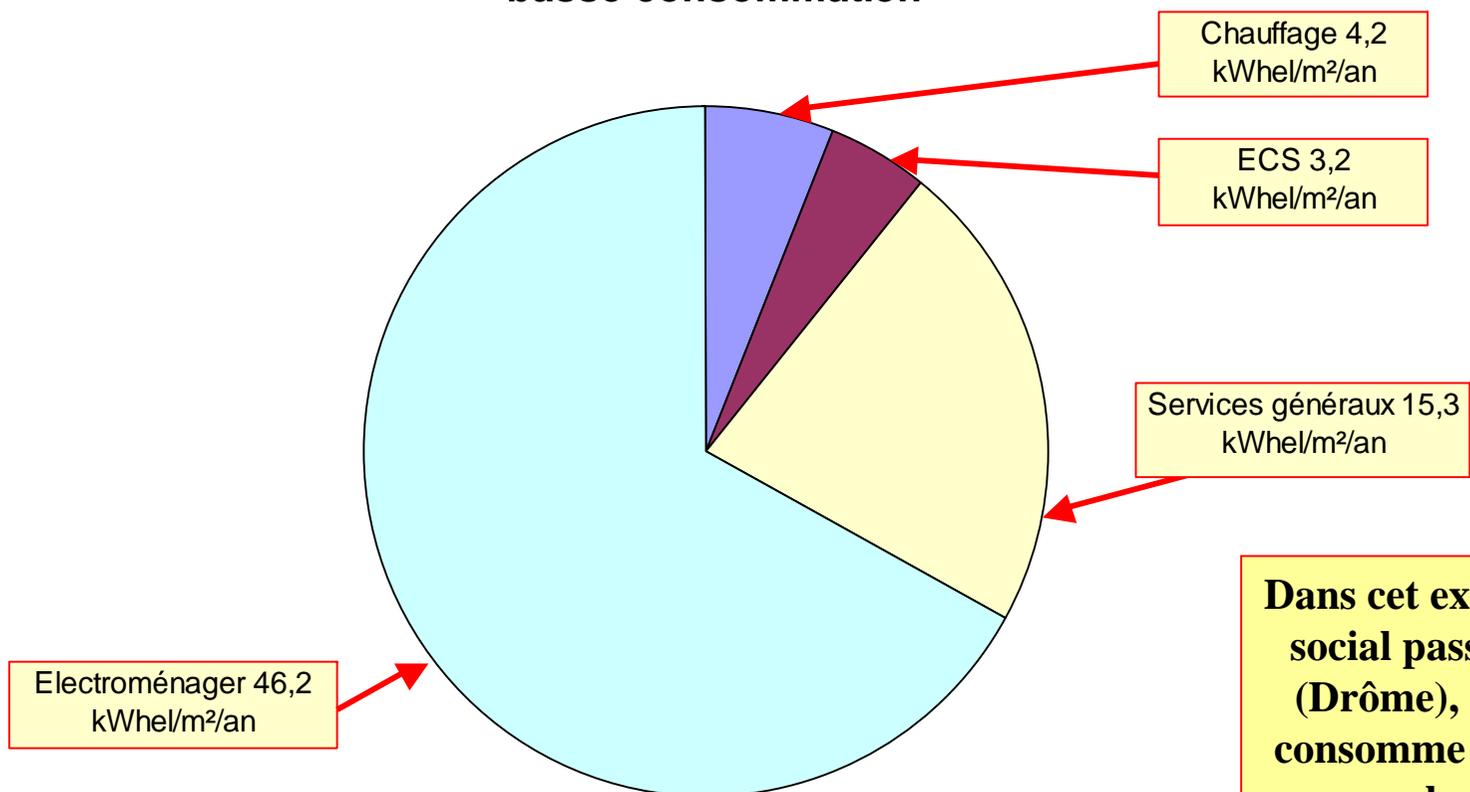
Ecole des Ponts et Chaussées – Bâtiment « Descartes + » (bâtiment à énergie positive)

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

4-Minimiser tous les usages spécifiques de l'électricité

3 - L'électroménager consomme et coûte trois fois plus cher que le chauffage dans les logements construits aujourd'hui, et 5 fois plus dans le passif ou les BEPOS

Part de l'électroménager dans les logements basse consommation



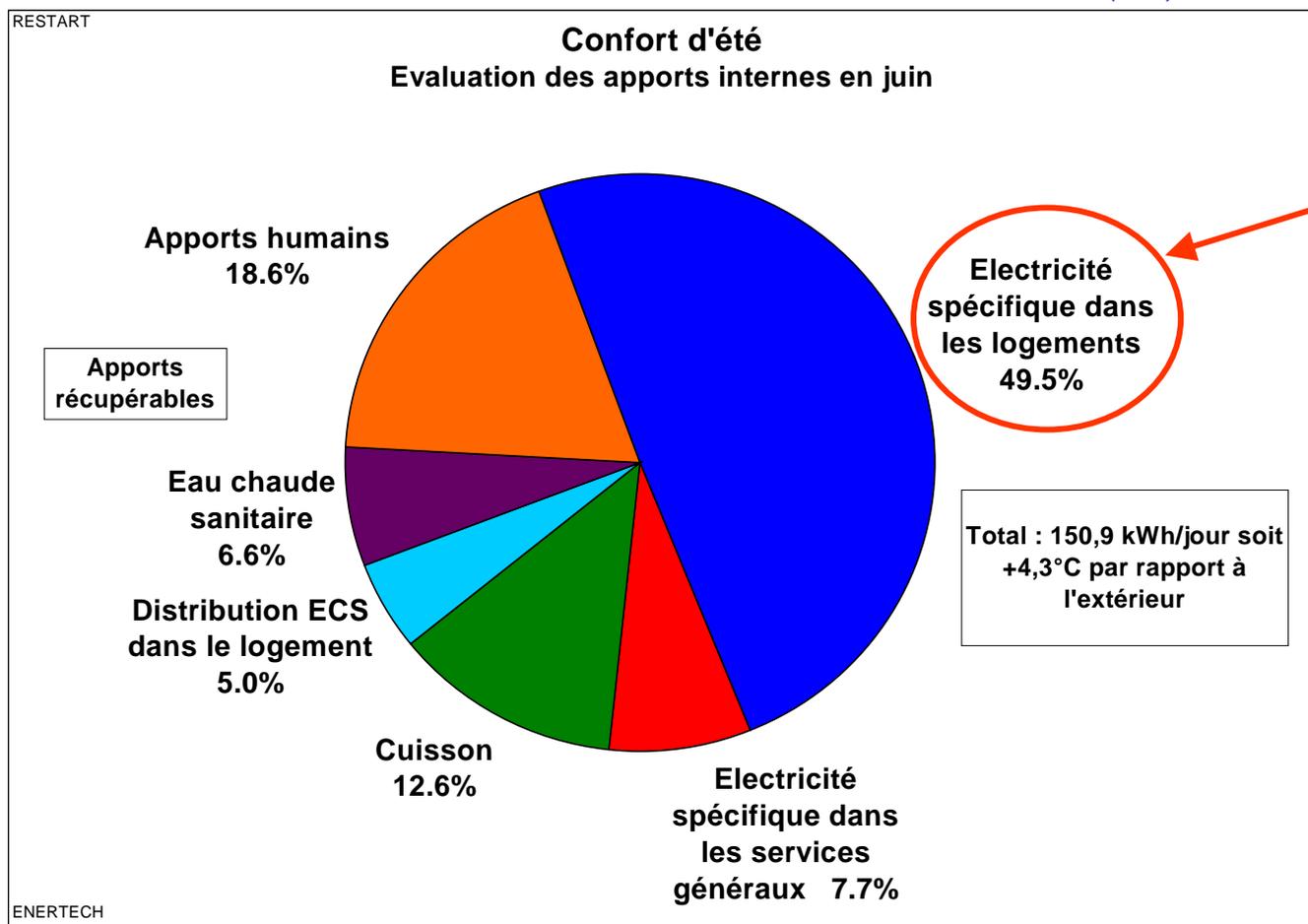
Dans cet exemple en logement social passif situé à Ancône (Drôme), l'électroménager consomme 11 fois plus que le chauffage !!!!!

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

4-Minimiser tous les usages spécifiques de l'électricité

4 - Dans les bâtiments très isolés, la consommation d'électricité en été est la principale responsable des **surchauffes**.

Cas de l'immeuble « Damidot » à Villeurbanne (69)



5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

4-Minimiser tous les usages spécifiques de l'électricité

Pour réduire les consommations d'électricité spécifique :

- 1 – ne pas surdimensionner les équipements (taille, puissance, besoins)
- 2 – être sobre sur le nombre d'usages jugés nécessaires,
- 3 – matériels de classe A ou technologies les + performantes,
- 4 – ne faire fonctionner les appareils qu'en cas de besoin, et les arrêter quand le bâtiment n'est pas occupé,
- 5 – arrêter systématiquement les appareils en veille,

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

5-Réduire l'énergie grise



L'énergie grise, est l'énergie nécessaire à la fabrication, la mise en œuvre puis l'élimination d'un matériau : elle devient prépondérante dans les bâtiments à très faible consommation



5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

5-Réduire l'énergie grise

	Contenu énergétique			Contenu énergétique	
	kWh/t	kWh/m3		kWh/t	kWh/m3
Matériaux			Matériaux		
Ronds à béton	6 700	52 600	Acier en profilé	7 280	57 150
Béton	200	470	Acier inox	25 000	196 250
Béton armé	450	1 090	Profil aluminium nu	44 400	119 880
Brique de terre cuite	830	1 330	Tôle cuivre	15 700	139 730
Brique de terre crue	56	112	Zinc	22 900	163 740
Paille	140	14	Panneau OSB	5 000	2 370
Plaque plâtre+carton	1 780	1 270	Carrelage	4 100	7 790
Verre plat	4 200	10 630	Tuyaux PVC	21 800	30 080
Bois (raboté)	900	490	Plastiques	30 000	36 000

En rouge : matériaux à contenu carbone < 0 (ils stockent du carbone)

Source : KBOB - Ecoinvent

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

*6-Ne recourir qu'aux énergies
« bas carbone »*

L'ensemble des **besoins de chaleur** d'un bâtiment ne pourra être assuré que par :

- **l'électricité** exclusivement via des pompes à chaleur (sauf besoins excessivement faibles),
- le gaz à condition que ce soit du **biogaz** (carbone biogénique),
- la **biomasse** (bois, déchets, etc) à condition d'avoir très peu de besoins résiduels,
- les **réseaux de chaleur**

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

7-Produire son énergie

Objectif 2050 : tous les bâtiments doivent être BEPOS

BEPOS : **B**âtiment à **E**nergie **POS**itive

Le bâtiment produit annuellement plus d'énergie qu'il en consomme

Comment faire ?

⇒ Réduire le plus possible les besoins + produire de l'électricité par des panneaux photovoltaïques

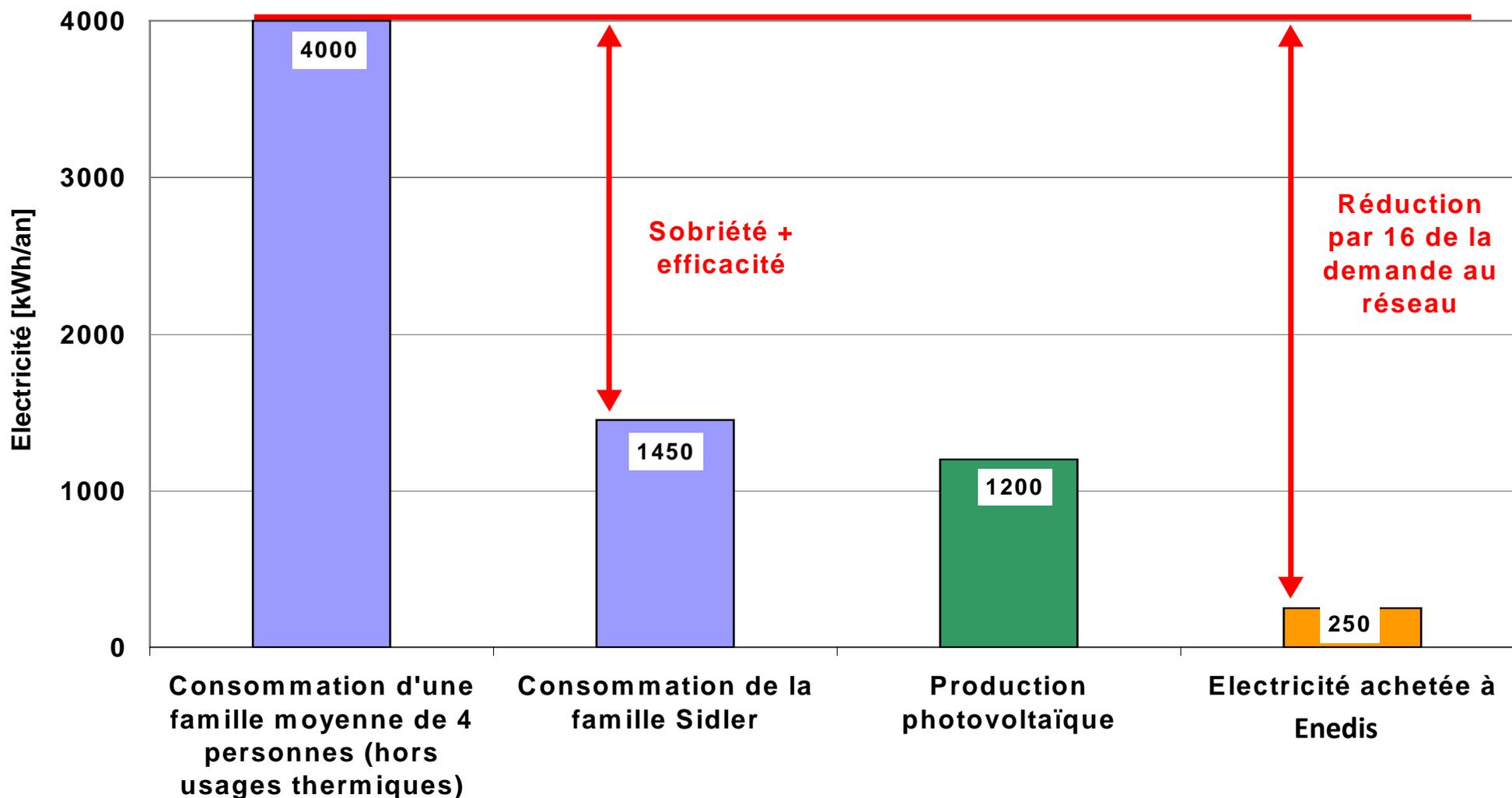
Le photovoltaïque en pratique :

Technologie la plus courante : le silicium mono cristallin

- en fonction de la technologie 1 m² délivre 160 à 230 Wc et produit, en fonction de la situation de 150 à 300 kWh/m²/an. Moyenne : **environ 200 à 220 kWh/m²/an**
- le coût dépend de la puissance de l'installation : de **1,0 à 1,5 €HT/Wc**

5 – Principes conception bâtiments très basse consommation et très faibles émissions

Exemple personnel



6 – Contrôle des performances

6 – Contrôle des performances

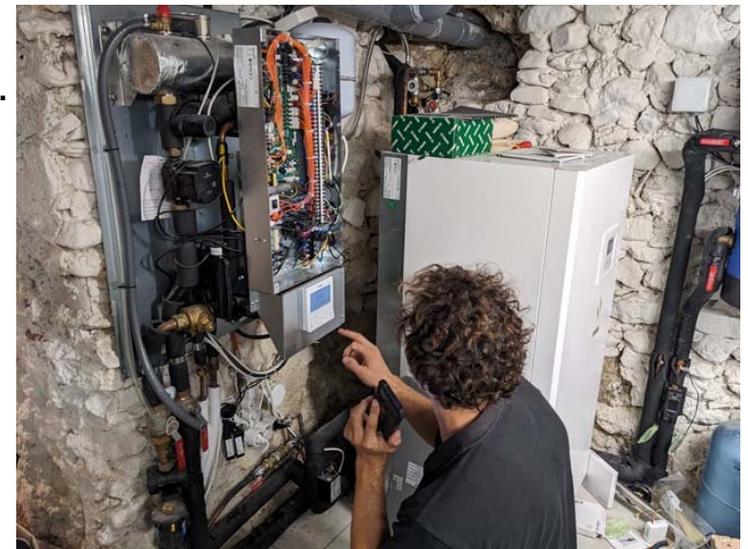
La révolution de la mesure massive

La mesure massive a enfin permis de comprendre :

- comment marchaient réellement les bâtiments,
- qu'est-ce qui consommait quoi,

...et de découvrir de nombreux dysfonctionnements totalement insoupçonnés rendant les prévisions caduques.

Une campagne de mesure mobilise entre 500 et 1000 mesureurs laissés en place une année.

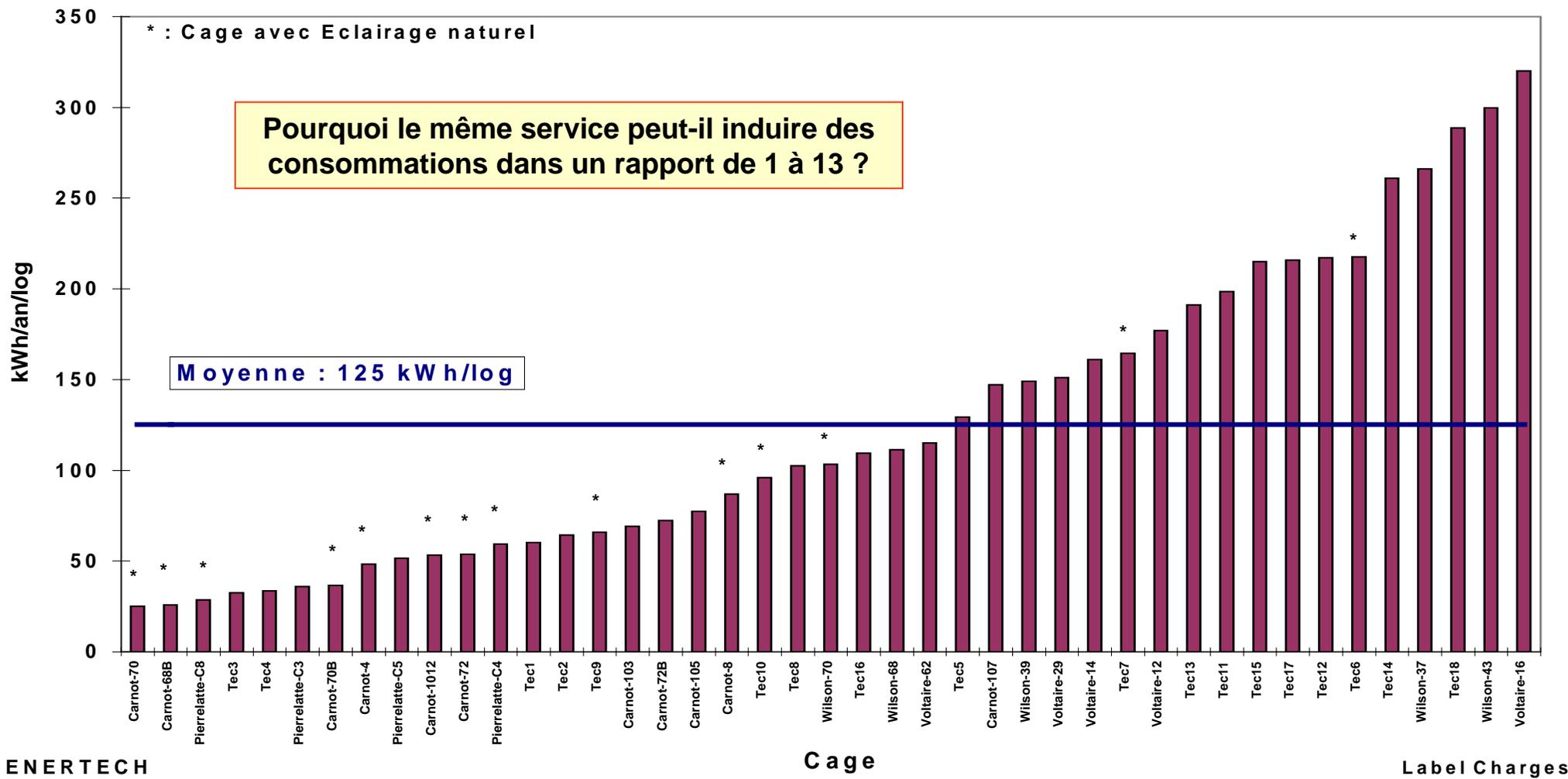


Ceci a permis une révolution dans la conception, la mise au point des bâtiments et l'atteinte de consommations réellement très faibles.

6 – Contrôle des performances

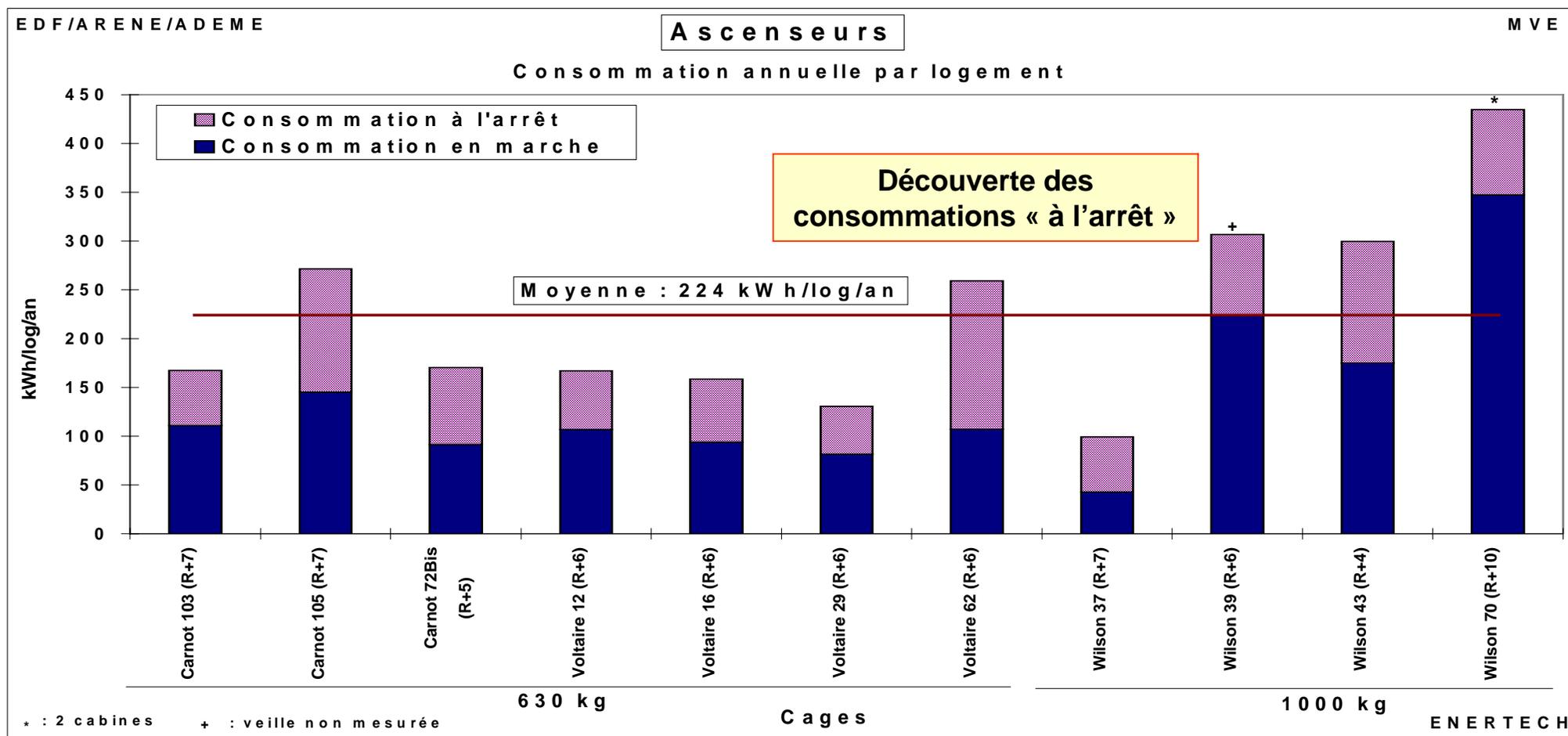
*L'énigme (résolue!)
de l'éclairage des
circulations en immeuble*

Consommation annuelle de l'Eclairage



6 – Contrôle des performances

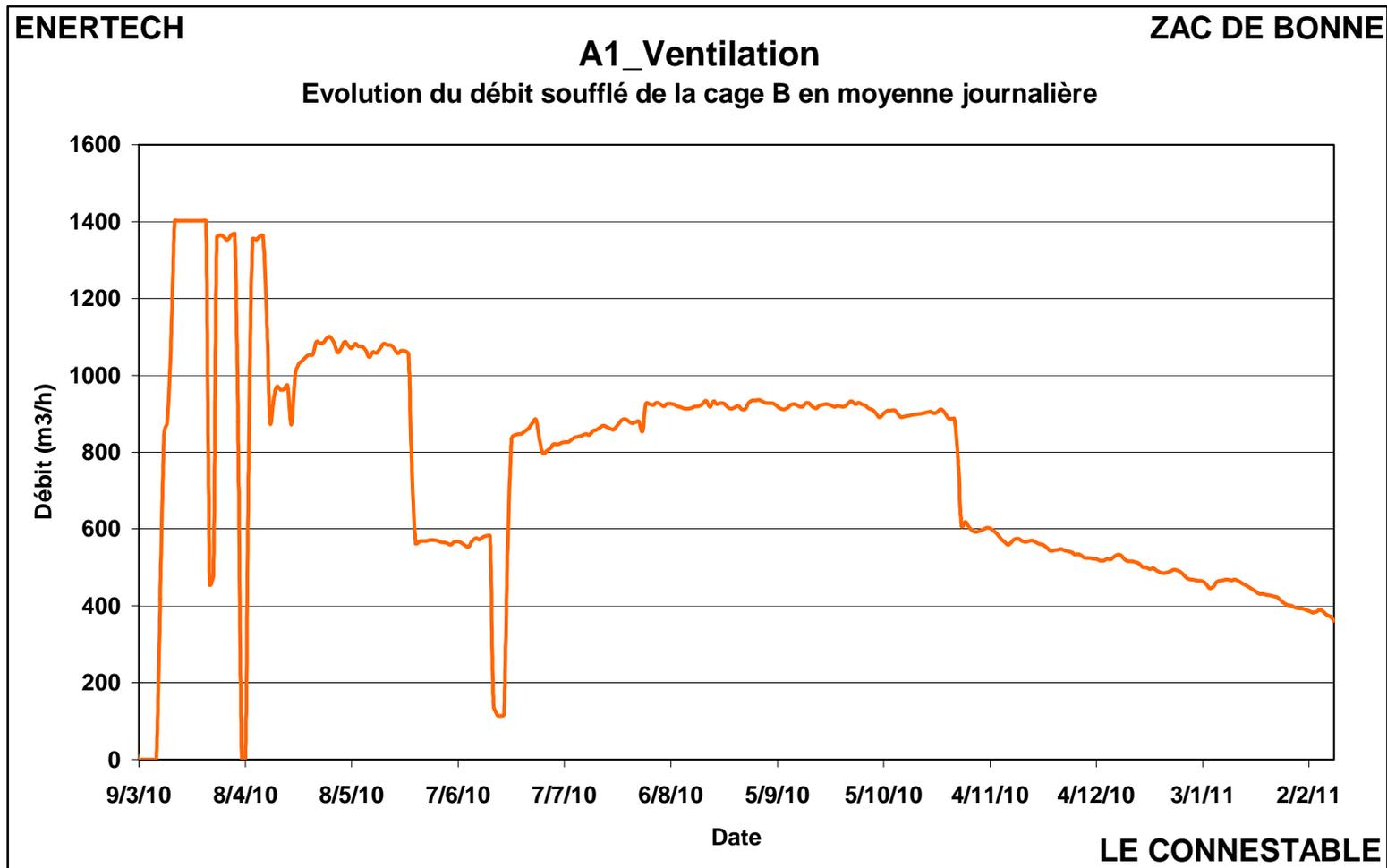
Des usages qui consomment sans qu'on les utilise



Aujourd'hui les ascenseurs ne consomment plus que 40 kWh/m²/an

6 – Contrôle des performances

Des équipements qui ne fonctionnent pas vraiment comme prévu...

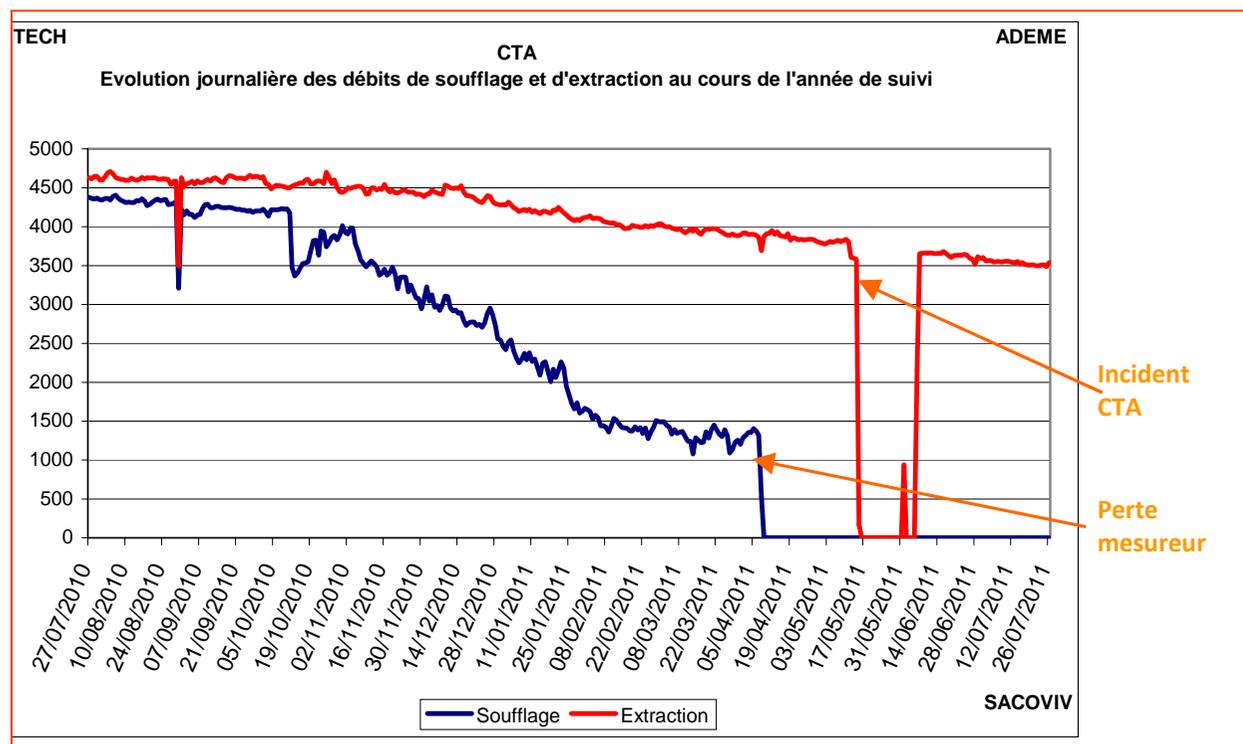


Pour un débit de soufflage en logement on pourrait s'attendre à plus de régularité...

6 – Contrôle des performances

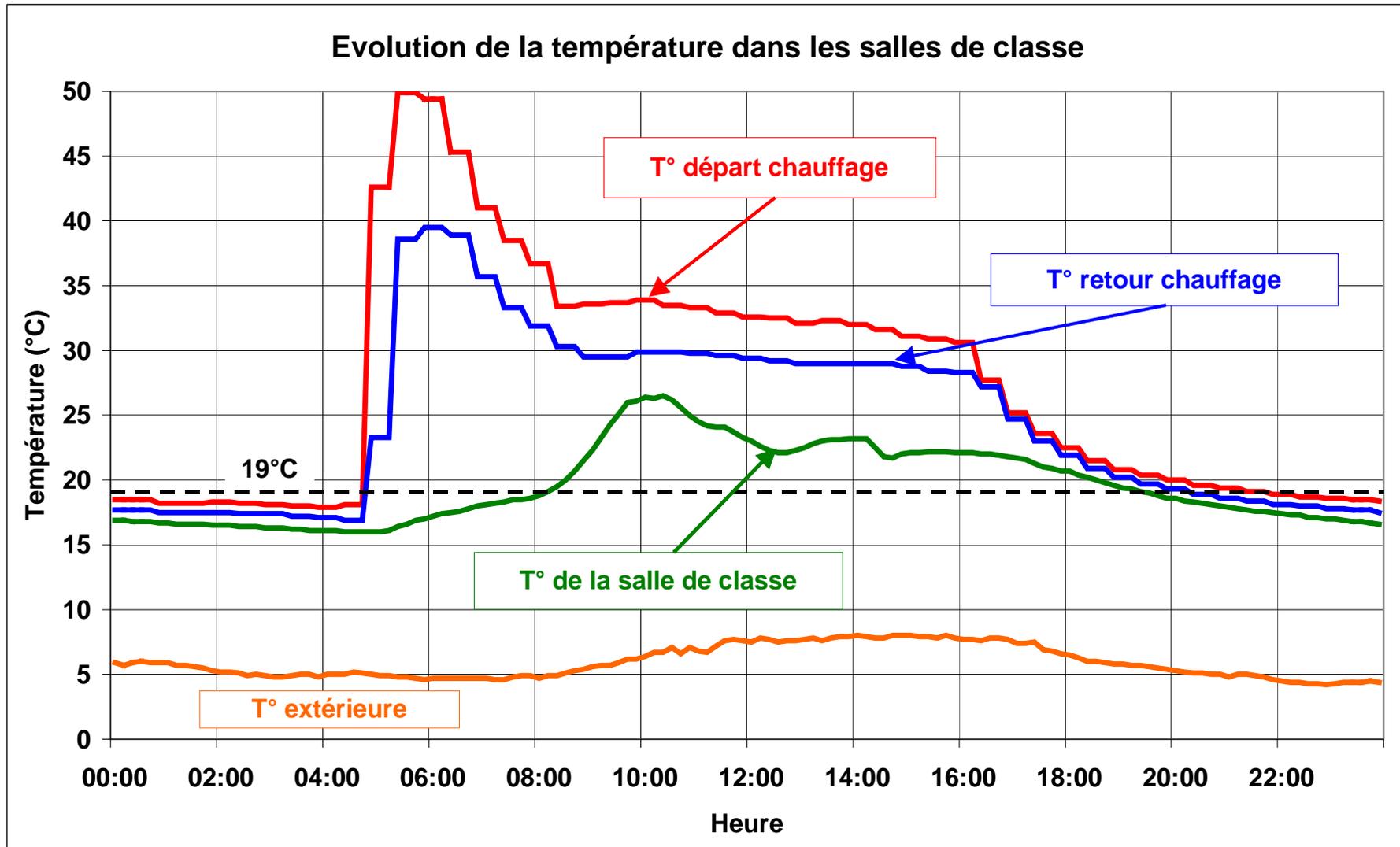
Des équipements qui ne fonctionnent pas vraiment comme prévu...

Sur cette installation, le filtre d'air était tellement encrassé qu'il a explosé et est allé s'encaster dans le ventilateur dont il a grillé le moteur :



6 – Contrôle des performances

Rien ne fonctionne comme prévu dans les bâtiments : La régulation est inopérante



6 – Contrôle des performances

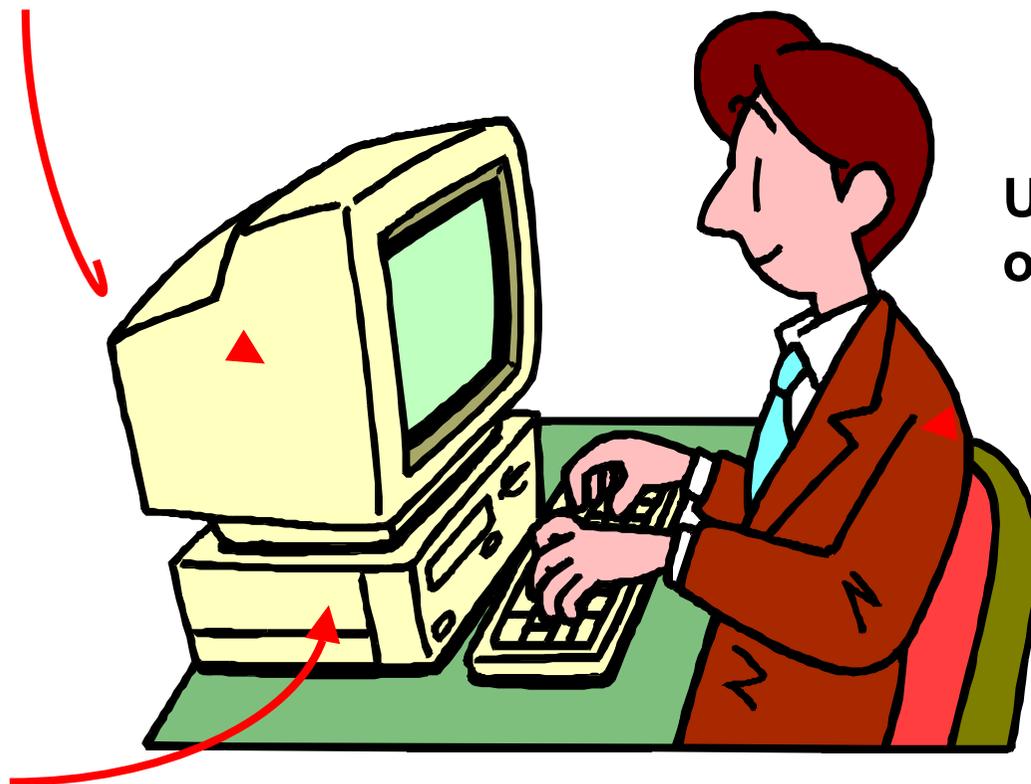
*Rien ne fonctionne comme prévu dans les bâtiments :
Le gaspillage bureautique*

Marche : E* activé : **7,2h/jour** ouvré (1610h/an)

Taux d'utilisation : **43%**

E* désactivé : **14,5h/jour** ouvré (3266h/an)

Taux d'utilisation : **21%**



Utilisation : **3,0 h/jour**
ouvré (686h/an)

Marche : **17,8 h/jour** ouvré (4004h/an)

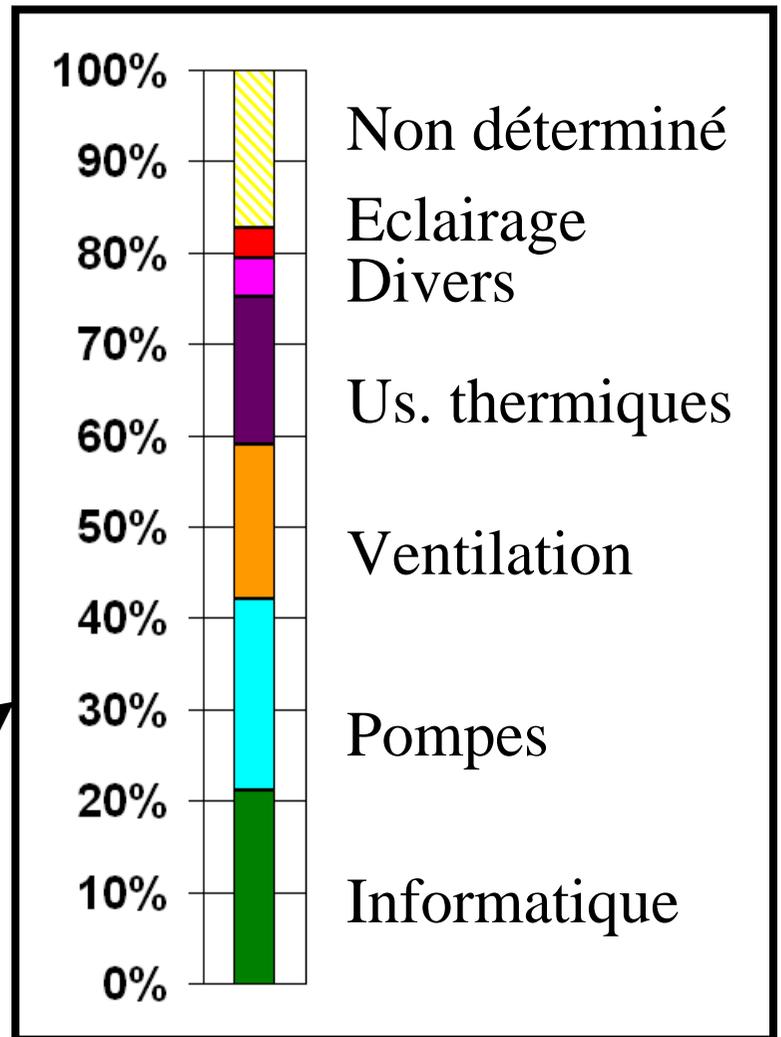
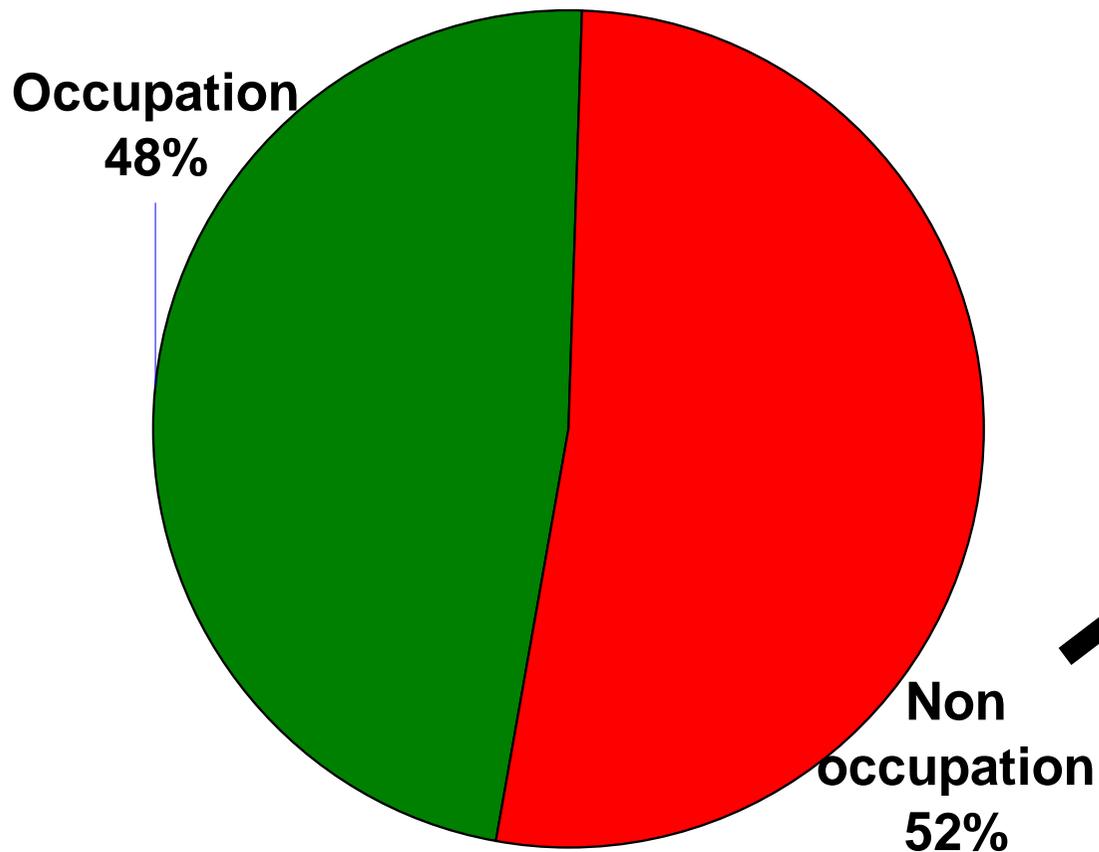
Taux d'utilisation : **17% !**

6 – Contrôle des performances

*D'énormes consommations
en inoccupation*

Hôtel du Département du Bas Rhin – 35 000 m²

Structure de la consommation d'électricité



***7 – Exemples de réalisations conformes aux objectifs
2050***

7-Exemples de réalisations

Préambule

Le bureau d'études **Enertech** (ou un de ses ingénieurs) est intervenu dans toutes les opérations qui suivent, le plus souvent en tant que maître d'oeuvre. Sur le siège social de Bouygues, **Enertech** a fait une importante campagne de mesure préalable ainsi que l'ensemble des préconisations du programme de rénovation mais n'a pas fait la maîtrise d'œuvre. Dans de nombreux cas **Enertech** s'est aussi vu confier une campagne de mesure lourde la première ou la seconde année après les travaux.

Pour toutes les réalisations qui suivent, à une ou deux exceptions près :

- les performances annoncées sont **issues de campagnes de mesure « lourdes »** d'une année,
- elles satisfont l'exigence de consommation énergétique maximum en 2050
- la plupart sont bien à **énergie positive et donc NZE**, sauf les plus anciennes pour lesquelles il n'y avait pas d'exigence du maître d'ouvrage. Une évaluation du coût actuel de cette production photovoltaïque est proposée,
- tous les coûts ont été exprimés en **valeur 2023**. Ils sont référés à la surface habitable ou à la surface utile (tertiaire) et non à la SHON.

7-Exemples de réalisations

Préambule

Comprendre la lecture des diapos de présentation des opérations :

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO ₂ /m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
2 524	60	67,4	0		

Consommation mesurée sur les 5 usages réglementaires, en énergie primaire

Production d'énergie renouvelable des dispositifs en place exprimée en énergie primaire/m²/an.

NZE : niveau d'émission de CO₂. Objectif : 0 kgCO₂. Si NZE>0, cela indique que le bâtiment n'était pas équipé de panneaux photovoltaïques à sa construction (vrai pour les bâtiments les plus anciens)

La surface PV indiquée ici correspond à celle qu'il faudrait ajouter sur des bâtiments qui n'en étaient pas équipés à l'origine pour obtenir NZE=0. Le coût de cet ajout figure dans la dernière case (la surface de référence est la surface habitable, ou la surface utile).

7-Exemple 1 – Typologie : Rénovation – Tertiaire (bureaux) privé

Siège social de Bouygues : Challenger (78)

Année : 2014

Surface hab/utile : 68 000 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWh _{ep} /m ² /an	Prod. ENR kWh _{ep} /m ² /an	NZE kg CO ₂ /m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
2 524	60	67,4	0		

BEPOS

Avant rénovation : 600 kWh_{ep}/m²/an - EGES : 22 kg CO₂/m² - Division consommation facteur : 10

Solutions techniques : 24 150 m² de façade double peau, hyper isolation – Chauffage par pompes à chaleur sur 75 sondes géothermiques sèches de 100m – 21500 m² de panneaux photovoltaïques.



Architecte : Kevin Roche

7-Exemple 1 – Typologie : Rénovation – Tertiaire (bureaux) privé

Siège social de Bouygues : Challenger (78)



6-Exemple 2 – Typologie : Rénovation – Tertiaire (bureaux) privé

Siège Fédération Française du Bâtiment 26/07

Année : 2012

Surface hab/utile : 1152 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
672	110,9	147,4	0		

BEPOS

Avant rénovation : 277 kWh_{ep}/m²/an - EGES : 43,4 kg CO2/m² - Division consommation facteur : 2,5

Solutions techniques : Murs : rajout de 12 à 14 cm d'isolant sur les 8 cm existant – Toiture : rajout de 13 cm - Doubles fenêtres – Triples vitrages – Etanchéité à l'air – Ventilation double flux – Matériels électriques à très faible consommation - Chauffage par pompe à chaleur sur nappe phréatique – 360 m² de panneaux photovoltaïques.



Climatisation

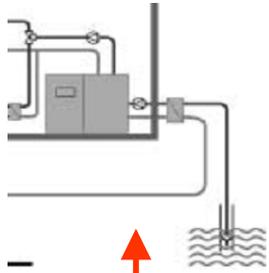


Architecte : Sorha



6-Exemple 2 – Typologie : Rénovation – Tertiaire (bureaux) privé

Siège Fédération Française du Bâtiment 26/07



Chauffage par PAC sur eau de nappe



Membranes butyl entre maçonnerie et nouvelles menuiseries



Toiture photovoltaïque

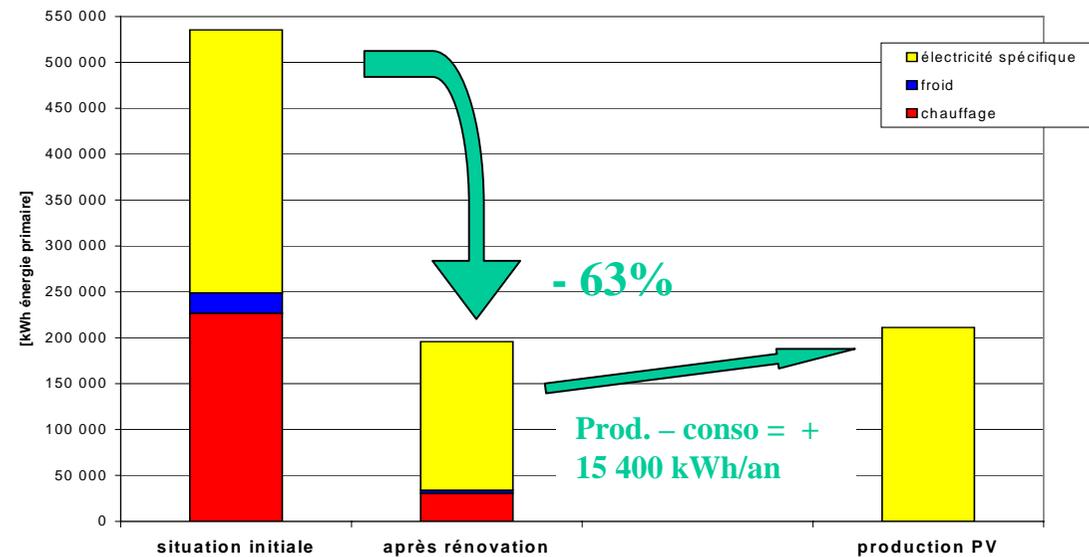


Spot à leds



CTA double-flux à récupération de chaleur à haute efficacité

bilan énergétique de l'espace BTP en énergie primaire



6-Exemple 3 – Typologie : Rénovation – Tertiaire (bureaux) public

Hôtel du département de l'Ardèche (07)

Année : 2021

Surface hab/utile : 6 773 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
321	51,6	0	4,93	584	16 €

Avant rénovation : 182 kWh_{ep}/m²/an - EGES : 18,8 kg CO2/m² - **Division consommation facteur** : 3,5

Solutions techniques : renforcement isolation toiture (12 cm PU) mur (12 cm PS) – Réduction surfaces vitrées – Étanchéité à l'air ($n_{50} = 1$ vol/h) – Ventilation double flux – Matériels électriques à très faible consommation - Chauffage par chaudières gaz à condensation.

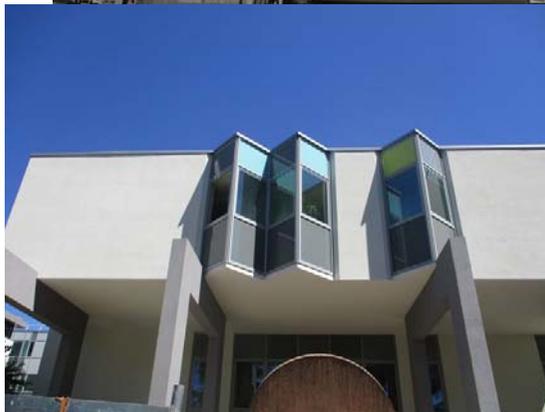


6-Exemple 3 – Typologie : Rénovation – Tertiaire (bureaux) public

Hôtel du département de l'Ardèche (07)

Avant

Après



6-Exemple 4 – Typologie : Logement social collectif rénové

649 logements - Aubépins – 71- Chalons – OPAC71 Année : 2013 Surface hab/utile : 28 745 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWh _{ep} /m ² /an	Prod. ENR kWh _{ep} /m ² /an	NZE kg CO ₂ /m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
320	50,3	0,0	10,4	3 145 4,8 m ² /logt	21 €

Avant rénovation : 241 kWh_{ep}/m²/an - EGES : 34,1 kg CO₂/m² - **Division consommation facteur** : 4,8

Solutions techniques : isolation 26cm mur, 40 cm en toiture (ouate cellulose) – DV peu émissif – Etanchéité à l'air (n₅₀ = 1 vol/h)– **Ventilation simple flux hygro** – Eau chaude gaz /logt - Chauffage urbain.



Bâtiment type A5 R+5



Bâtiment type B12 R+12



Façade complexe



ECS au gaz



Bâtiment type B10 R+4



Condensation au plafond

6-Exemple 4 – Typologie : Logement social collectif rénové

649 logements Cité des Aubépins – 71- Chalons



Façades complexes avec 26 cm d'isolant



Les anciens balcons ont été sciés et de nouveaux, préfabriqués, ont été accrochés sur platines



Architecte : Chambaud



Etat final

6-Exemple 5 – Typologie : Maison individuelle 18ème siècle - Rénovation

Maison en pierre à 26-Félines s/Rimandoule

Année : 1995

Surface hab/utile : 467 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
200	10,3	5,1	1,48	6	4 €

Solutions techniques : ITI 10 cm – Toiture : 40cm – Fenêtres bois triple vitrage – Matériels électriques à très faible consommation – Chauffage et ECS par chaudière à granulés de bois. 8,5 m² de PV – Véranda solaire de 40 m².



Avant



6-Exemple 5 – Typologie : Maison individuelle 18ème siècle - Rénovation

Maison en pierre à 26-Félines s/Rimandoule



Chaudière bois granulés



Ballon ECS hyper isolé



Grande véranda au Sud



Le Rez de Chaussée de la véranda



La façade Nord peu ouverte

6-Exemple 6 – Typologie : Tertiaire public (bureaux) – Rénovation électrique

Hôtel du département du Bas Rhin - Strasbourg Année : 2006 Surface hab/utile : 35 310 m²

Opération lourde centrée sur la réduction des consommations d'électricité

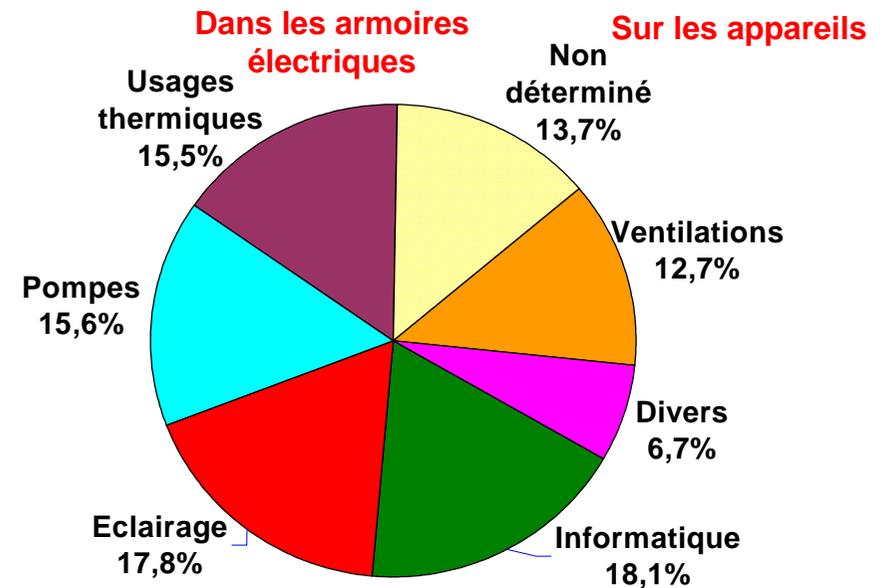
Campagne de mesures ⇒ Proposition d'améliorations ⇒ Travaux ⇒ Mesures



‣ **Electricité** : 158 kWh_{el}/m²/an
(soit 506 kWh_{ep}/m²/an)

‣ **Gaz** : 145 kWh_{ep}/m²/an

Soit au total une consommation tous usages de 651 kWh_{ep}/m²/an



6-Exemple 6 – Typologie : Tertiaire public (bureaux) – Rénovation électrique

Hôtel du département du Bas Rhin - Strasbourg

Les solutions (très simples) mises en œuvre :

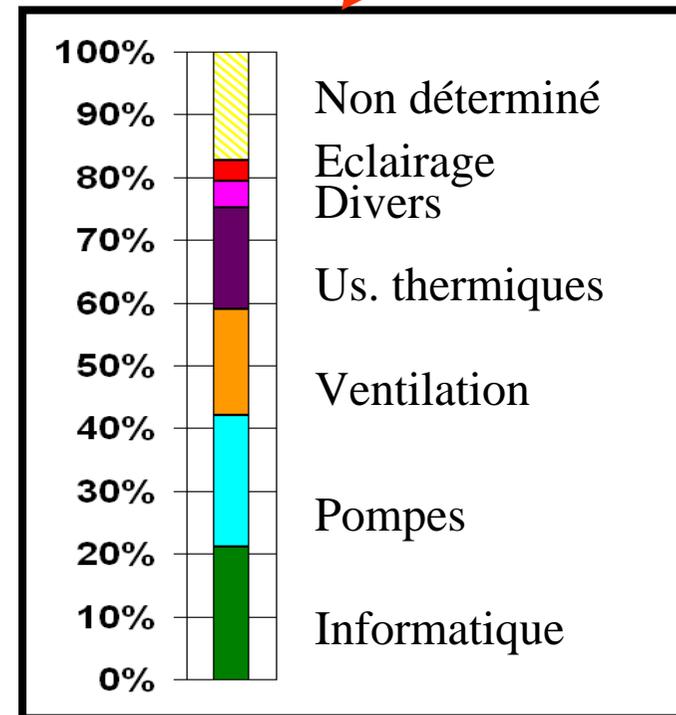
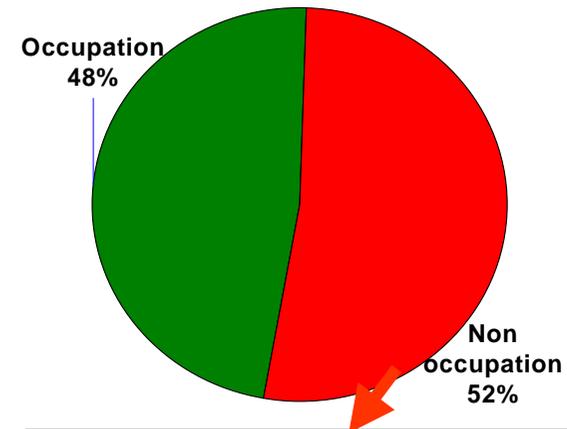
1 - Installation d'appareils à haute efficacité :

- pompes à débit variable et aimants permanents
- éclairage leds
- informatique à faible consommation (portable, etc)

2 - Re-paramétrage des équipements en place (durée de fonctionnement, veilles, temporisations, etc),

3 – Arrêt de tous les appareils qui n'ont pas de raison de fonctionner (détecteur de présence dans les parkings, etc)

4 – Modification des comportements



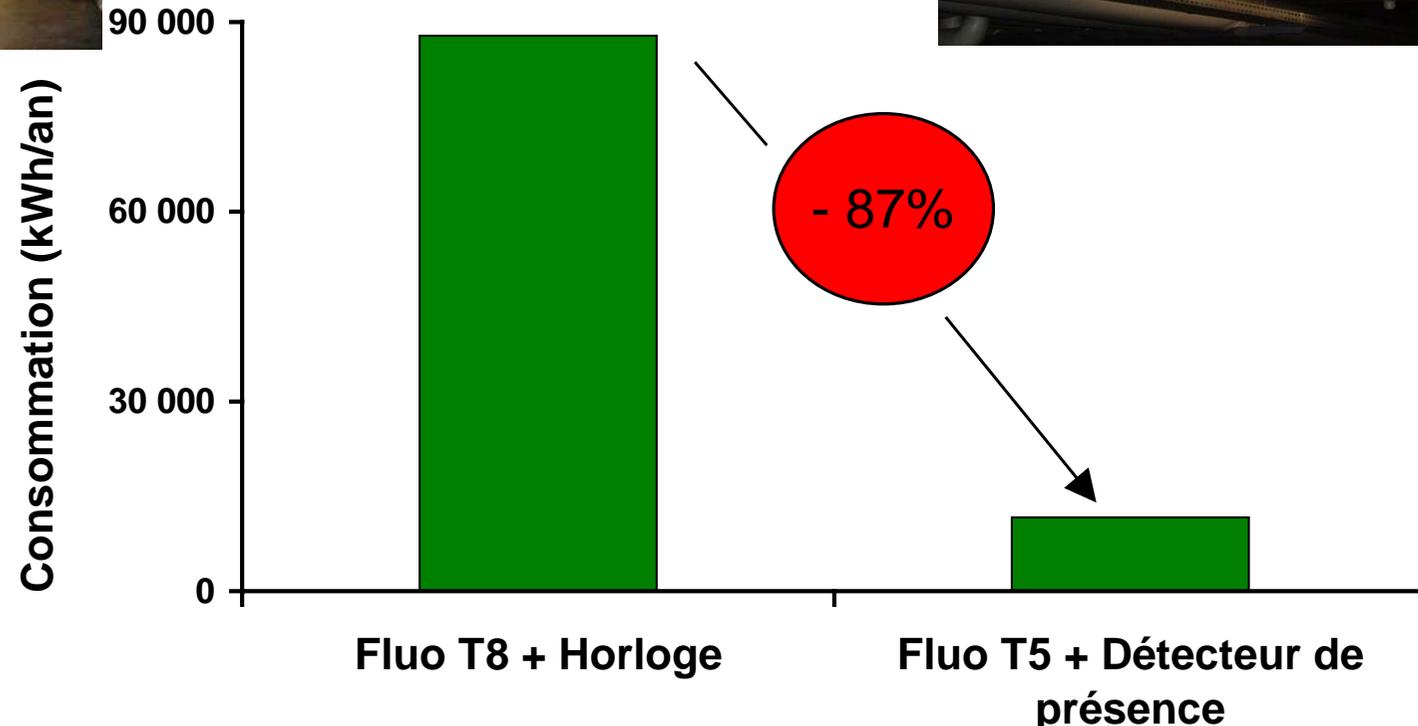
Consommation en occupation et en inoccupation

6-Exemple 6 – Typologie : Tertiaire public (bureaux) – Rénovation électrique

Hôtel du département du Bas Rhin - Strasbourg

Résultats des mesures

Parking de 12 000 m² : plus gros poste de consommation du bâtiment

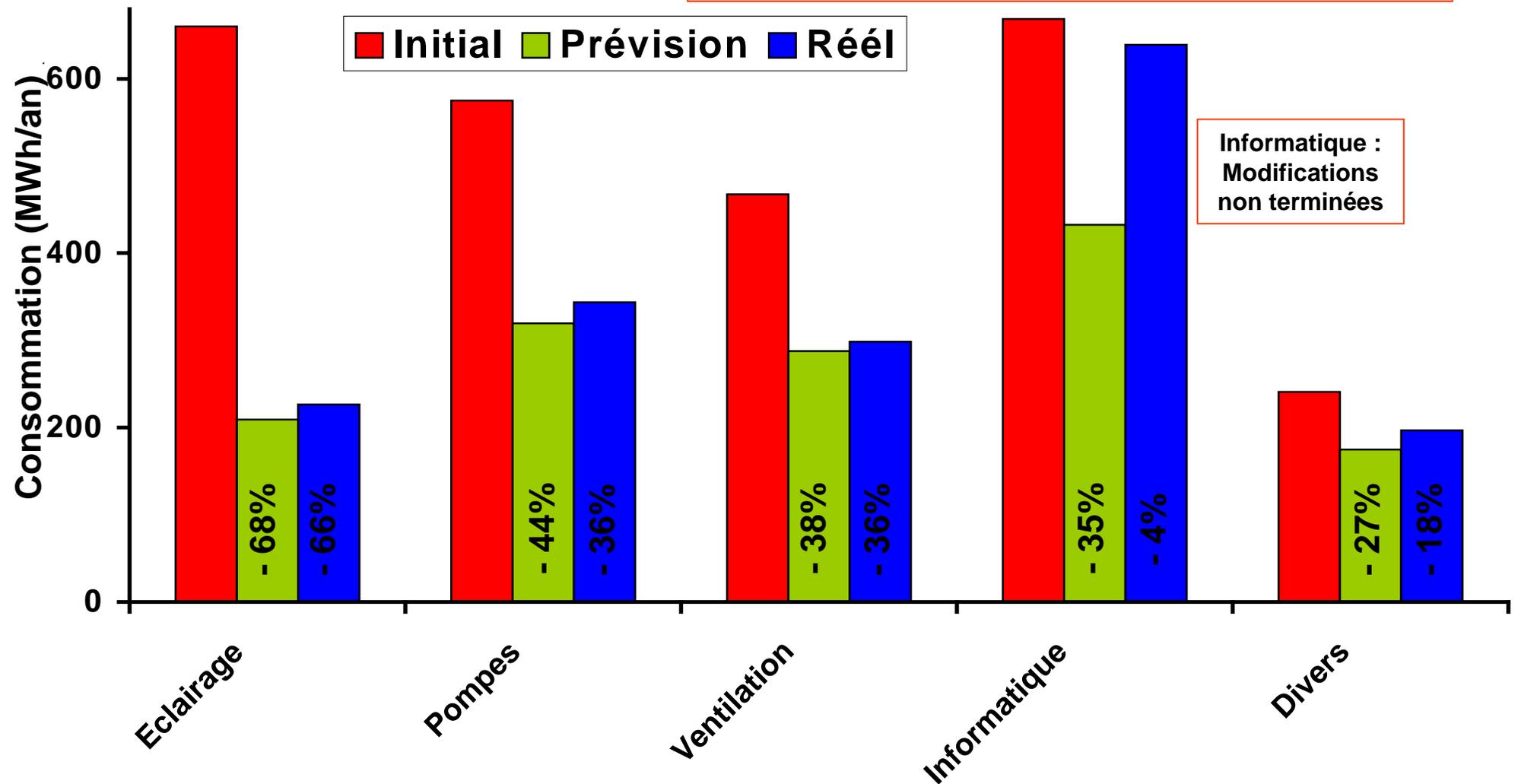


6-Exemple 6 – Typologie : Tertiaire public (bureaux) – Rénovation électrique

Hôtel du département du Bas Rhin - Strasbourg

Investissement : 10 €/m² - Réduction : 42 %

Temps de retour mesuré : 3 ans



6-Exemple 7 – Typologie : Logement collectif social neuf

L'escale – 85 logts – 69 Lyon – Bailleur : RSH

Année : 2014

Surface hab/utile : 5 764 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
2 198	26,7	1,4	2,18	300 (3,6 m ² /logt)	12 €

Solutions techniques : Label Passif - Parois ossature bois +20 cm laine de verre (R=6,2 m²K/W) – Isolant sous rampant toiture (R=8 m²K/W) – Menuiserie bois DV peu émissifs – Etanchéité à l'air - Ventilation double flux – Matériels électriques à très faible consommation - Chauffage par chaudière à granulés de bois. Eau chaude solaire (130 m² de capteurs). Surisolation des réseaux chauffage et ECS.



Architectes : H.Kaufman & H.Vincent

6-Exemple 7 – Typologie : Logement collectif social neuf

L'escale – 85 logts – 69 Lyon – Bailleur : RSH



Façades ossature bois



Distribution de tous les logements par coursives



130 m² de capteurs solaires pour la production ECS



Désolidarisation des balcons de la façade



Chaudières collectives automatiques à granulés de bois

6-Exemple 8 – Typologie : Logement collectif social neuf

4 logements à 26-Ancône – Bailleur social : DAH Année : 2010 Surface hab/utile : 363 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
1 792	51	0,0	1,7	31	38 €

Solutions techniques : Niveau passif – Valeur Ubat = 35,9% inférieure valeur BBC – Murs : Agglo+ITE (20 cm polystyrène) – Toiture : 40 cm laine de verre – Menuiseries bois avec Triples vitrages – Étanchéité à l'air ($n_{50} = 0,84$ vol/h) – Ventilation double flux – Chauffage (radiateurs 45°C) et ECS par pompe à chaleur sur nappe phréatique. Préchauffage ECS par capteurs solaires (6,9 m²).

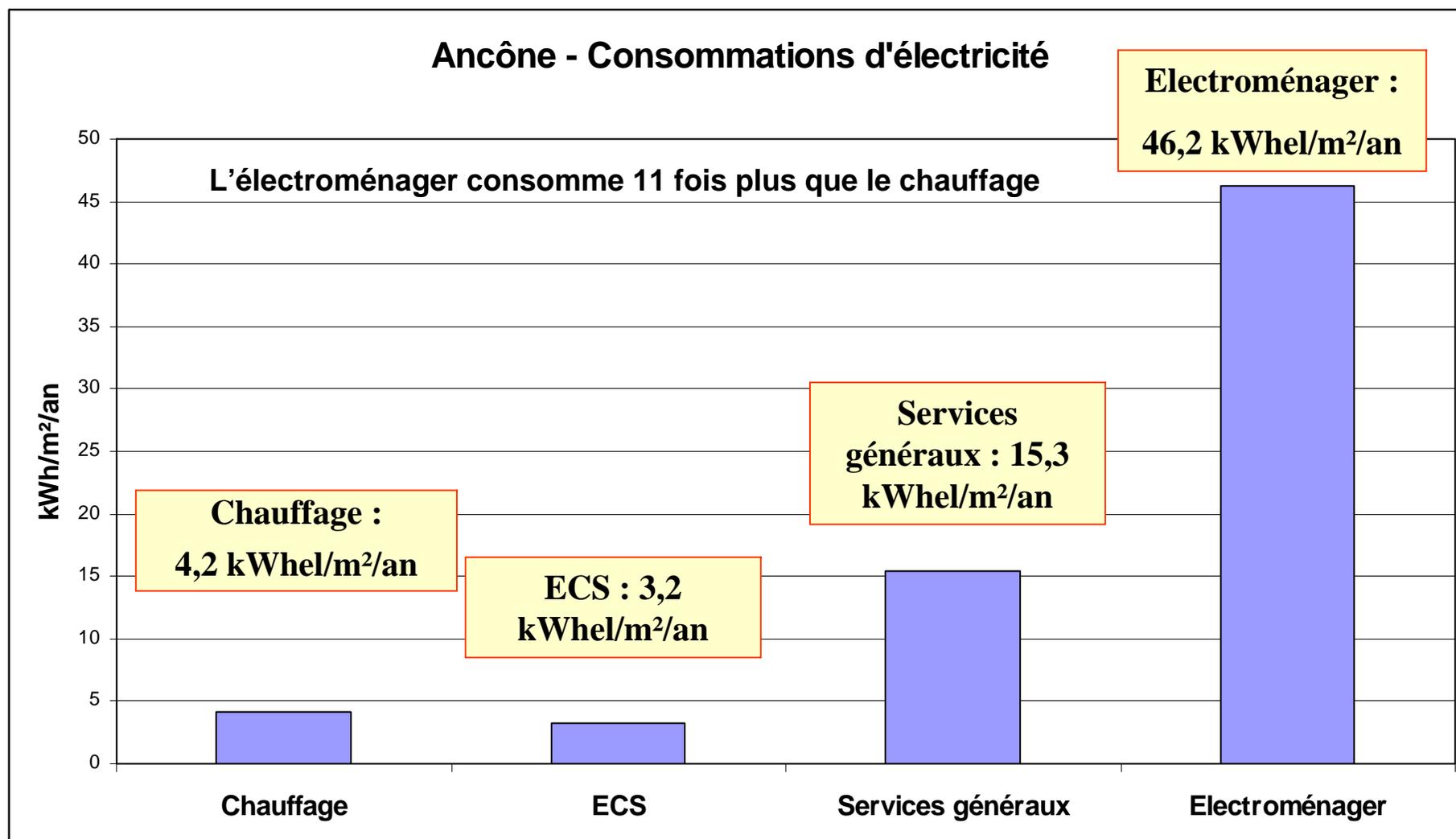


6-Exemple 8 – Typologie : Logement collectif social neuf

4 logements à 26-Ancône – Bailleur social : DAH

T moyen : 21,2°C

Résultat après une année de mesure : COP annuel mesuré : 6,6



6-Exemple 9 – Typologie : Tertiaire public neuf

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (extens) Année : 2013

Surface hab/utile : 4 671 m²

BEPOS

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
3 326	49,5	80,3	0		

Solutions techniques : Murs ossature bois remplie de 26 cm de ouate de cellulose – Toiture : résistance de 10 m²K/W - Triples vitrages – Etanchéité à l'air – Ventilation double flux – Matériels électriques à très faible consommation - Chauffage par pompe à chaleur à l'ammoniac (GWP=0) sur 28 sondes sèches de 78 m. Rafraîchissement passif.



Architecte : T. Roche



6-Exemple 9 – Typologie : Tertiaire public neuf

Ecole Nationale des Ponts et Chaussées (extens)



Eclairage très performant



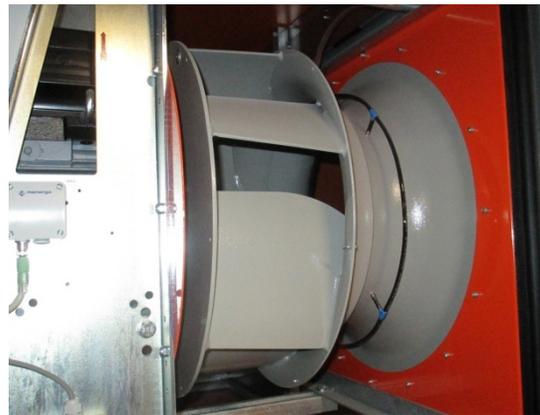
Façade bois hyper isolée



Etanchéité à l'air renforcée



VMC double flux haute efficacité



Aubage de turbine haute efficacité



Pompe à chaleur à l'ammoniac

6-Exemple 10 – Typologie : Neuf – Tertiaire (collège) public

Collège de Valenton (94)

Année : 2021

Surface hab/utile : 7 300 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
2 832	24	74,4	0		

Solutions techniques : Murs ossature bois remplie laine minérale 30cm – Triples vitrages – Toiture : ossature bois remplie laine minérale 30 cm - Etanchéité à l'air (n50<0,6 vol/h) – Ventilation double flux avec rafraîchissement adiabatique – Matériels électriques à très faible consommation - Chauffage urbain. ECS décentralisée (pas de bouclage). Récup chaleur sur groupes froids en cuisine pour production ECS. 1133 m² PV prévus.



Architecte : Archipente



6-Exemple 10 – Typologie : Neuf – Tertiaire (collège) public

Collège de Valenton (94)



Utilisation abondante de matériaux biosourcés



Préfabrication des façades



Ventilation double flux dans toutes les classes

6-Exemple 11 – Typologie : Neuf – Tertiaire (collège) public

Collège de St Cirgues en Montagne (Ardèche)

Année : 2014

Surface hab/utile : 4 161 m²

BEPOS

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
1 787	15,4	47,2	0		

Solutions techniques : Murs ossature bois remplie **de paille** – Triples vitrages – Etanchéité à l'air – Ventilation double flux – Matériels électriques à très faible consommation – Chaudière bois plaquettes. 570 m² de photovoltaïque, 20 m² de chauffe-eau solaire.

Altitude du site : 1 100 m

Préfabrication de panneaux de façade en paille



6-Exemple 11 – Typologie : Neuf – Tertiaire (collège) public

Collège de St Cirgues en Montagne (Ardèche)



6-Exemple 12 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

INEED – Zone d'activité de 26 - Valence TGV

Année : 2006

Surface hab/utile : 2 612 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWh/m ² /an	Prod. ENR kWh/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
1 573	66,8	2,0	8,9	283	24 €

Solutions techniques : Monomur en briques de 50 cm – Toiture : 20 cm PU - Doubles vitrages – Ventilation double flux à débit variable avec puits canadien – Matériels électriques à faible consommation – Chaudière gaz à condensation. 18 m² de photovoltaïque.



6-Exemple 12 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

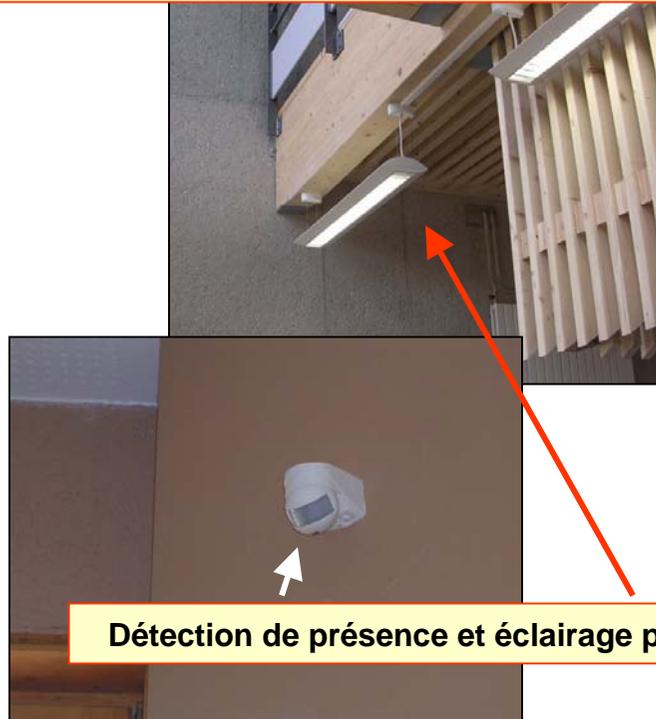
INEED – Zone d'activité de 26 - Valence TGV



Puits canadien constitué de deux nappes de 240 m chacune de canalisations enterrées à 2,5 et à 1,5 m de profondeur



Le portable à la place de la « tour »



Détection de présence et éclairage par leds

Un peu de photovoltaïque...



6-Exemple 13 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

Locaux du bet ENERTECH – 26 Pont de Barret Année : 2016 Surface hab/utile : 626 m²

Le cahier des charges (établi en 2011) :

- 1 – Abandonner la complexité : faire un bâtiment à faible technicité
- 2 – La consommation de chauffage devient dérisoire, mais l'installation coûte cher : la supprimer totalement,
- 3 – Mais on peut se chauffer avec les usages électriques! Veiller à les minimiser,
- 4 – La RT 2020 devait imposer les BEPOS. Ce bâtiment sera donc un BEPOS,
- 5 – Mais dans un BEPOS il faut travailler sur l'énergie grise. Celle-ci devra être minimum,
- 6 – Pas de matériaux à fort contenu carbone, et pas de matériaux émetteurs de polluants. Préférence marquée pour les matériaux biosourcés,
- 7 – On veut un grand confort d'été, mais sans climatisation,
- 8 – Par sécurité, ce bâtiment de bureaux doit pouvoir se transformer en logements,
- 9 – Son prix ne doit pas être plus élevé que celui d'un bâtiment strictement réglementaire.

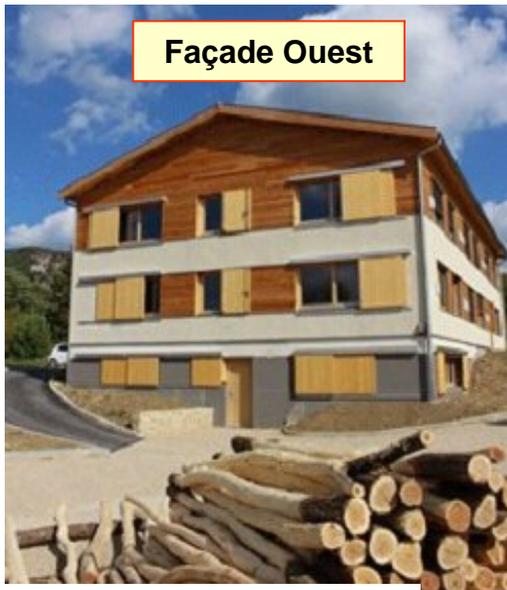
BEPOS

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO ₂ /m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
1 493	7,4	127,2	0		

6-Exemple 13 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

Locaux du bet ENERTECH – 26 Pont de Barret

Solutions techniques : Murs ossature bois remplie **de paille** + 5 cm laine de bois – Combles : 40 cm ouate de cellulose – Terre plein : 24 cm PSE - Triples vitrages – Inertie complémentaire par briques de terre crue - Etanchéité à l'air extrême – Ventilation double flux décentralisée – Matériels électriques à très faible consommation – 153 m² de photovoltaïque en toiture..



Architecte : P.Traversier

6-Exemple 13 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

Locaux du bet ENERTECH – 26 Pont de Barret

1 – Une construction en bois et en paille préfabriquée en usine



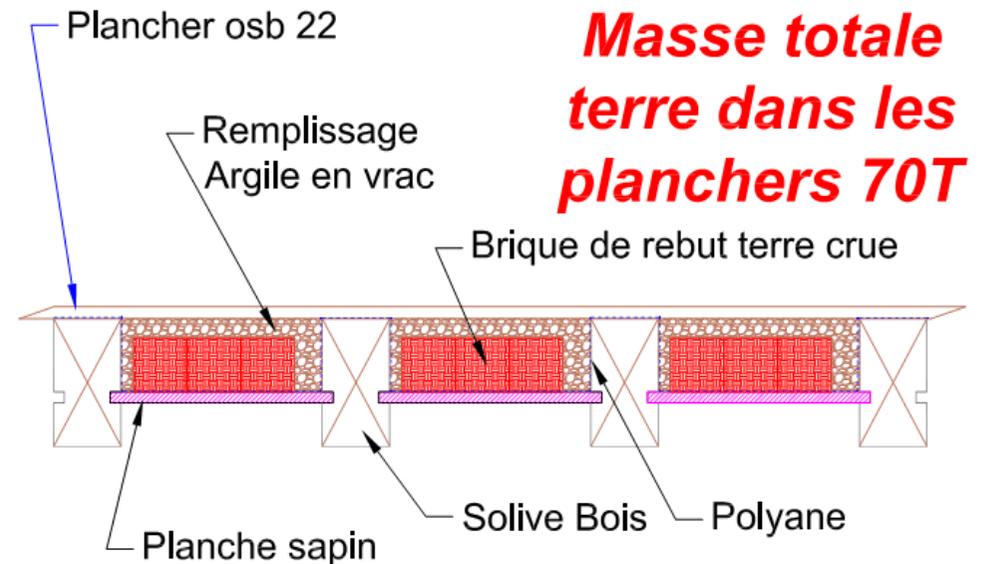
... les murs préfabriqués apportés par camion et assemblés à la grue par panneaux de 4 à 5 m de long et de hauteur d'étage.

6-Exemple 13 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

Locaux du bet ENERTECH – 26 Pont de Barret

2 – Apport d'inertie par la terre crue prélevée sur les excavations du bâtiment (35 tonnes)

+ 70 tonnes de briques d'argile crue dans les planchers, récupérées car considérées comme déchets



6-Exemple 13 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

Locaux du bet ENERTECH – 26 Pont de Barret

3-Ventilation double flux décentralisée

Avantages : - pas de réseau dans le bâtiment

- très faible consommation d'électricité

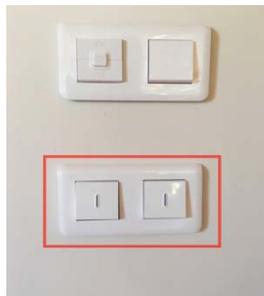
- très faible charge thermique



L'échangeur de chaleur permet de récupérer plus de 70% de la chaleur en hiver et la fraîcheur en été.



Consommation : 5 W pour 25 m³/h !



Un simple interrupteur permet d'allumer et éteindre la VMC bureau par bureau.



6-Exemple 13 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

Locaux du bet ENERTECH – 26 Pont de Barret

4 – Des équipements électriques très basse consommation et une production photovoltaïque

L'**éclairage** est à très basse consommation : LED dimensionnées au plus juste (puissance installée de 2 W/m²).



Informatique : ordinateurs portables (<20 W par poste), serveur informatique général qui consomme 23 W, serveur d'emails consommant ...6W !

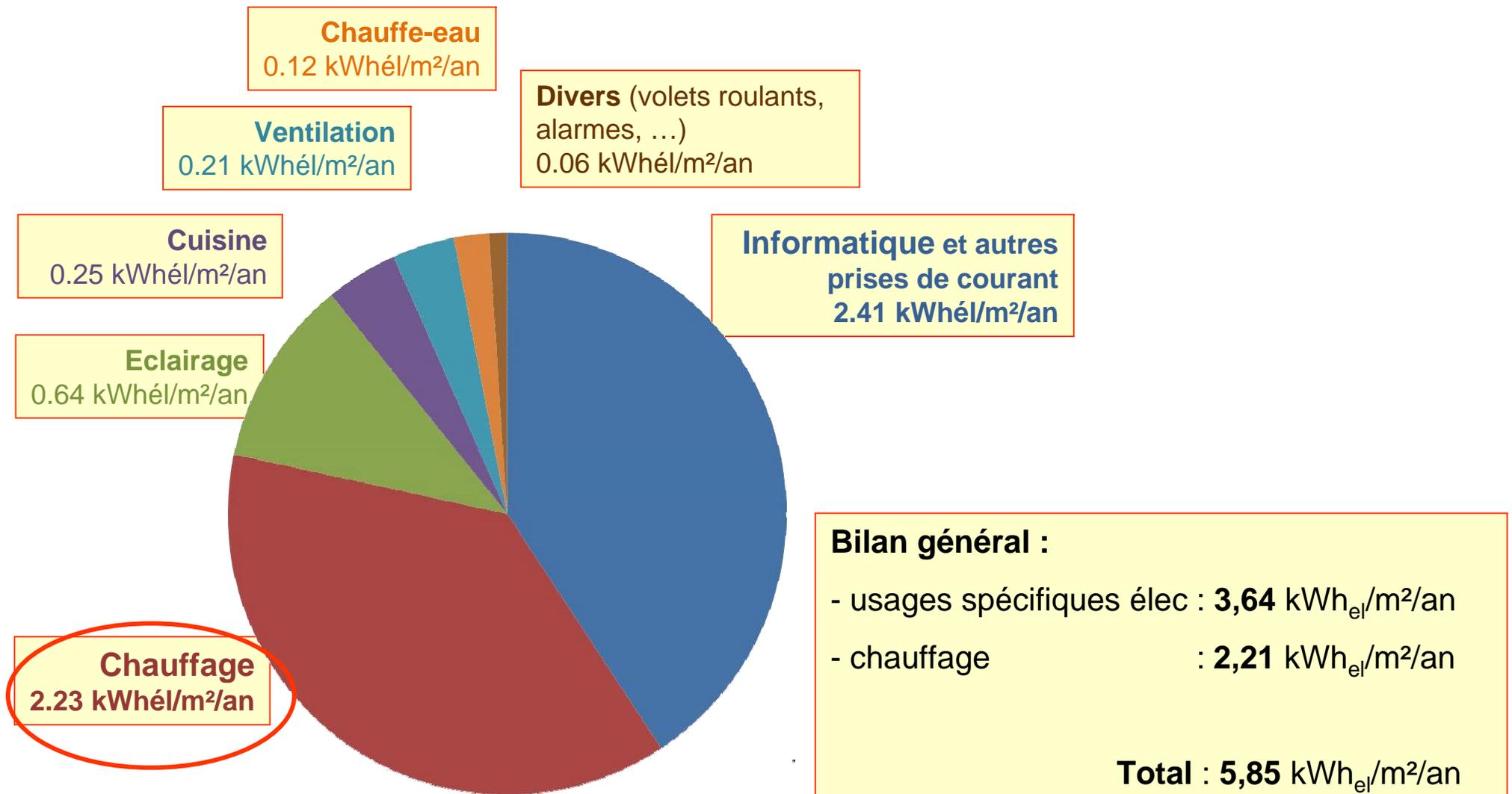
Coupure du réseau électrique la nuit afin d'éviter toute consommation électrique inutile.



LowCal produit sa propre énergie d'origine renouvelable : autonomie assurée grâce aux 153 m² de **capteurs photovoltaïques (fabriqués en France)** d'une puissance de 24 kWc installés sur la toiture sud.

6-Exemple 13 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

Locaux du bet ENERTECH – 26 Pont de Barret



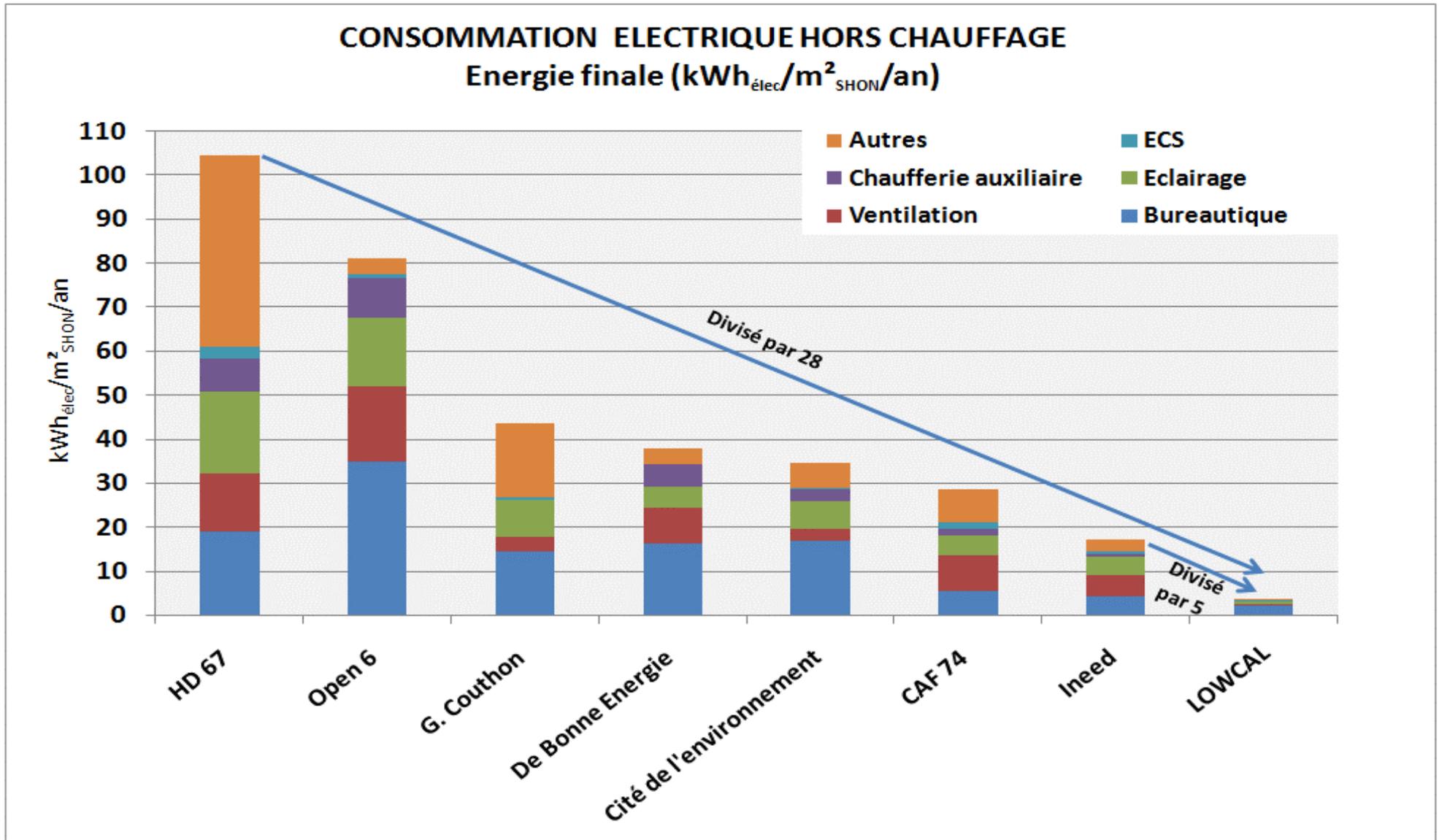
6-Exemple 13 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

Locaux du bet ENERTECH – 26 Pont de Barret

- 1 – Le bâtiment a produit 34 315 kWh d'électricité (soit 224 kWh/m² capteur), ce qui représente 9,4 fois plus d'électricité que ce qu'il a consommé.
- 2 – C'est le seul bâtiment en France à avoir obtenu le label E4C2 (maximum possible). Egaleme^{nt} labellisé Effinergie 2017 BEPOS et Label BBCA excellence
- 3 – La température en été n'a jamais excédé 27°C ponctuellement,
- 4 – Le bâtiment peut facilement être transformé en 6 logements,
- 5 – Il n'a coûté que 1 120 € HT/m²Shon (valeur 2015), soit moins qu'un bâtiment strictement réglementaire !!!

6-Exemple 13 – Typologie : Tertiaire privé neuf (bureaux)

La consommation de chauffage est passée en 40 ans d'environ 300 kWh_{élec}/m² à 6, soit une division par 50 !!!



6-Exemple 14 – Typologie : Maison individuelle neuve

Maison sans chauffage 26-Pont de Barret

Année : 2023

Surface hab/utile : 112 m²

Coût € HT/m ² valeur 2023	Conso conv kWhep/m ² /an	Prod. ENR kWhep/m ² /an	NZE kg CO2/m ² /an	Surface PV m ²	Coût PV € HT/m ²
1 967	22,7	237,0	0		

BEPOS

Solutions techniques : Murs ossature bois remplie **de paille** + 16 cm laine de bois – Combles : 50 cm ouate de cellulose – Terre plein : 24 cm PSE - Triples vitrages – Inertie complémentaire par briques de terre crue - Etanchéité à l'air extrême ($n_{50} = 0,45$ vol/h) – Ventilation double flux – Chauffe-eau électriques surisolés à moins d'un mètre des points de puisage – Limiteurs de débits d'eau – Récupération chaleur sur eaux grises de la douche - Matériels électriques à très faible consommation – 45,5 m² de photovoltaïque en toiture.



Architecte : Côté Bois

6-Exemple 14 – Typologie : Maison individuelle neuve

Maison sans chauffage 26-Pont de Barret

Usages	Conso kWh _{el} /m ² /an
Chauffage	0
ECS	5,4
Electricité usages spécifiques	22,4
Véhicule électrique	22,4
Total	50,2

Production d'électricité par 45,5 m² de photopiles : **103 kWh_{el}/m²/an**

Cette maison produit donc annuellement :

- **3,7 fois plus** que la consommation tous usages domestiques de la maison,
- **2,1 fois plus** que le total de la consommation domestique et de la voiture électrique

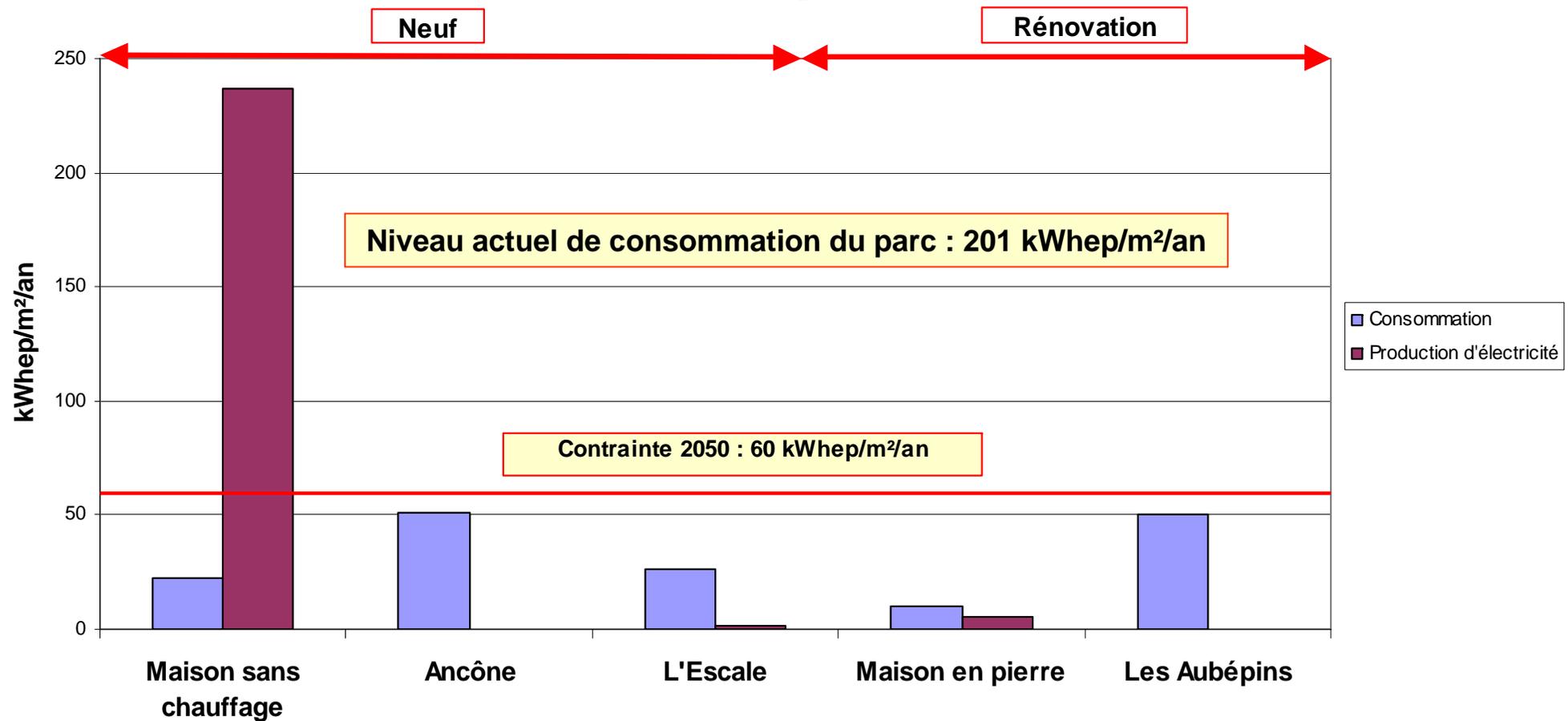
Coût de construction :

- 1 991 € HT/m²hab en incluant le photovoltaïque,
- 1 859 € HT /m²hab sans le photovoltaïque,

À comparer au coût de construction de villa HLM en Ardèche : 1 900 € HT/m²hab (sans photovoltaïque)

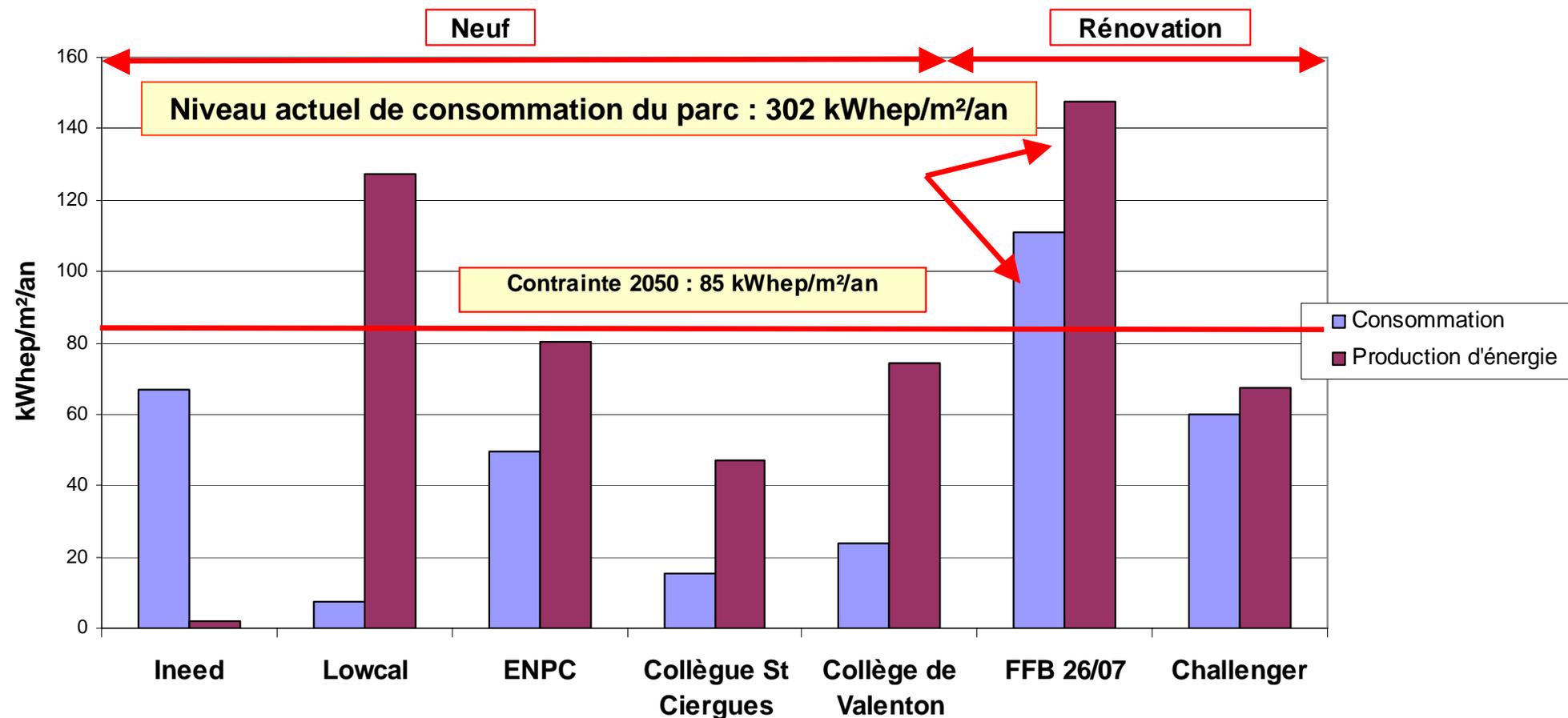
Conclusion

Objectifs comparés de consommation et de production d'énergie Cas des logements



Toutes les opérations de logements ont un niveau de consommation très inférieur à l'objectif 2050. Celle qui est dotée de photovoltaïque produit plusieurs fois ce qu'elle consomme.

Objectifs comparés de consommation et de production d'énergie Cas des bâtiments tertiaires



A une exception près toutes les **opérations tertiaires** ont un niveau de consommation très inférieur à l'objectif 2050. Sans aucune exception, toutes celles qui sont dotées de photovoltaïque compensent largement ce qu'elles consomment. **Elles sont donc toutes Near Zero Emission !**

Et maintenant ?....

1 – Les objectifs les plus exigeants en matière d'énergie et d'EGES sont aujourd'hui **techniquement accessibles** de façon courante, avec des techniques peu sophistiquées. Et ce n'est pas très compliqué avec du **bon sens**, de la **méthode**, de la **rigueur**, et une **approche globale** !

2 – Ce sont les choses simples qui marchent le mieux, ce sont les moins chères, les plus faciles à exploiter, à réparer et ce sont les plus durables. Ce n'est pas l'hyper technologie qui nous sauvera !

3 – Les deux bâtiments sans chauffage qui produisent plusieurs fois la totalité de ce qu'ils consomment sont aussi **moins chers que le marché** des bâtiments « aux normes » dans leur catégorie. Preuve que la simplicité a de belles vertus !

4 – Sans occasionner de surcoût, on voit apparaître un type de bâtiments qui n'a plus une « facture annuelle » d'énergie, mais une « **recette annuelle** »! Finie la crainte de l'envolée des prix du pétrole.

Il reste maintenant à construire ensemble les moyens d'un développement rapide de ces savoir-faire qui donnent espoir à tous les acteurs de la transition. Mais il faut pour cela s'y mettre tous ensemble dès maintenant, chacun dans son domaine de compétence !