

# *Réchauffement climatique, fin du pétrole, du constat à l'action*

Cycle de 4 conférences proposé par :

Thierry RIESER : ingénieur thermicien chez  
Enertech

Avec l'aide de Jérôme LEMOINE : ingénieur  
électricien chez Enertech

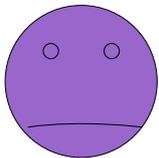
# *Réchauffement climatique, fin du pétrole, du constat à l'action*

## Plan des 4 séances :

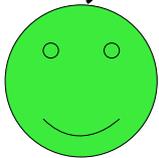
1 : Enjeux énergétiques : réchauffement climatique et fin du pétrole



2 : L'énergie au quotidien : transports et alimentation



3 : L'énergie au quotidien : consommation de biens, bâtiment. Bilan carbone personnel



4 : Vers une société durable : scénario négawatt, énergies renouvelables, et réflexions sociétales



# *Réchauffement climatique, fin du pétrole, du constat à l'action*

## **L'énergie au quotidien**

Séance 2 :

Chapitre I : Les transports

Chapitre II : L'alimentation



Séance 3 :

Chapitre III : La consommation de biens

Chapitre IV : Le bâtiment

Conclusion des séances 2 et 3 : présentation de  
bilans carbone personnels



# *L'énergie au quotidien*

## Chapitre III : La consommation de biens

A – Production

B – Consommation

C – Fin de vie

# Introduction



et la consommation responsable et qui luttent  
contre les décharges et les incinérateurs

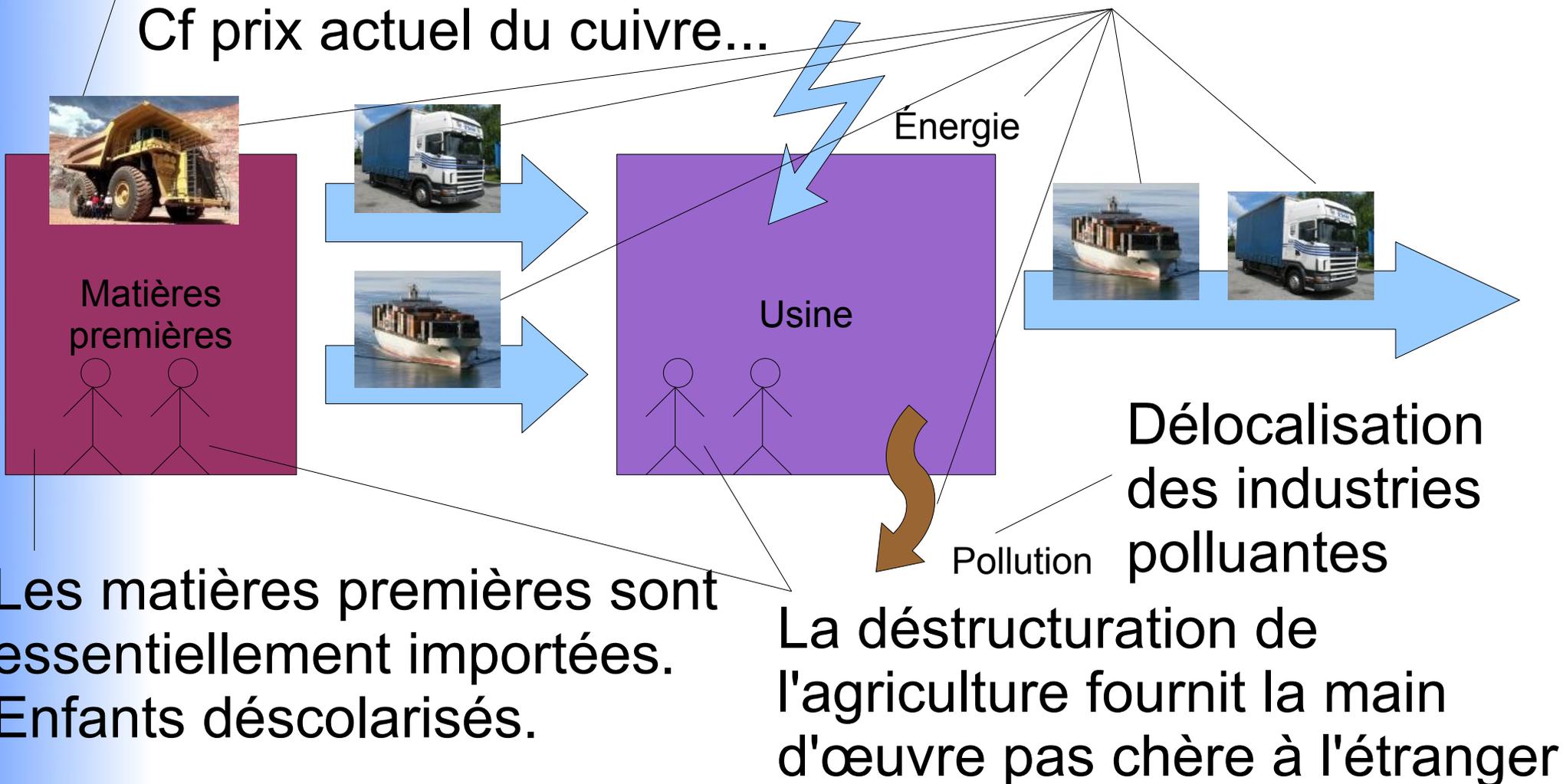
19:28 | 20:45

Story of stuff – à voir absolument !  
<http://www.storyofstuff.com/international/>

# Production de biens

En 30 ans nous avons utilisé  
1/3 des ressources disponibles  
Cf prix actuel du cuivre...

Impact climat



Les matières premières sont  
essentiellement importées.  
Enfants déscolarisés.

La déstructuration de  
l'agriculture fournit la main  
d'œuvre pas chère à l'étranger

Source : Story of stuff <http://www.storyofstuff.com/international/>

# *Pour une poignée de Coltan*

Le Coltan : minerai de colombium et de tantale, nécessaire pour la fabrication des portables, consoles de jeu...

Le meilleur minerai est en République Démocratique du Congo, dans la région du Kiwu.

- Exploitation minières illégales, trafic. La majorité des exportations rwandaises proviennent en fait de la RDC. Ce trafic aurait rapporté 250 millions de \$ à l'armée Rwandaise.

- Le Coltan finance le trafic d'armes
- Abandon d'activité agricole, migrations
- Déforestation du parc naturel du Congo
- Minerai radioactif, pollution des cours d'eau



Source : <http://www.aedev.org/>, association e-developpement, article de février 2004  
Vidéo : Du sang dans nos portables – sur Dailymotion ou autre



# Zoom sur le PVC

Le seul plastique courant qui contient du Chlore

Chlore : 57% en poids de la résine. C'est l'usage le plus important du chlore.

Le Chlore est extrait du sel principalement par électrolyse. Pour isoler les ions chlorure on utilise soit une membrane soit du mercure liquide.

Assouplissant : le principal est le DEHP (di (2-éthylhexyl) phtalate). 15 à 60% du produit final. Classé toxique pour la reproduction de catégorie 2 par l'UE.

Le PVC est omni-présent en médecine. Pourtant des hôpitaux près de Vienne et de Stockholm ont pris l'initiative de le remplacer progressivement par des substituts.

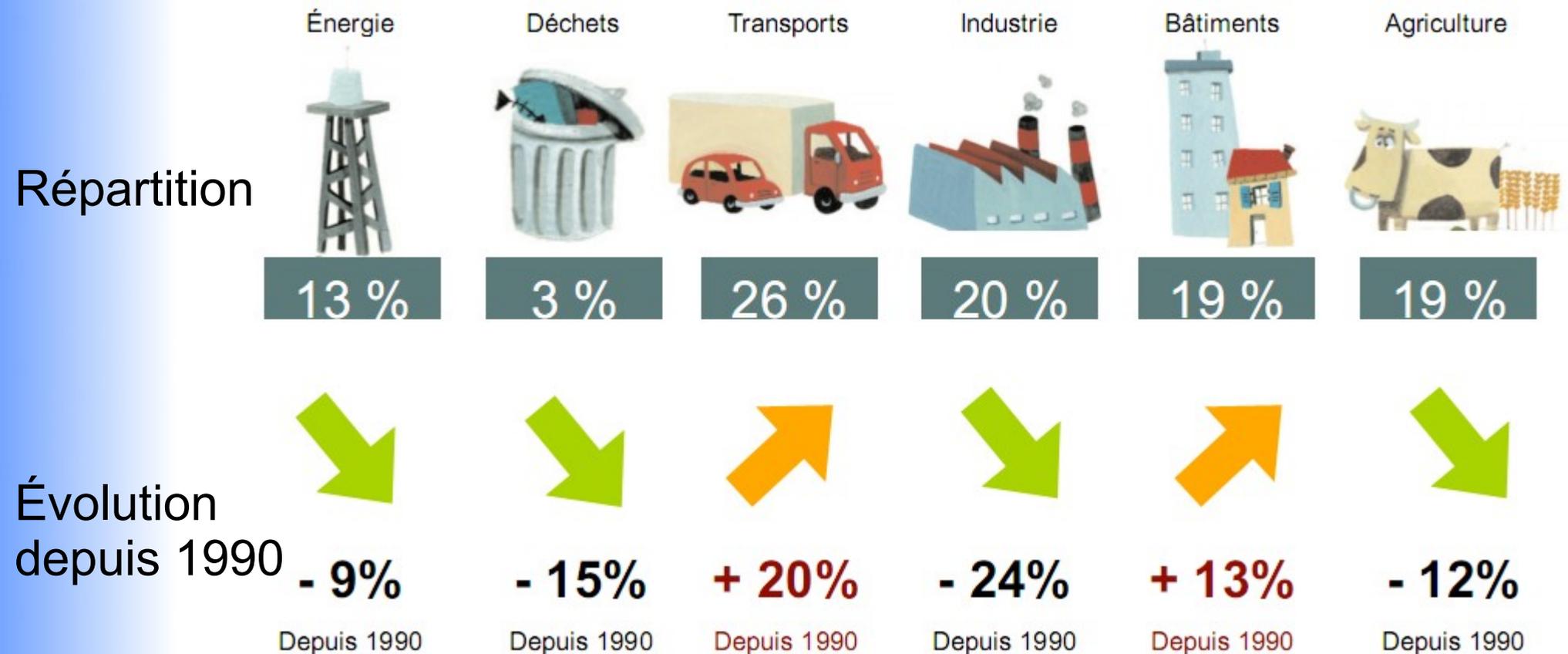
(« hôpital sans PVC »)

Source : document du CNIID « soigner sans PVC »

# Importance des importations

Certains se sont réjouis de voir réduire le bilan carbone de la France entre 2006 et 2008... ?

**Pas si simple...**



# Importations

Combien de GES dans mon PIB ?

En France en 2008 : 527 millions teqCO<sub>2</sub>

Source : Citepa,  
Illustration : Pascal Vilcollet

584 millions teqCO<sub>2</sub>

1550 millions teqCO<sub>2</sub>

X 3

Énergie



13 %

68

MtCO<sub>2</sub>eq

Déchets



3 %

16

MtCO<sub>2</sub>eq

Transports



26 %

137

MtCO<sub>2</sub>eq

Industrie



20 %

105

MtCO<sub>2</sub>eq

Bâtiments



19 %

100

MtCO<sub>2</sub>eq

Agriculture



19 %

100

MtCO<sub>2</sub>eq



+11 %

57

MtCO<sub>2</sub>eq

Estimation



+200 %

1051

MtCO<sub>2</sub>eq

Source : direction  
générale des douanes

Si l'on ajoute la fabrication des importations leur transport, on multiplie par 3 les émissions de CO<sub>2</sub> françaises par rapport à un bilan sur le seul territoire français

En réalité le bilan carbone de la France ne s'est pas amélioré, on a juste délocalisé la production.

Source : Etude Factor-X, sur la base de MIES, CITEPA, illustration Pascal Vilcollet, <http://www.terra-economica.info/GES-en-France-29-depuis-1990,12554.html>

# *Pas qu'une question d'énergie*

100 000 produits chimiques sont utilisés dans l'industrie.  
On en invente tous les jours.

**A ce rythme, seule une poignée d'entre eux sont testés pour leur impact sur la santé à long terme.**

Aucun n'est testé pour son impact commun avec un autre produit chimique présent par ailleurs.

Exemples : scandale sur le bisphénol A dans les biberons

Doutes actuels sur les PFOA, utilisés dans le téflon, le gore tex, les cosmétiques, les emballages (pizza). Risques de cancer et de baisse de la fécondité. Effet neurologique et immunitaire sur les souris et les rats.



<http://mondeactu.com/sante/pfoa-et-bpa-deux-composes-perfluores-montres-du-doigt-2049.html>



# *L'énergie au quotidien*

## Chapitre III : La consommation de biens

A – Production

**B – Consommation**

C – Fin de vie

# Question du prix

Comment un récepteur radio peut ne coûter que 5€ ?

Externalisation des coûts :

On ne paie pas à sa juste valeur :

- la matière première extraite du sol (gratuit !)
- le travail de ceux qui ont extrait la matière, qui ont fabriqué et assemblé le produit (made in China...)
- la pollution engendrée par la fabrication et par les transports (pas de réglementation internationale)
- l'impact des pollutions sur notre santé
- le travail de la caissière du supermarché



Source : Story of stuff <http://www.storyofstuff.com/international/>

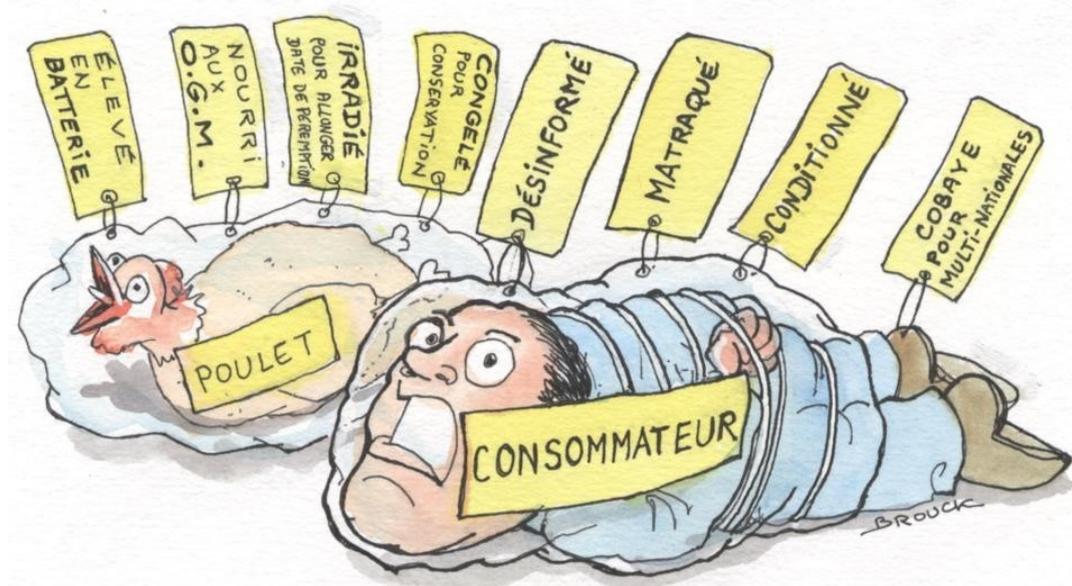
# Usure programmée

**NEW!**

Ce qui est nouveau est mieux  
=> Culte de la modernité.

Produits non durables,  
impossibles à réparer.

Incitation incessante à  
acheter



Même le message politique va dans ce sens :  
« moins de publicité c'est moins de consommation  
donc plus de chômage »

(entendu sur France Inter lorsque la publicité a été interdite sur les chaînes publiques)



# *Obsolescence planifiée*

## Obsolescence technique :

- Pas de pièces détachées, produits indémontables
- Sophistication croissante : plus facilement en panne, demande une compétence accrue du réparateur
- Systèmes d'exploitation ou programmes de + en + lourds, nécessitant des ordinateurs plus puissants

## Obsolescence psychologique :

- Design à la mode
- Matériaux de mauvaise qualité : dégradation esthétique
- Attrait pour le nouveau : ajout de nouvelles fonctions (générations de téléphones portables)

Source : Rapport du CNIID, Obsolescence programmée, le cas des DEEE, sept 2010

# Un système organisé

Victor Lebow,  
économiste du 20<sup>ème</sup> siècle :

« Il faut que nous convertissions l'achat et l'utilisation des biens en rituels, que nous y cherchions notre satisfaction spirituelle, la satisfaction de notre ego dans la consommation. **Nous devons consommer les choses, les brûler, les utiliser, les remplacer et les jeter à un rythme toujours plus rapide.** »



# L'économie « immatérielle »

L'économie liée à Internet n'est pas du tout immatérielle.

Internet fonctionne grâce à des serveurs, qui consomment de l'électricité, génèrent des déchets...



Aux États-Unis «les centres de données consomment 3% de l'électricité du pays»

Steven Chu, ministre américain de l'Énergie, 2010



# *L'énergie au quotidien*

## Chapitre III : La consommation de biens

A – Production

B – Consommation

C – Fin de vie

# Obsolescence planifiée

Aux USA, seulement 1% des biens achetés sont conservés plus de 6 mois par l'acquéreur.

Les autres 99% partent à la poubelle.

Source : Story of stuff <http://www.storyofstuff.com/international/>

En France, nous produisons en moyenne 543 kg de déchet domestiques par an dont 16 à 20 kg de déchet électronique.

Source : Eurostat, 2008 et ADEME

Les téléphone portables sont changés en moyenne tous les 20 mois, alors qu'ils peuvent fonctionner 4 ans.

Source : Rapport du CNIID, Obsolescence programmée, le cas des DEEE, sept 2010

# « Sac à dos écologique »

## Le sac à dos écologique de quelques produits et matériaux<sup>15,16</sup>

Poids du produit	Poids du « sac à dos écologique »
1 kg d'acier	2,3 kg
1 kg de cuivre	15 kg
Puce d'ordinateur de 0,09 g	20 kg
Ordinateur portable de 2,8 kg	434 kg

Les déchets domestiques sont la partie visible de l'iceberg :

Déchets générés avant et après utilisation par le consommateur

Source : Rapport du CNIID, Obsolescence programmée, le cas des DEEE, sept 2010  
D'après Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH : « Infobrief Forschungsgruppe nachhaltiges Produzieren und Konsumieren », 2008 et ADEME : « Economiser les ressources naturelles de la planète », 2010

# L'enfouissement

Lixiviation : l'eau emporte le « jus » dans les nappes ou les rivières alentour

Fermentation : production de méthane. GWP 21 fois supérieur au CO<sub>2</sub>.

Son captage devient obligatoire sur les nouvelles décharges. Brûlé le plus souvent.

Solution : compost, voire tri et méthanisation : production de biogaz  
30 digesteurs en France contre 5000 en Allemagne : attente d'un tarif de rachat de l'électricité...

Source pour le biogaz : [www.actu-environnement.com](http://www.actu-environnement.com), Dec 2010, d'après ADEME, et Syndicat des Energies renouvelables



Exemple de torchère  
<http://www.fairtec.fr>

# L'incinération

## Production de dioxines

Classées cancérigène par l'OMS  
Très stables, solubles dans les graisses => lait maternel

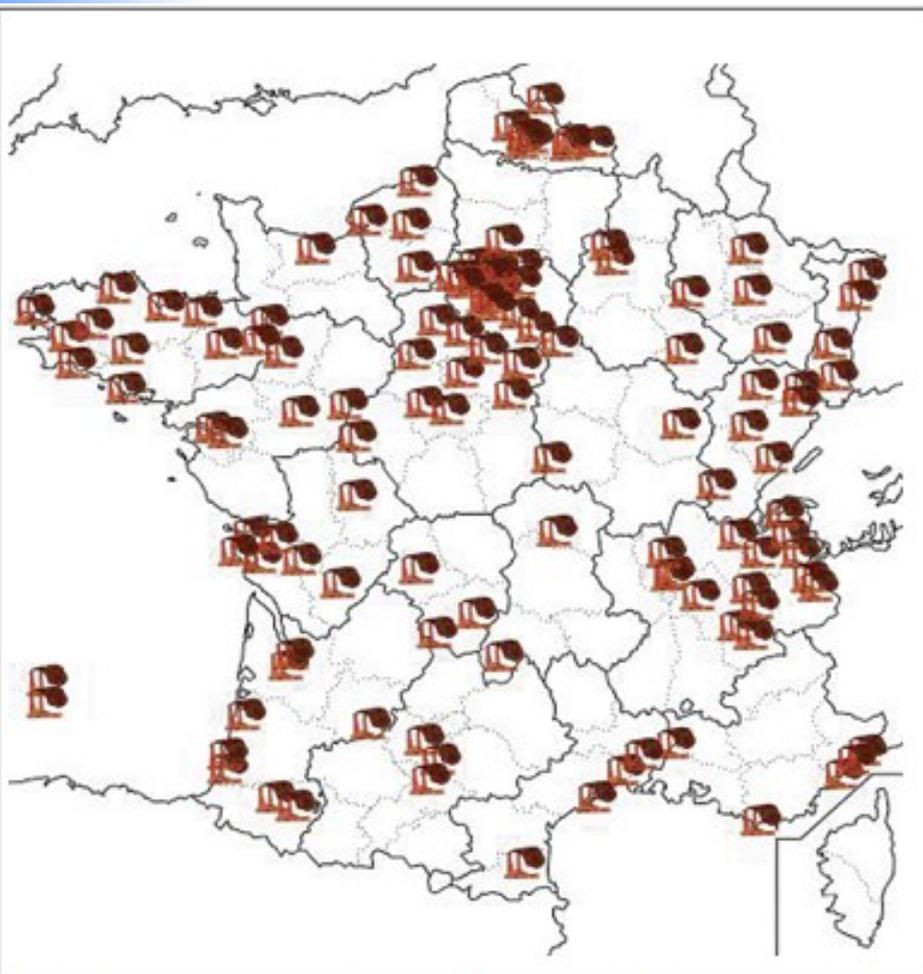
Source : [www.caducee.net](http://www.caducee.net)

## « Valorisation » énergétique

Matières organiques : humides  
=> composter, méthaniser

Matières plastiques :  
=> recycler (énergie grise)

Source : Document du CNIID sur l'incinération



La France possède le plus grand parc d'incinérateurs en Europe  
<http://www.france-incineration.org>

# Dioxines

Institut de Veille Sanitaire : reconnaît la présence de dioxine dans la population et dans le lait maternel, mais en minimise l'impact sanitaire.

Habiter près d'un incinérateur n'expose pas plus à la dioxine (peu d'impact par inhalation).

En revanche la consommation d'aliments (surtout de graisses) en provenance d'une zone proche des incinérateurs a un impact mesurable.

Source : <http://www.invs.sante.fr/>, Étude d'imprégnation par les Dioxines, 2006

Un nourrisson reçoit environ 70 pg I-TEQ/kg/j contre une dose moyenne de 1,3 pg I-TEQ/kg/j pour les adultes.

Le rapport minimise cet impact (notamment en comparaison avec tous les bienfaits de l'allaitement).

Il reste inquiétant que les bébés soient les plus exposés.

Source : <http://www.invs.sante.fr/>, 65 question réponse sur les incinérateurs, 2005

# Le recyclage



Papier recyclé : 64% d'énergie en moins, moins de ressource prélevée à la nature

La grande majorité des emballages n'est pas encore recyclée en France : films, sachets, barquettes...

C'est un choix économique et non technique (ça se fait en Allemagne)

Très peu de bouteilles en verre sont consignées. C'est pourtant courant en Allemagne.

**Trier est essentiel**

Mais ce n'est pas une solution miracle

**Réduire – Réutiliser - Recycler**

Source : Document du CNIID sur le recyclage



# Où porter ses déchets ?

Verre : attention le verre de table (verre à eau, verre à vin...) ne se recycle pas !

L'essuie-tout, les mouchoirs jetables ne se recyclent pas.

Peintures, solvants, huiles de vidange, batteries

Lampes basse consommation. => déchetterie

Piles : => points de collecte (supermarché...)

Médicaments : => à retourner en pharmacie

Déchet électrique et électronique : => rapporter au magasin

Penser aux associations comme Emmaüs pour ce qui peut encore servir (meubles, vêtements...)

# Les déchets électroniques

Déchets électroniques exportés en Chine ou en Afrique où ils sont démontés, brûlés, plongés dans l'acide, par des travailleurs voire des enfants sans aucune protection respiratoire et à ciel ouvert.



Figure 3. Circuit board baking.



Source : Environmental Health Perspectives  
<http://ehp03.niehs.nih.gov/>

# Réutilisation

Pour porter / donner les objets encore utilisables dont on n'a plus besoin :



<http://www.freecycling.org> et <http://donnons.org>  
Emmaus et autres associations...

Sans oublier les dépôts-vente,  
les brocantes...

# Compost



Pour les adeptes des légumes frais...

Le compost est une solution idéale de valoriser les déchets organiques.



Il peut se décliner en vermicomposteur ou lombricomposteur utilisable dans un appartement.

# Zoom sur les couches

Un enfant met en moyenne deux ans et demi pour être « propre ».

Les couches jetables génèrent en moyenne 900 kg de déchet *direct* par enfant.



Source : Fiche d'information du CNIID « Couches pour bébé : écolo dès le berceau », 2009



Couches lavables : un gain économique et écologique !

Aujourd'hui elles sont très bien conçues et très pratiques (fermeture par bouton pression ou scratch, forte capacité d'absorption, séchage rapide...)



# *Conclusion*

« La meilleure façon de lutter contre la société, c'est d'arrêter de consommer et d'aller au supermarché »

Dominique Guillet

« Si personne n'en achetait, ça ne se vendrait pas ! » Coluche



# Agir

## Sobriété

Privilégier la qualité (durabilité)

Réemploi (achat d'occasion, SEL)

Éviter les produits suremballés, privilégier les consignes

Mutualisation des biens (relations de voisinage : prêt d'outils, coopérative d'habitant)

Les lois sur ces sujets (déchets électroniques, émissions des incinérateurs) se décident au niveau européen :

Se tenir informé : [www.actu-environnement.com](http://www.actu-environnement.com)

Lobbying écologique et citoyen : [www.avaaz.org](http://www.avaaz.org)



# *L'énergie au quotidien*

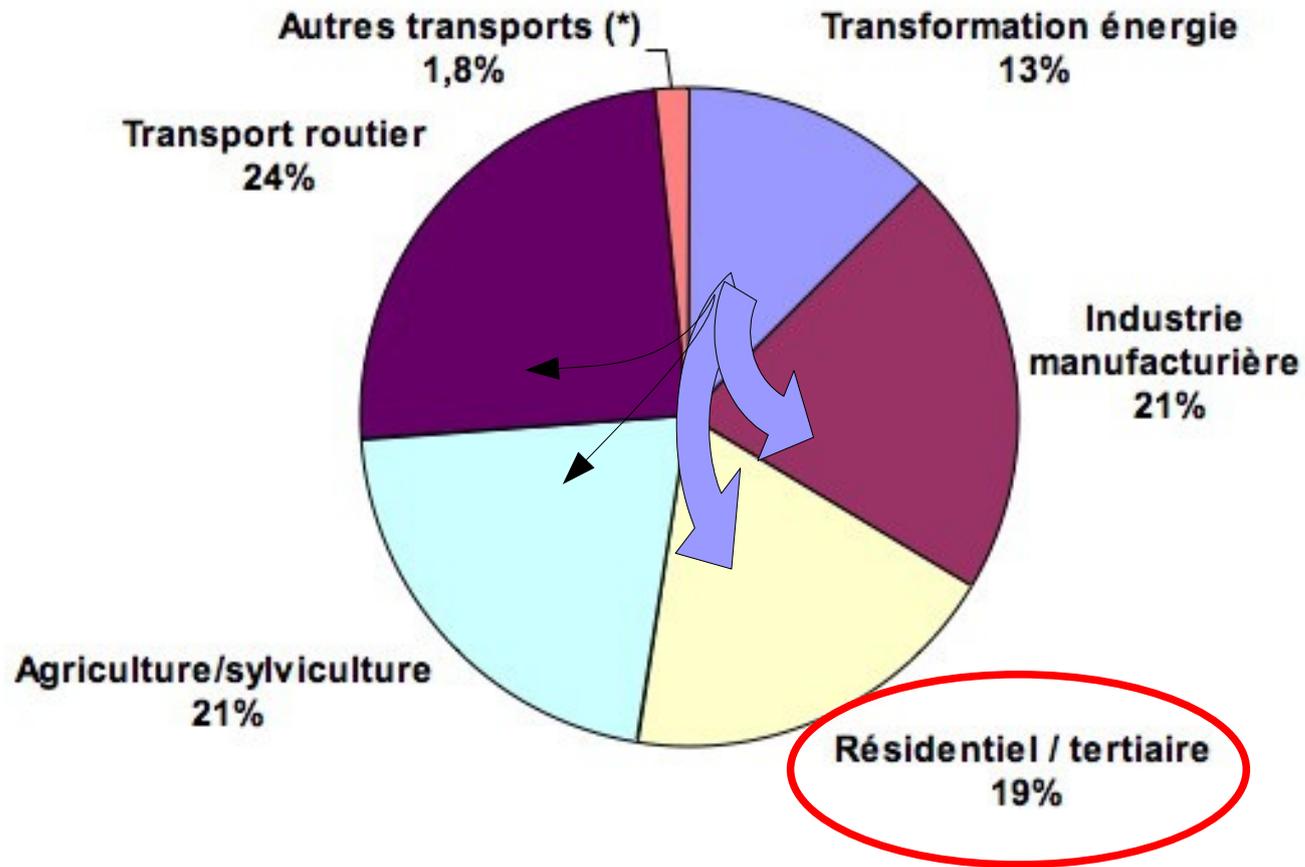
## Chapitre IV : Le bâtiment

A – Facteur 4 dans le bâtiment

B – La Solution Technique de Référence

C – Financer son projet

# Introduction

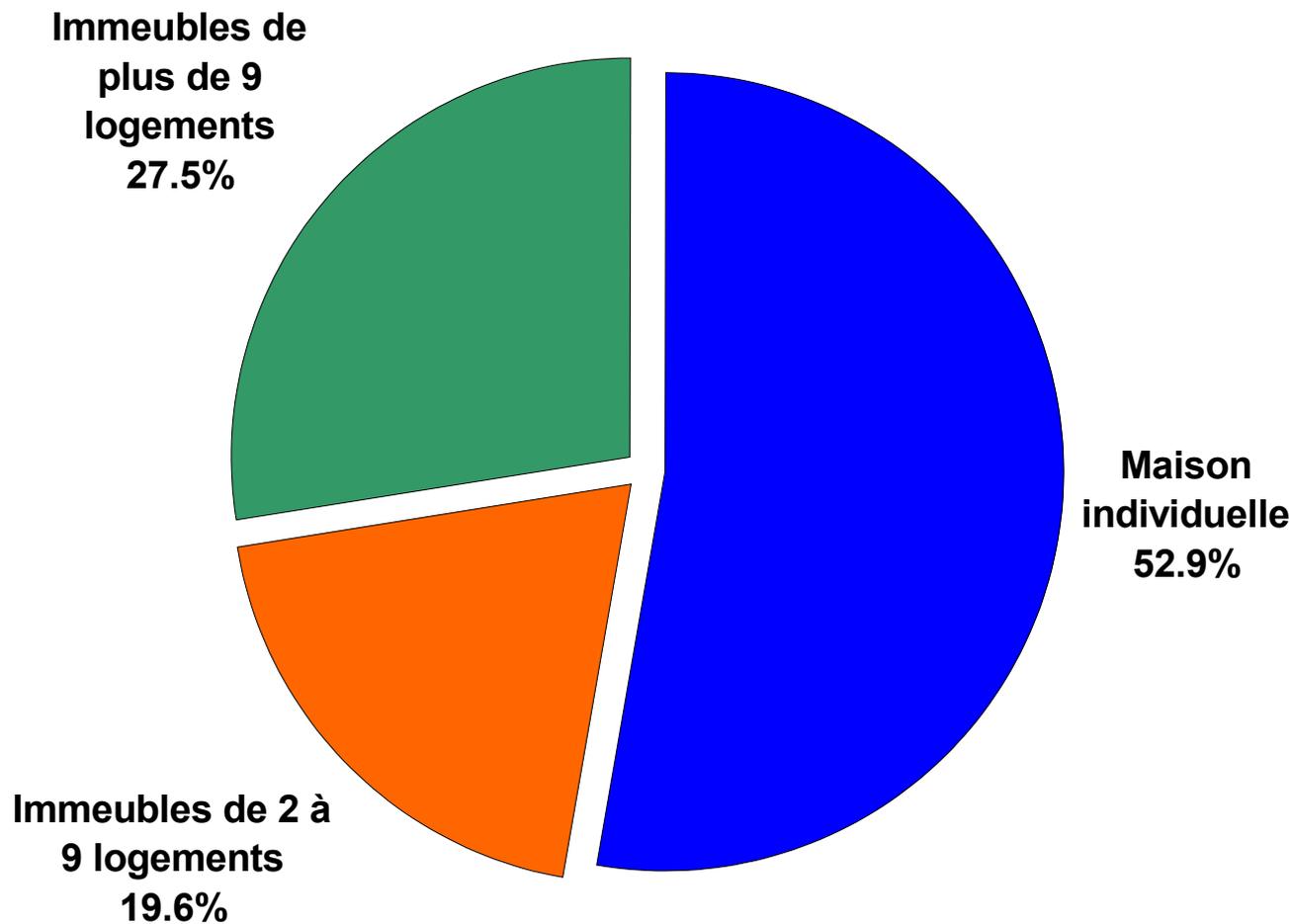


## Émissions de GES en France

Source : [www.manicore.fr](http://www.manicore.fr), d'après CITEPA, 2002

# Parc de logements

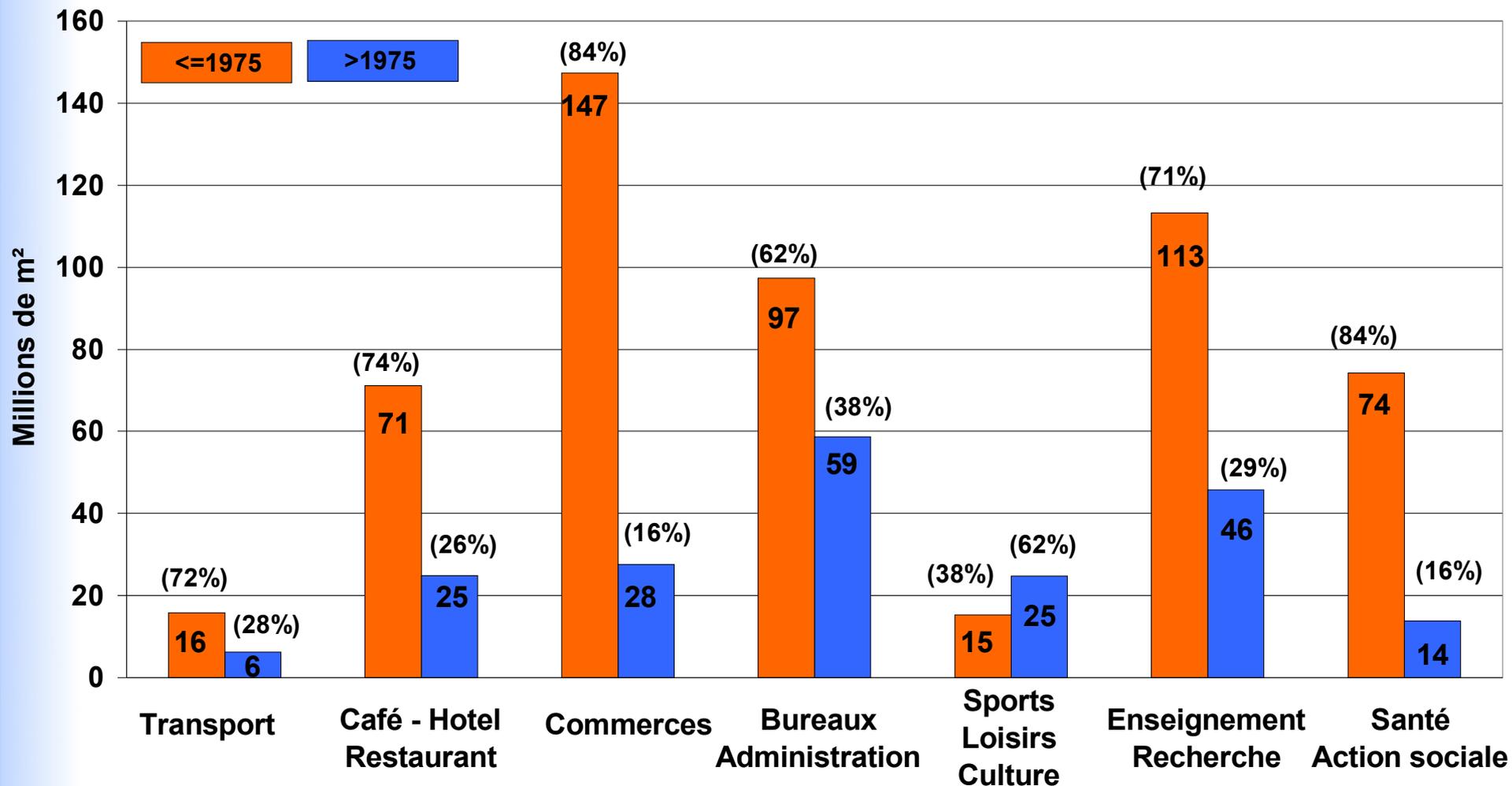
Structure du parc ancien (avant 1975) par typologie



Source : Enertech

# Bâtiments tertiaires

Tertiaire : part du parc ancien chauffé par type d'usage



Source : étude SES-Enerdata

# *L'enjeu : neuf ou rénovation ?*

On ne construit que 3% de bâtiment neuf par an.  
(surface en plus, peu de démolitions)

Il est important que les bâtiments neufs soient très performants, mais **l'enjeu principal pour réaliser le facteur 4 est la rénovation**

De plus, à chaque fois que l'on construit du neuf :

- **on consomme de l'énergie** (énergie grise : 25 à 50 ans de consommations énergétiques d'un bâtiment performant),
- **on stérilise des terres agricoles.**

# Quel objectif pour le logement ?

Consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire :

Secteurs	Usages	Bâtiments anciens avant 1975	Bâtiments neufs	Ensemble	Valeurs cibles
Résidentiel	Chauffage	328	90 à 100	210	50
	ECS	36	40	37,5	10

Facteur 4



NB : pour consommer 50 de chauffage, le besoin de chauffage doit être réduit à 35 (rendement global 70%).

Électricité à usage spécifique :

Logement : 1000 kWh<sub>EF</sub>/an/pers. Cible : 250 kWh<sub>EF</sub>/an/pers.

Source : Enertech

# Quel objectif pour le tertiaire ?

Consommations de chauffage et d'eau chaude sanitaire :

Secteurs	Usages	Bâtiments anciens avant 1975	Bâtiments neufs	Ensemble	Valeurs cibles
Tertiaire	Chauffage	209	155	196	50
	ECS	19	40	29	7.5

Électricité à usage spécifique :

Tertiaire : très variable. Cible : 10 à 130 kWh<sub>EP</sub>/an/m<sup>2</sup>.

Les usages les plus consommateurs sont toujours :  
l'éclairage, la bureautique (les PC), les auxiliaires de génie climatique et.... les appareils qui fonctionnent alors qu'ils pourraient être arrêtés !

Source : Enertech



# *En France : le Grenelle*

**Septembre/Octobre 2007 :  
GRENELLE de L'ENVIRONNEMENT : LA BOMBE!**

**En 2020 le parc de bâtiments dans son ensemble devra consommer 38 % de moins qu'aujourd'hui.**

**CELA IMPLIQUE QUE L'ON RENOVE  
PENDANT DOUZE ANS 900.000 LOGEMENTS/AN  
D'AVANT 1975 EN RAMENANT LEUR CONSOMMATION  
DE CHAUFFAGE A 50 kWh/m<sup>2</sup>/an.**

**Est-ce techniquement faisable ?**

Source : Enertech



# Contraintes

Principe 1 : Pour conserver le caractère architectural des centres villes, il faudra souvent isoler par l'intérieur (bien que ce soit très mauvais pour la thermique...). Pour cela, il faut pouvoir travailler dans des logements vides, donc **en vente**.

**Conclusion 1** : Pour rénover 10 millions de logements en 10 ans, il faut en rénover 1.000.000/an. Comme il se vend 470.000 logements anciens d'avant 1975 par an, **il faut obligatoirement rénover tous les logements de ce type mis en vente, et il faudra en plus trouver moyen d'en rénover presque autant en site occupé.**

Source : Enertech



# *Ne pas tuer le gisement*

Principe 2 : atteindre 50 kWh/m<sup>2</sup>/an demande des efforts. Spontanément, personne ne s'imposera cette cible. Pourtant, faire moins bien c'est détruire définitivement le gisement potentiel d'économie, car il ne sera pas rentable ultérieurement de faire une seconde fois les travaux.

**Conclusion 2** : il faut rendre obligatoire le niveau d'isolation à atteindre.

**Conclusion générale** : c'est par une **réglementation** et non par des incitations qu'on atteindra les objectifs assignés en 2020.



# *Surtout : faire simple*

Principe 3 : Dans le bâtiment, **seules les choses simples sont réalisables** et fonctionnent,

- Le marché de la rénovation thermique des logements est un marché à **72 % pour les artisans**. Il faut donc proposer des solutions adaptées (**pas de calcul**),
- Objectif : 50 kW.h/m<sup>2</sup> en moyenne.

**Conclusion 3** : Et si pour une fois en France on se simplifiait la vie sans produire une nième usine à gaz inapplicable? **Soyons pragmatique et efficace !**

Source : Enertech

# *D'où les Solutions de Référence*

- 1 – Tout le monde met en œuvre sensiblement la même chose. Certains logements consommeront 80 kWh/m<sup>2</sup>/an dans l'Est et d'autres 20 dans le Sud. La moyenne sera bien autour de 50.
- 2 – On peut offrir quelques variantes qui seront fonctions :
  - du type d'isolation : intérieure ou extérieure
  - de la qualité de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe,
  - éventuellement du type de vitrage et de menuiserie.
- 3 – On dispose alors d'un panel de **solutions simplissimes**. On réduit les coût car il n'y a pas de calcul. C'est une obligation de moyen : isolation additionnelle de résistance thermique standard.

Source : Enertech



# *L'énergie au quotidien*

---

## Chapitre IV : Le bâtiment

A – Facteur 4 dans le bâtiment

**B – La Solution Technique de Référence**

C – Financer son projet

# Isoler les murs - $R=4,3$ c'est quoi ?

	Conductivité en W/m.K	Épaisseur pour atteindre $R=4,3 \text{ m}^2.K/W$	Impact environnemental
Béton armé	2,5	<b>10 m</b>	-
Mur en pierre	0,8 à 1,4	<b>3,4 à 6 m</b>	+
Bois	0,11 à 0,17	<b>47 à 73 cm</b>	++
Brique monomur	0,13 à 0,24	<b>56 cm</b>	- (Énergie grise) + (Inerte)
Béton cellulaire	Env. 0,087	<b>37 cm</b>	+ (Inerte)
Ouate de cellulose	0,039 à 0,048	<b>17 à 21 cm</b>	++
Laine de bois	0,040 à 0,042	<b>17 à 18 cm</b>	++
Laine de verre	0,032 à 0,038	<b>14 à 16 cm</b>	-
Polystyrène	0,030 à 0,038	<b>13 à 16 cm</b>	--
Polyuréthane	0,024	<b>10 cm</b>	--- (cyanure)
Isolant sous vide	0,004 à 0,005	<b>2 cm</b>	?

# *Un mur en pierre est-il isolant ?*



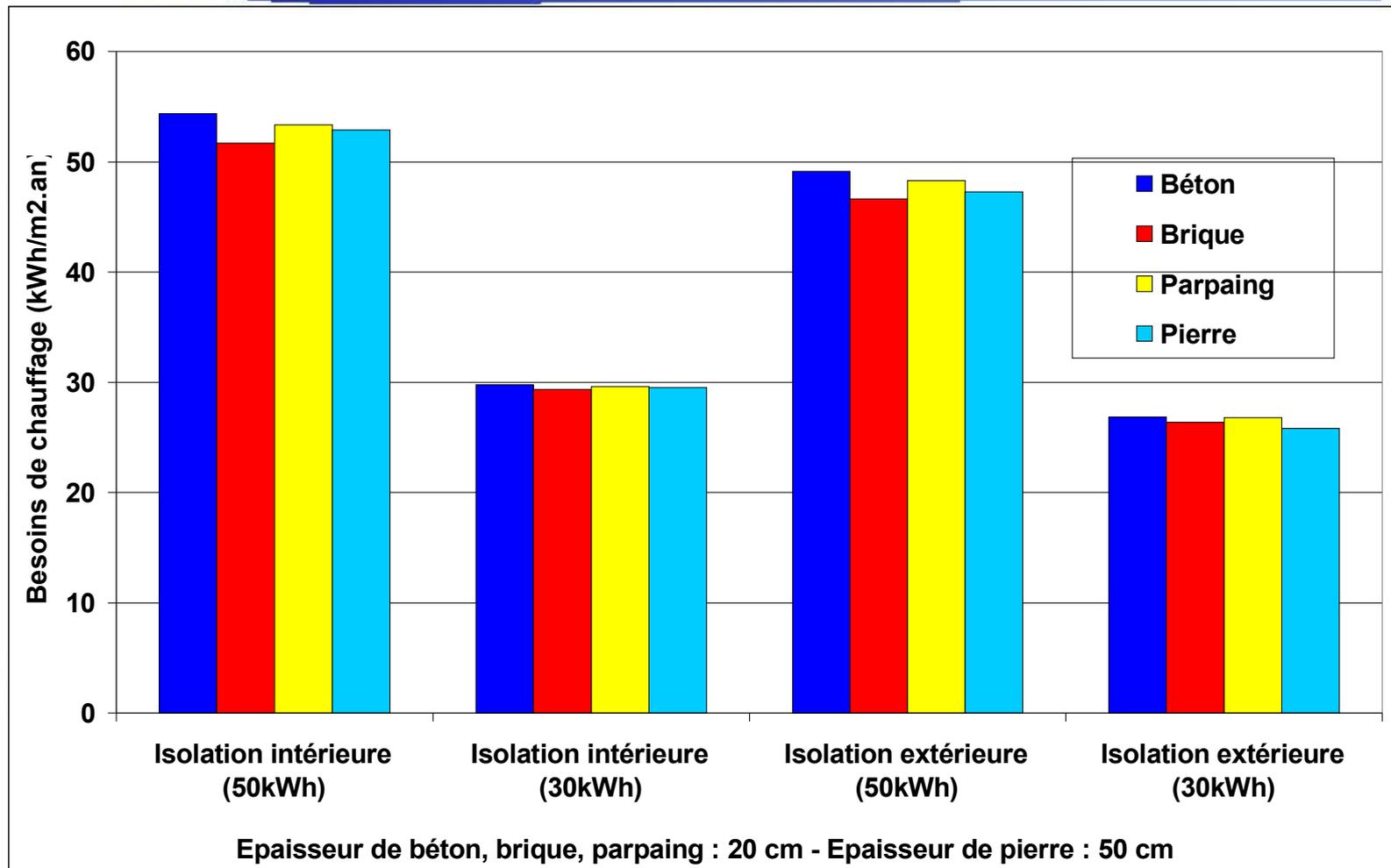
=



Mur de pierre de 50 cm = 1 cm d'isolant

Mur de béton de 20 cm = 0,25 cm d'isolant

# Rénovation : la nature du mur n'a aucune importance pour le niveau d'isolation



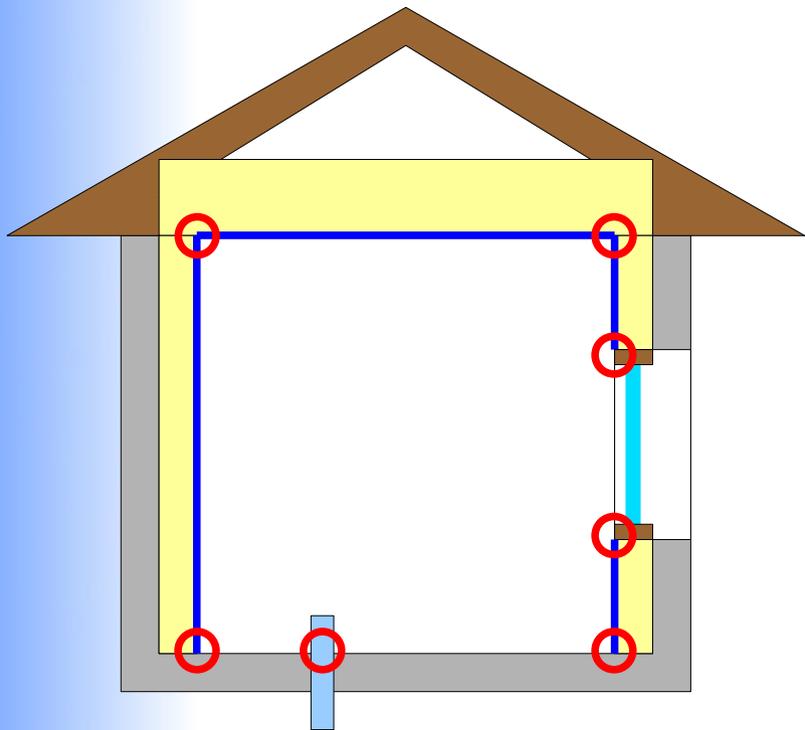
En revanche la nature du mur doit changer l'approche en terme de migration de la vapeur d'eau : en particulier les murs en pierre doivent rester perspirants.

Source : Enertech

# L'étanchéité à l'air c'est quoi ?

Il est inutile de construire une thermos si celle-ci est traversée par des courants d'air !

**L'étanchéité à l'air des bâtiments est essentielle en neuf comme en rénovation.**



On doit pouvoir faire le tour sans lever le crayon :

Plancher – mur - toiture

Liaison avec le dormant de la fenêtre + coffre de volet roulant

Tout percement : fourreau électrique, conduit d'eau, de chauffage, de ventilation

Source : Enertech

# L'étanchéité à l'air



Les défauts d'étanchéité laissent passer de l'air chaud qui se refroidit dans les murs en condensant la vapeur d'eau.

=> risque de pathologies :  
moisissures, pourrissement

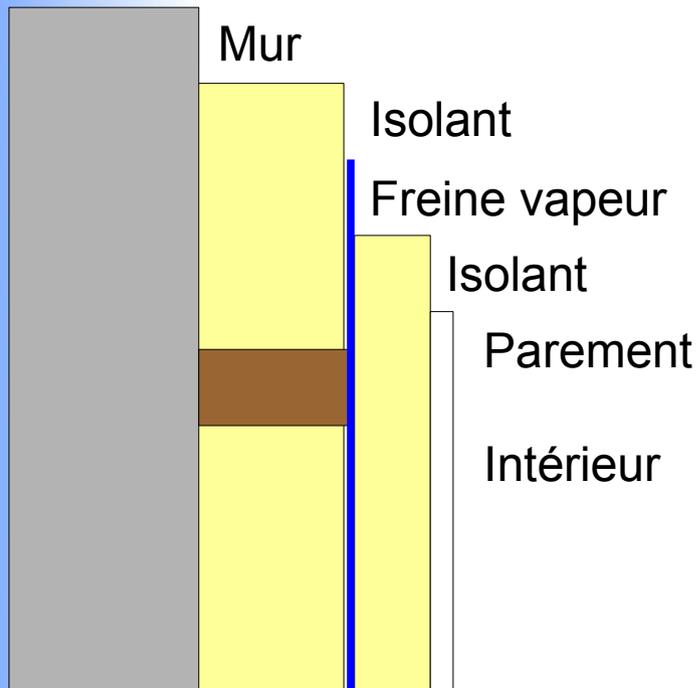
Au contraire, réaliser l'étanchéité à l'air permet de réguler le flux de vapeur d'eau sans le bloquer (freine vapeur = membrane perspirante)

Source : Enertech

# L'étanchéité à l'air

L'étanchéité à l'air doit être située côté « chaud » de l'isolant afin de le protéger.

- => en isolation par l'intérieur, freine vapeur nécessaire,
- => en toiture freine vapeur nécessaire sous l'isolant.



On peut cependant laisser environ 1/3 de l'isolant côté chaud sur le freine vapeur. On peut ainsi faire passer l'électricité sans percer le FV.

Au-delà un calcul dynamique est nécessaire (logiciel WUFI)

Source : simulations WUFI d'Enertech

# L'étanchéité à l'air



Fournisseurs :

- Ampack
- Doerken
- Illbrück
- Isover
- Pro Clima

...

# L'étanchéité à l'air



Test à la porte soufflante (blower door).

Objectif :

Dans le neuf :

$$n_{50}=0,6 \text{ vol/h}$$

(Passiv'haus, soit Q4 d'environ 0,24)

(BBC : Q4 = 0,6 à 1 m<sup>3</sup>/h/m<sup>2</sup> de parois  
déperditive hors plancher bas)

En rénovation on peut viser

$$n_{50}=1 \text{ vol/h}$$

Impact sur le besoin de chauffage : environ 3,5  
kW.h/m<sup>2</sup> par unité de n<sub>50</sub>.

# L'étanchéité à l'air



Test d'infiltrométrie  
Lyon, BE : Enertech

Attention les agglos même bien jointés ne sont pas du tout étanches !

=> prévoir un enduit (ciment)

De même les murs en pierre ne sont pas du tout étanches !

Éviter le ciment qui s'oppose à la migration de la vapeur d'eau.

=> prévoir un freine vapeur en isolation intérieur

=> enduit perspirant (chaux, plâtre) intérieur si isolation extérieure

# *Éléments de migration de la vapeur d'eau*

Pourquoi s'intéresser à la migration de vapeur d'eau :

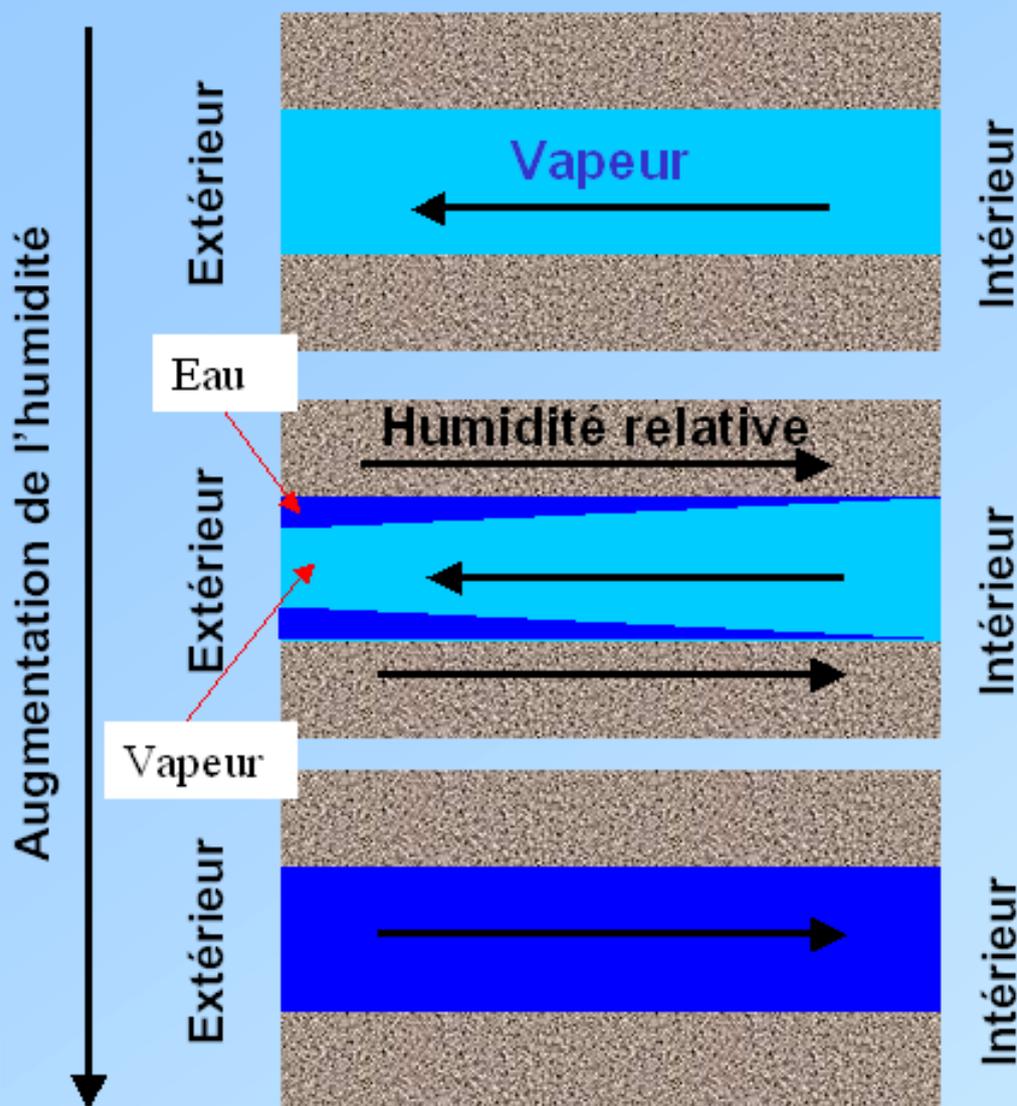
- 1 – Parce qu'en rénovation, ce qui « marchait » bien avant ne marchera pas forcément bien après les travaux de rénovation
- 2 – parce qu'il y a un risque énorme à rénover des millions de logements si l'on n'a pas très bien compris comment fonctionnait la migration de vapeur dans les parois
- 3 – parce que la migration de vapeur dans les parois est un sujet très peu étudié et très mal compris par la plupart des professionnels, d'où d'innombrables pathologies
- 4 – parce qu'il existe aujourd'hui de nouveaux outils de simulation dynamique permettant d'étudier de façon précise les phénomènes mis en jeu. Notamment grâce à WUFI (Fraunhofer Institut).

Source : Enertech

# Éléments de migration de la vapeur d'eau

## Les trois modes de diffusion de vapeur dans les parois

- 1- par gradient de pression
- 2 - par diffusion de surface
- 3 - par capillarité



1 - Diffusion de vapeur par différence de pression partielle de vapeur d'eau

2 - Par diffusion de vapeur et transport d'eau adsorbée

3 - Par capillarité

# Éléments de migration de la vapeur d'eau

Conclusions générales et reproductibles de nos études :

- 1 – le béton est un pare vapeur très efficace
- 2 – Hormis dans les murs en béton, la vapeur doit pouvoir circuler
- 3 – Il n'y a pas de différences très significatives entre les différents isolants thermiques pour la gestion de la diffusion de vapeur (les isolants naturels se comportent un peu mieux)
- 4 – Il faut abandonner définitivement les pare vapeur au profit des freine vapeur

CONCLUSION générale : il faut **limiter les flux de vapeur** dans les parois (par ventilation des locaux et utilisation de freine vapeur) mais **il ne faut surtout pas empêcher la vapeur de migrer** à l'intérieur des parois existantes

Source : simulations WUFI Enertech

# Changer les fenêtres

Menuiserie	Vitrage	Uw	Facteur solaire
Tout type	Simple	4,5 à 5,5	80%
Béton 20cm		U=4	
Pierre 50cm		U=1,8	
Alu	Double	1,8 à 1,5*	62%
	Triple	-	-
PVC	Double	1,6 à 1,4	62%
	Triple	-	-
Bois	Double	1,5	62%
	Triple	1,1 à 0,8*	51 %
Isolant R=4,3		U=0,22	

\* cadre isolé

Attention à l'étanchéité à l'air :

Exiger le classement A4 des menuiseries.

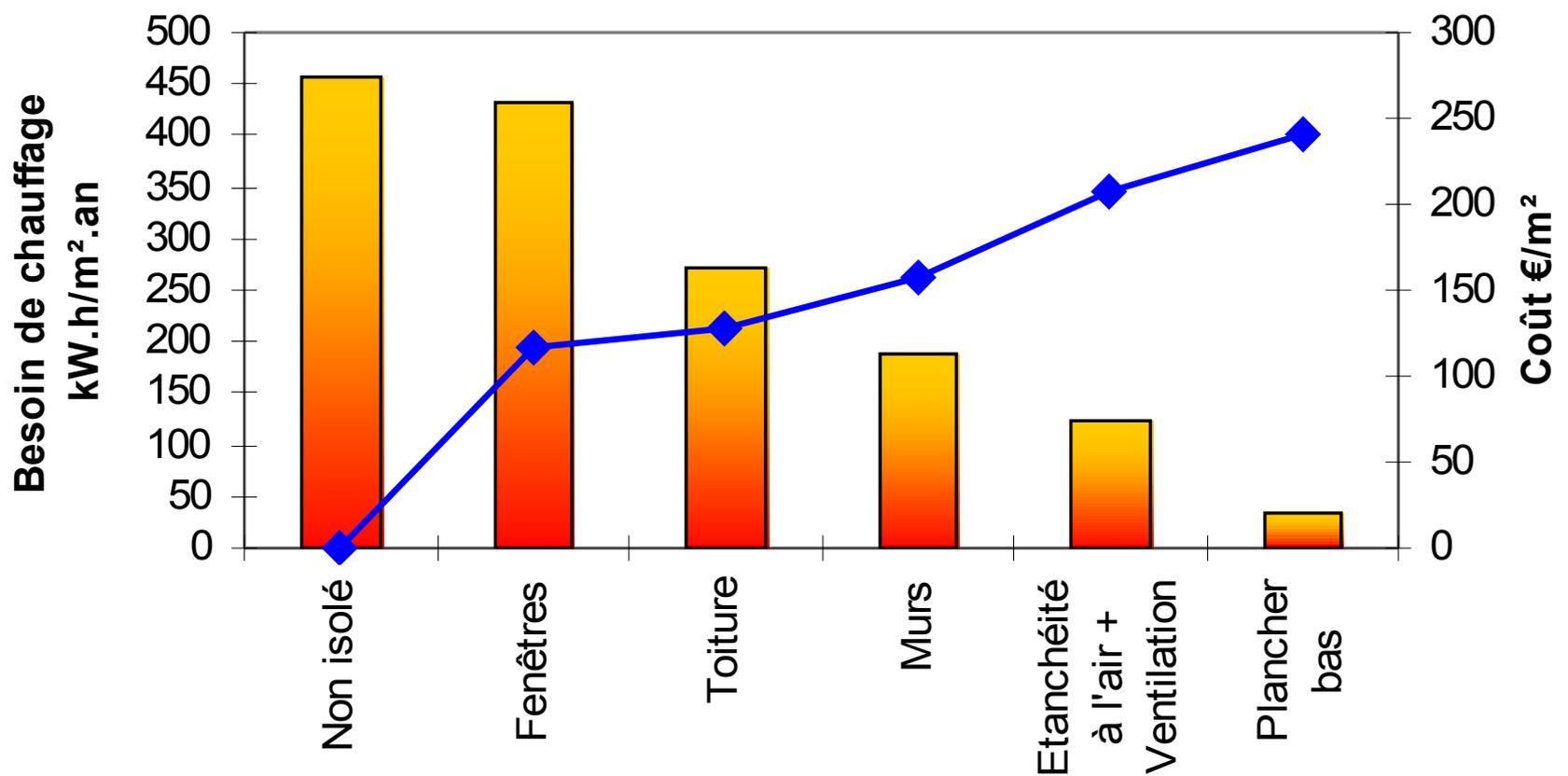
Une menuiserie A3 laisse passer 3 fois plus de fuites, A2 : 9 fois plus et A1 : 17 fois plus !



Illustration : triple vitrage bois-alu de Bieber

# Pourquoi ne pas me contenter de changer mes fenêtres ?

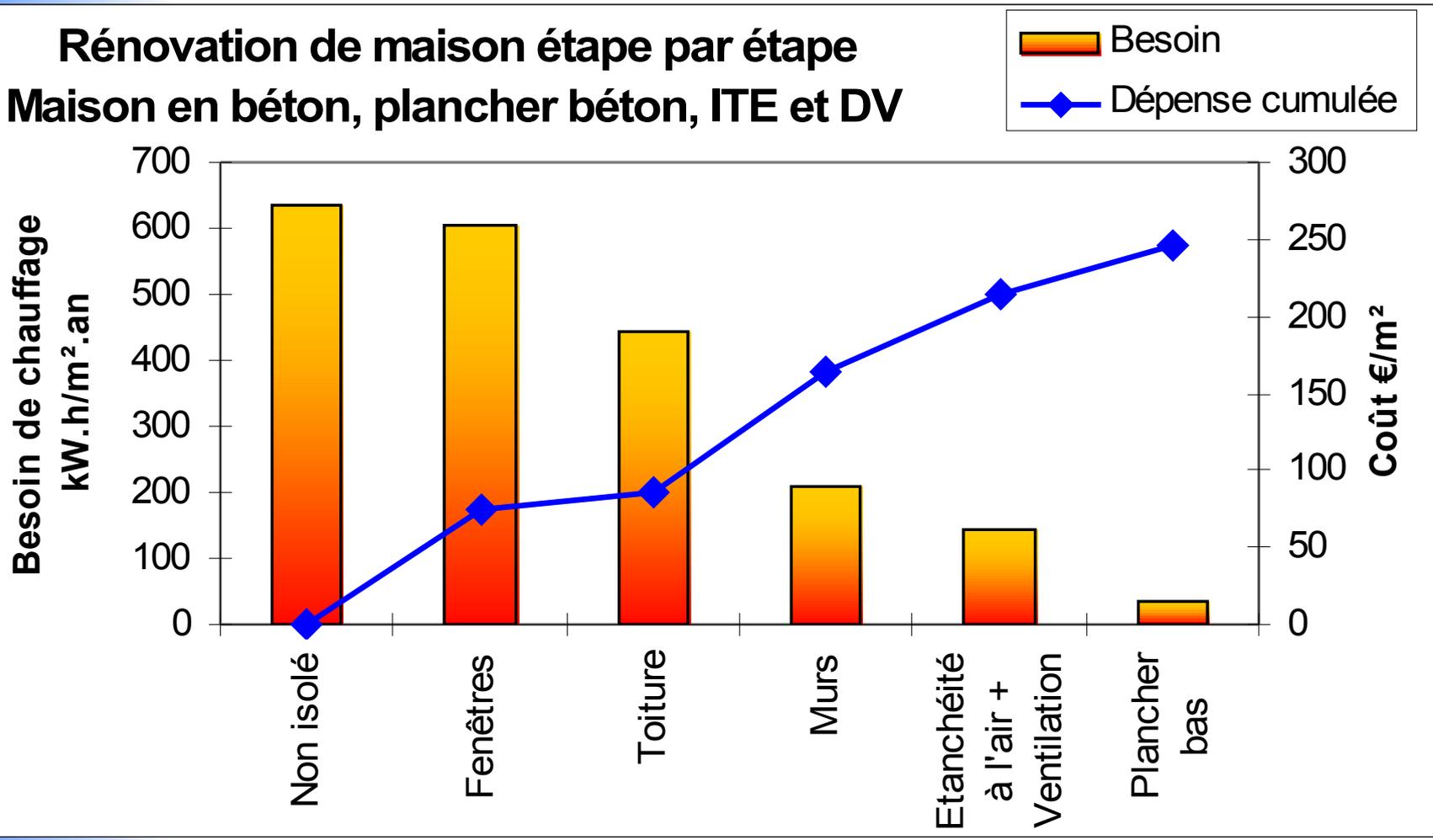
## Rénovation de maison étape par étape Maison en pierre, plancher bois, ITI et TV



Hypothèses : murs en pierre, isolation intérieure, plancher bois, changement de fenêtre sans impact sur étanchéité à l'air (qualité de l'air intérieur constante)

Source : ordres de grandeur, calcul et étude économique d'Enertech

# Pourquoi ne pas me contenter de changer mes fenêtres ? - bis



Hypothèses :  
murs en béton, isolation extérieure, plancher béton, changement de fenêtre sans impact sur étanchéité à l'air (qualité de l'air intérieur constante)

Source : ordres de grandeur, calcul et étude économique d'Enertech



# Quel type de ventilation

Le rôle de la ventilation :

- Assurer un renouvellement d'air continu (CO<sub>2</sub>, mais aussi COV, formaldéhide...)
- Ne pas apporter trop de froid !

**La ventilation naturelle** ne permet rien de tout ça :

- Soit il n'y a pas de vent et le débit est insuffisant, soit il y a du vent et le débit est jusqu'à 20 fois trop grand !
- Elle ne permet pas de récupérer la chaleur de l'air extrait : on perd ainsi 20 kW.h/m<sup>2</sup>.an de besoin de chauffage (sur un objectif de 35 en rénovation)

**Malgré son aspect attrayant, la ventilation naturelle n'est pas adaptée à un habitat sain et économe.**

Source : Enertech

# La ventilation

**La ventilation hygroréglable** : on économise l'énergie en réduisant le débit d'air. Est-ce si judicieux que cela d'un point de vue sanitaire?

*Le formaldéhyde est le composé organique volatil le plus abondant en masse dans les logements ».*

*Il est émis par les panneaux de particules, de fibres, en bois agglomérés, les livres et magazines neufs, les peintures à phase « solvant », la fumée de tabac, etc...*

*Le formaldéhyde est classé **cancérogène certain pour l'homme** depuis 2004 par le Centre International de Recherche contre le Cancer, dépendant de l'OMS.*

*AFSSET : valeur cible de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ;  **$50 \mu\text{g}/\text{m}^3$**  comme **valeur maximale admissible** pour une exposition de longue durée.*

Sources : Observatoire de la qualité de l'air intérieur, AFSSET, Haut Conseil de la

# La ventilation

*Pour respecter cette valeur maximale de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , le taux de renouvellement d'air doit être de  $0,6 \text{ vol}/\text{h}$ .*

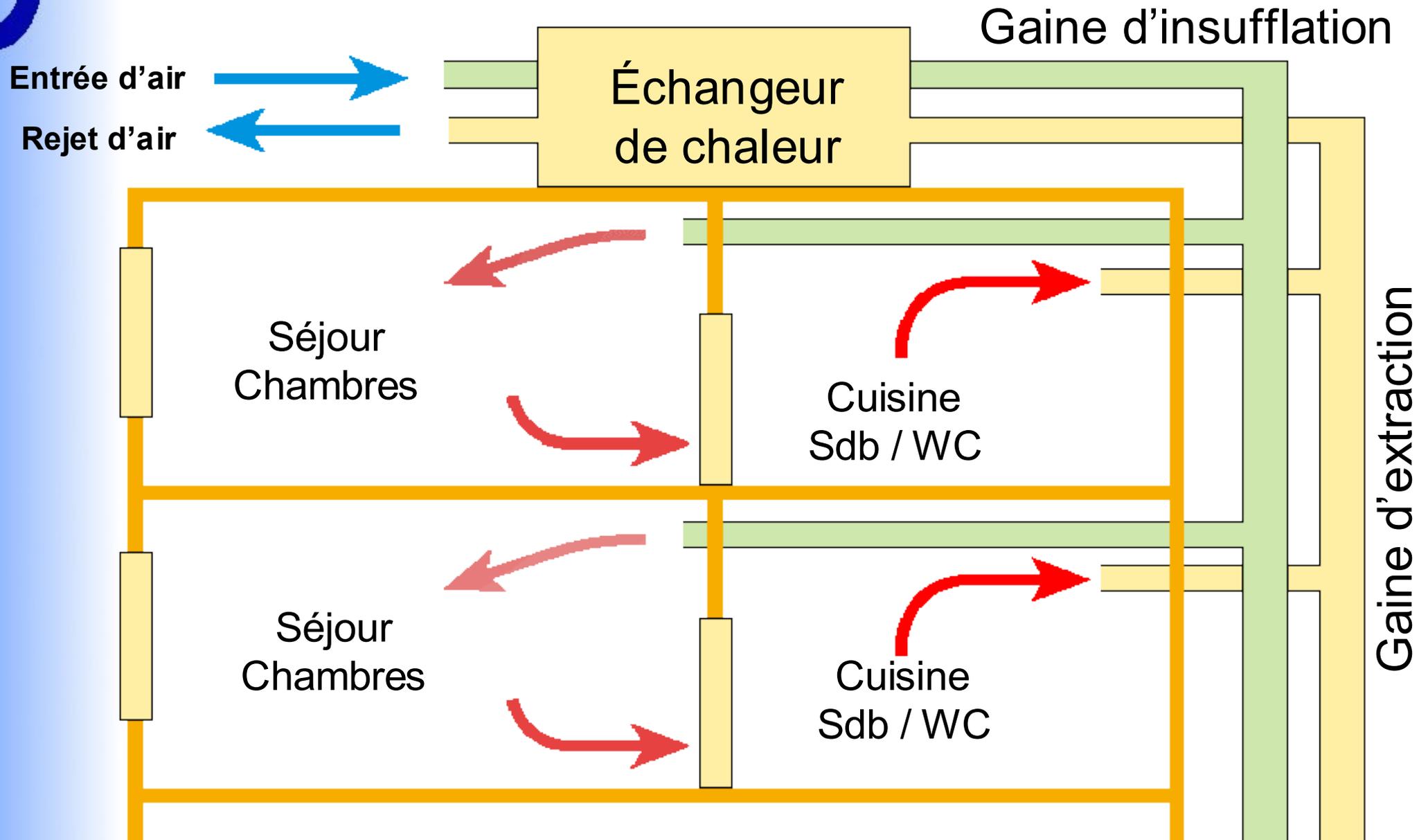
*Ceci est compatible avec les débits réglementaires hors hygro.*  
*En ventilation simple flux hygroréglable, la réduction du débit abaisse ce taux à  $0,3 \text{ vol}/\text{h}$ . => **ceci représente un risque sanitaire certain.***

Sources : « Formaldehyde as a Basis for Residential Ventilation Rates », Lawrence Berkeley National Laboratory – Avril 2002

Conclusion : **la ventilation double flux** (malgré ses difficultés de mise en œuvre et de maintenance) **est le seul moyen de limiter les pertes de chaleur sans dégrader la qualité de l'air intérieur.**

On verra dans le calcul qu'elle est incontournable pour la rénovation très basse consommation (enjeu  $20 \text{ kW}\cdot\text{h}/\text{m}^2\cdot\text{an}$ ).

# La ventilation double flux



# *La ventilation double flux*

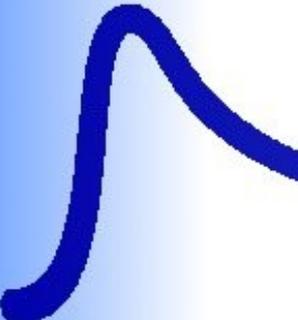
Ventilation collective,  
échangeur collectif



Ventilation collective,  
échangeur individuel



Ventilation individuelle



# *Solution technique de référence*

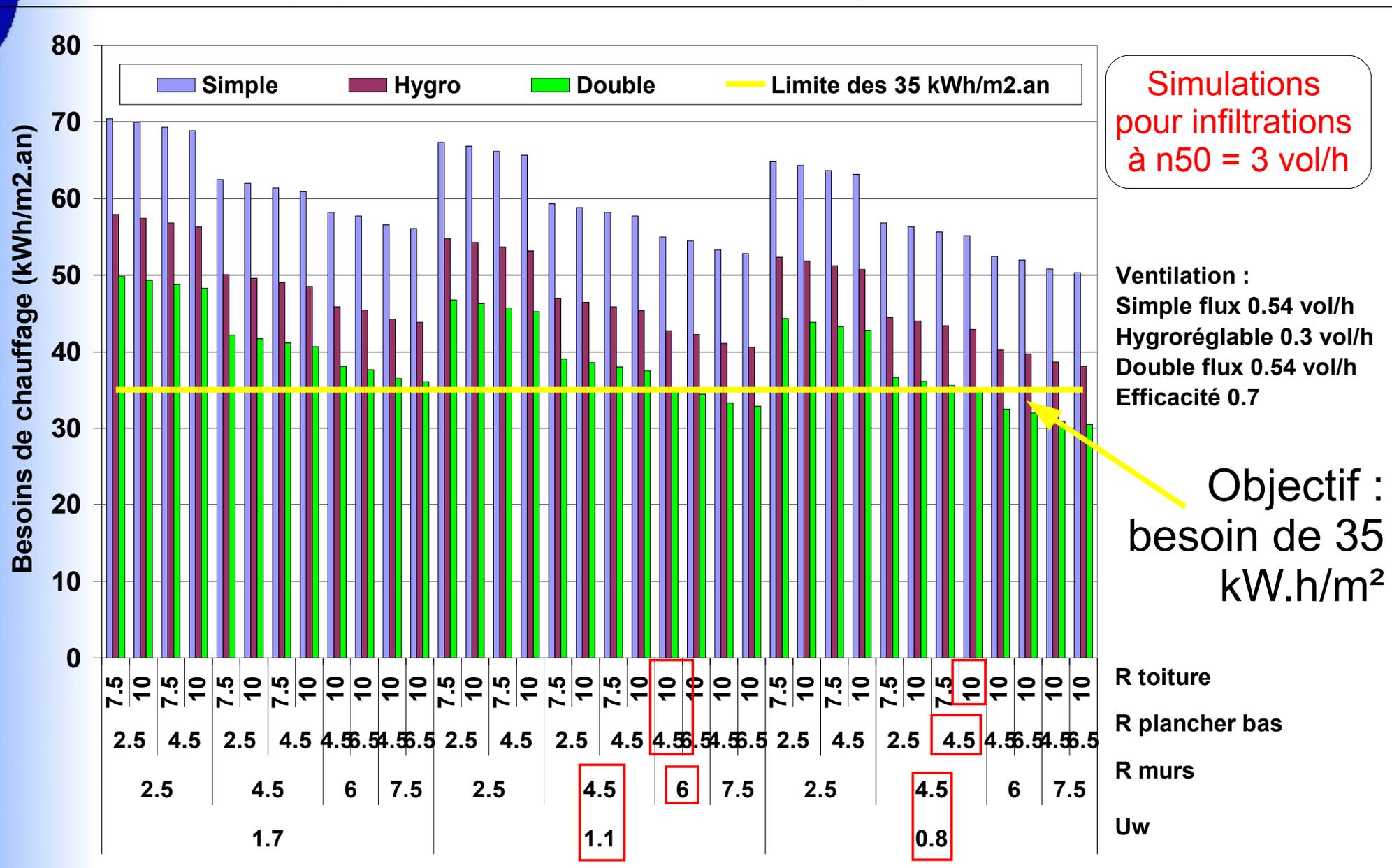
Calcul réalisé par Enertech :

Outil : simulation dynamique avec TRNSYS

- Validation de l'outil TRNSYS et des paramètres par comparaison avec un bâtiment instrumenté pendant un an,
- Choix d'un échantillon « représentatif » du parc existant : un pavillon 19ème siècle, un bâtiment collectif début XXème, et un bâtiment « béton » des années 70.
- Au total, **4400 simulations** d'une année au pas de temps de l'heure ont été effectuées.
- Calcul, pour chaque configuration technique, de la **valeur moyenne nationale** obtenue par pondération du nombre de logements de chaque type dans chaque zone climatique.

Source : Enertech

# Résultats de simulation



# Solution technique de référence

Isolation	Etanchéité à l'air	Ventilation	Vitrage	Résistance thermique isolant		
				Plancher	Mur	Toiture
Par l'intérieur	Non traitée (n50=3 vol/h)	Double flux	Triple Uw=1,1	4,5	6	10
			Triple passif Uw=0,8	4,5	4,5	10
	Traitée (n50=1 vol/h)	Double flux	Double Uw=1,7	4,5	4,5	10
			Triple Uw=1,1	2,5	4,5	7,5
Par l'extérieur	Non traitée (n50=3 vol/h)	Double flux	Double Uw=1,7	4,5	4,5	7,5
			Triple Uw=1,1	2,5	4,5	7,5
	Traitée (n50=1 vol/h)	Double flux	Double Uw=1,7	2,5	4,5	7,5
			Triple Uw=1,1	2,5	2,5	7,5

Source : Enertech

# Quel chauffage ?



## Radiateur électrique

Pour me chauffer de  $35 \text{ kW.h/m}^2$ , je consomme **au moins  $115 \text{ kW.h/m}^2$  d'énergie primaire**

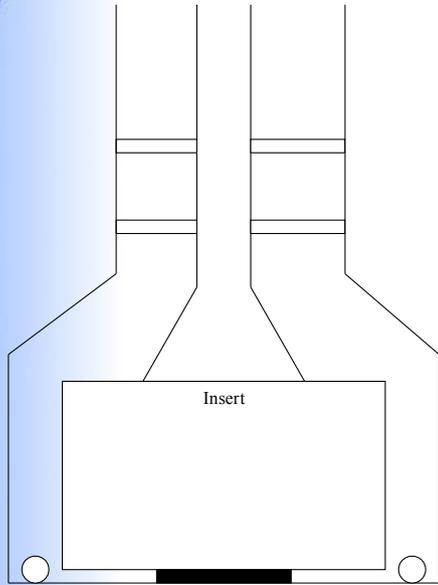
## Chaudière fioul ou gaz

Pour me chauffer de  $35 \text{ kW.h/m}^2$ , je consomme entre  **$50$  (condensation)** et  **$70$  (ancienne)  $\text{kW.h/m}^2$  d'énergie primaire**



Source : ordres de grandeur, calculs Enertech

# Quel chauffage ?



## Chauffage au bois

Maison non isolée : **non renouvelable**

Pour me chauffer de 35 kW.h/m<sup>2</sup>,  
Cheminée ouverte : plus de 100 kW.h/m<sup>2</sup>  
de bois : **non renouvelable**

Insert : attention à l'**étanchéité à l'air**

Poêle à bois ou à granulés **étanche à l'air,**  
**avec entrée d'air extérieur,** chaudière à  
granulés ou à plaquettes : **renouvelable,**  
donc 70 kW.h/m<sup>2</sup> de bois =  
**14 kW.h/m<sup>2</sup> d'énergie primaire**

Source : ordres de grandeur,  
calculs Enertech

# Quel chauffage ?



## Les pompes à chaleur

Pour me chauffer de 35 kW.h/m<sup>2</sup> :

Air-air : pertinent seulement sur bâtiment très basse conso (passif). Bon échangeur statique à privilégier.

Air-eau + radiateur : COP annuel 1,8, donc **77 kW.h/m<sup>2</sup>** d'énergie primaire

Air-eau + plancher : COP annuel 3, donc **42 kW.h/m<sup>2</sup>** d'énergie primaire

Eau-eau + radiateur : COP annuel 2,2 donc **63 kW.h/m<sup>2</sup>** d'énergie primaire

Eau-eau + plancher : COP annuel 4 et +, **< 30 kW.h/m<sup>2</sup>** d'EP.

Source : ordres de grandeur, calculs Enertech





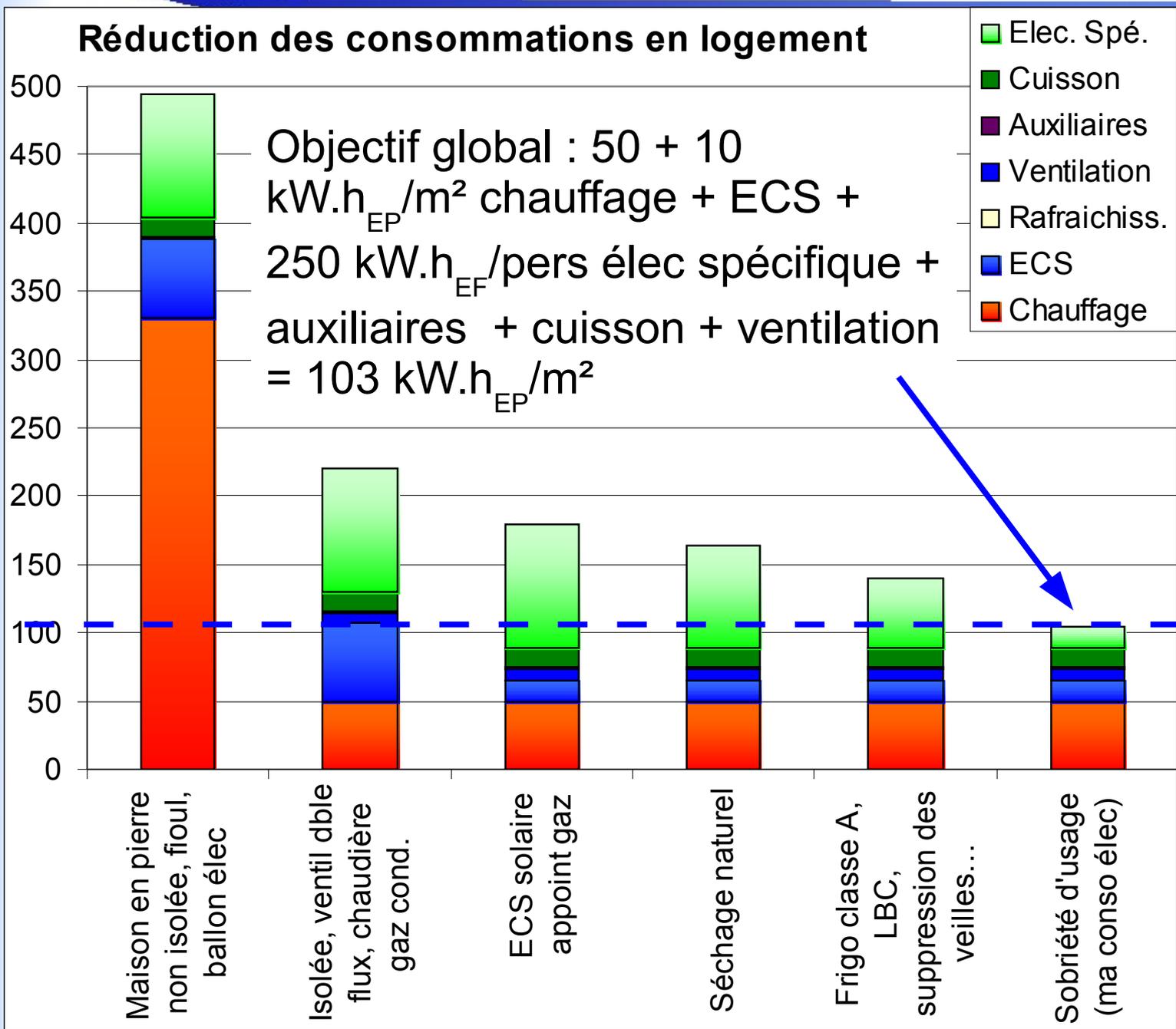
# Chauffage

Il est primordial de faire les choses dans l'ordre : isoler et améliorer la ventilation avant de changer la chaudière

**Sinon la chaudière sera trop puissante et fonctionnera très mal**

De plus, le calorifugeage de tous les réseaux est très important, ainsi que la régulation terminale (thermostats).

# Résultat : exemple d'ordre de grandeur



Source : ordres de grandeur, calculs Enertech



# *Ordres de grandeur comparés*

Ce qu'il faut en retenir :

Une fois un logement isolé, les consommations d'eau chaude et d'électricité deviennent prépondérantes.

# L'eau chaude sanitaire

## Réduction de la quantité utilisée

Sobriété : du bain à la douche, jusqu'au gant de toilette...

### Réduire le débit à confort égal

Limiteur de débit autorégulé

Douchette : 6 à 9 l/min

Évier : 6 l/min

Lavabo : 4,5 l/min

Lave-main : 2,5 l/min

**Économie : 25 à 40% pour 7€ le réducteur...**



Fournisseurs

Ecoperl, Neoperl, ...

Voir l'inventaire du CREAQ

[www.creaq.org](http://www.creaq.org)

Source : retour d'expérience Enertech

# L'eau chaude sanitaire

Produire l'ECS de façon économique

100 litre/j d'eau à 55°C (4 pers, avec réducteur, 150m<sup>2</sup>)

Ballon électrique : 58 kW.h EP / jour

Ballon chauffé par chaudière gaz : 31 kW.h EP / m<sup>2</sup>

Installation solaire + appoint élec : 41 kW.h EP / jour

Installation solaire + appoint gaz : 22 kW.h EP / m<sup>2</sup>

+ ballon surisolé => 17 kW.h EP / m<sup>2</sup>

NB : ne jamais surdimensionner une installation solaire :  
pour faire de l'eau chaude pour une maison, 3 m<sup>2</sup> suffisent.

**Avec plus de capteurs, risque de surchauffe.**

Source : ordres de grandeur,  
calculs Enertech

# Ordres de grandeur comparés

Ce qu'il faut en retenir :

Une fois un logement isolé, les consommations d'eau chaude et d'électricité deviennent prépondérantes.

Sur l'électricité spécifique (hors chauffage et cuisson), les appareils les plus gourmands sont :

- le froid => **solution : frigo de classe A**

- l'audio-visuel => **solution : sobriété sur la taille des écrans, supprimer les veilles inutiles, éteindre le poste quand on ne le regarde pas (moyenne de temps d'allumage : 6h/j en France)**

- le sèche linge => **à éviter à tout prix**

Source : campagnes de mesure Enertech

*Autres solutions pour réduire sa consommation d'électricité : voir sur le site d'Enertech*



# *L'énergie au quotidien*

## Chapitre IV : Le bâtiment

A – Facteur 4 dans le bâtiment

B – La Solution Technique de Référence

C – Financer son projet

# Logement neuf BBC

Majoration du **prêt à taux 0** de 15 à 20 000 € si le ménage peut en bénéficier (primo accédant sous plafond de ressource)

Majoration du **crédit d'impôt** sur les intérêts de l'emprunt : porté à 40% sur 7 ans.

Majoration de la réduction d'impôt Scellier : porté à 25% (concerne les investissements locatifs)

Exonération totale ou partielle de taxe foncière sur les propriétés bâties si la collectivité locale le décide

Bonification des prêts à la construction de logements sociaux

Source : « Les aides financières au logement, Septembre 2010, téléchargeable sur <http://www.developpement-durable.gouv.fr>

# Eco-prêt à taux zéro

Sans conditions de ressources.

Le « bouquet de travaux » doit **soit** combiner au moins 2 catégories parmi :

- Isolation de la toiture ( $R > 3$  en terrasse 4 en rampant, 5 en combles perdus)
- Isolation des murs  $R > 2,8$
- Menuiseries  $U_{jn} < 1,8$  (2 pour double fenêtre ou porte sur local non chauffé)
- Chaudière à condensation, PAC chauffage  $COP > 3,3$
- Chaudière bois classe 3, poêle ou insert de rdt  $> 70\%$
- Installation ECS solaire certifiée

**Soit** atteindre un niveau de performance selon calcul

ThCE-ex.

Source : « Les aides financières au logement, Septembre 2010, téléchargeable sur <http://www.developpement-durable.gouv.fr>

# *Eco-prêt à taux zéro*

Montant : montant des travaux éligibles plafonnés à  
20 000 € pour un bouquet de 2 catégories de travaux  
30 000 € pour au moins 3 travaux ou niveau de  
performance atteint

Attention il n'est plus possible de cumuler l'éco-prêt à taux zéro avec le crédit d'impôt « développement durable » sur les mêmes travaux.



Source : « Les aides financières au logement, Septembre 2010, téléchargeable sur <http://www.developpement-durable.gouv.fr>

# *Le crédit d'impôt - conditions*

Ne concerne que les habitations principales (propriétaire occupant ou propriétaire bailleur pendant au moins 5 ans).

Travaux réalisés par un professionnel.

Le montant du crédit d'impôt est plafonné sur 5 ans à 8000 € pour une personne seule, 16000€ pour un couple + 400€ par enfant à charge.

Attention les taux du crédit d'impôt ont changé en janvier 2011, le document « Les aides financières au logement de Septembre 2010 cité précédemment n'est plus à jour. Chercher « crédit d'impôt » sur <http://www.legifrance.gouv.fr/>





# *Le crédit d'impôt – réno*

Taux (sur la fourniture hors main d'oeuvre) en 2011 :

Pour un immeuble achevé depuis plus de 2 ans :

15 % chaudière à condensation

fenêtre, volet isolant, porte d'entrée

25 % fourniture et pose isolation de parois opaques

Appareils de régulation de chauffage

Source : code des impôts. Chercher « crédit d'impôt » sur <http://www.legifrance.gouv.fr/>

# *Le crédit d'impôt – neuf et réno*

Pour un logement neuf ou en rénovation :

22 % installation photovoltaïque



25 % pompes à chaleur (sauf air/air et géothermie) chauffage  
chauffage au bois ou chaudières à bois (sauf remplac.)  
raccordement à un réseau de chaleur (EnR ou cogé)  
récupération d'eau pluviale

40% pompes à chaleur géothermiques (chauffage)  
capteurs géothermiques pour PAC  
chauffe-eau thermodynamiques  
remplacement d'un équipement de chauffage au bois  
ou chaudière à bois par un nouvel appareil à bois

Source : code des impôts. Chercher « crédit d'impôt » sur <http://www.legifrance.gouv.fr/>

# *Eco subvention de l'ANAH*

Critères : Propriétaire-occupant, logement achevé depuis plus de 15 ans, engagement de le conserver comme résidence principale pendant six ans après la fin des travaux, **plafonds de ressources**.

Concerne l'isolation des combles et des murs, le remplacement d'une chaudière ancienne, réalisés par un professionnel du bâtiment pour un montant compris entre 1.500 € et 13.000 €.

Subvention :

20 % du coût des travaux si ressources intermédiaires,  
35 % + 1.000 € si ressources modestes.

70 % de l'éco-subvention est disponible dès le démarrage des travaux

Source : guide pratique rénovation sur le site de l'ANAH.



# *Autres*

TVA réduite à 5,5% sur les travaux de rénovation

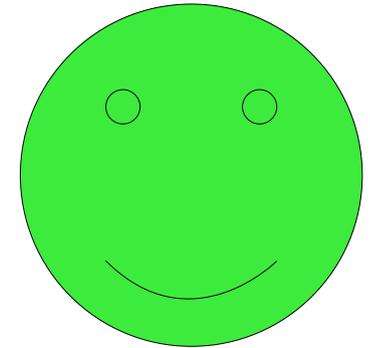
Aides des collectivités territoriales :

*Contactez les Espaces Info Energie (ADIL)*

# Conclusion – bâtiment

On sait ce qu'il faut faire.

On sait le faire avec un coût maîtrisé  
(voir nos études de coût  
[www.enertech.fr](http://www.enertech.fr))



Il ne manque « que » la volonté politique pour :

- rendre la rénovation thermique obligatoire
- imposer un niveau de performance permettant de ne pas tuer le gisement d'économies

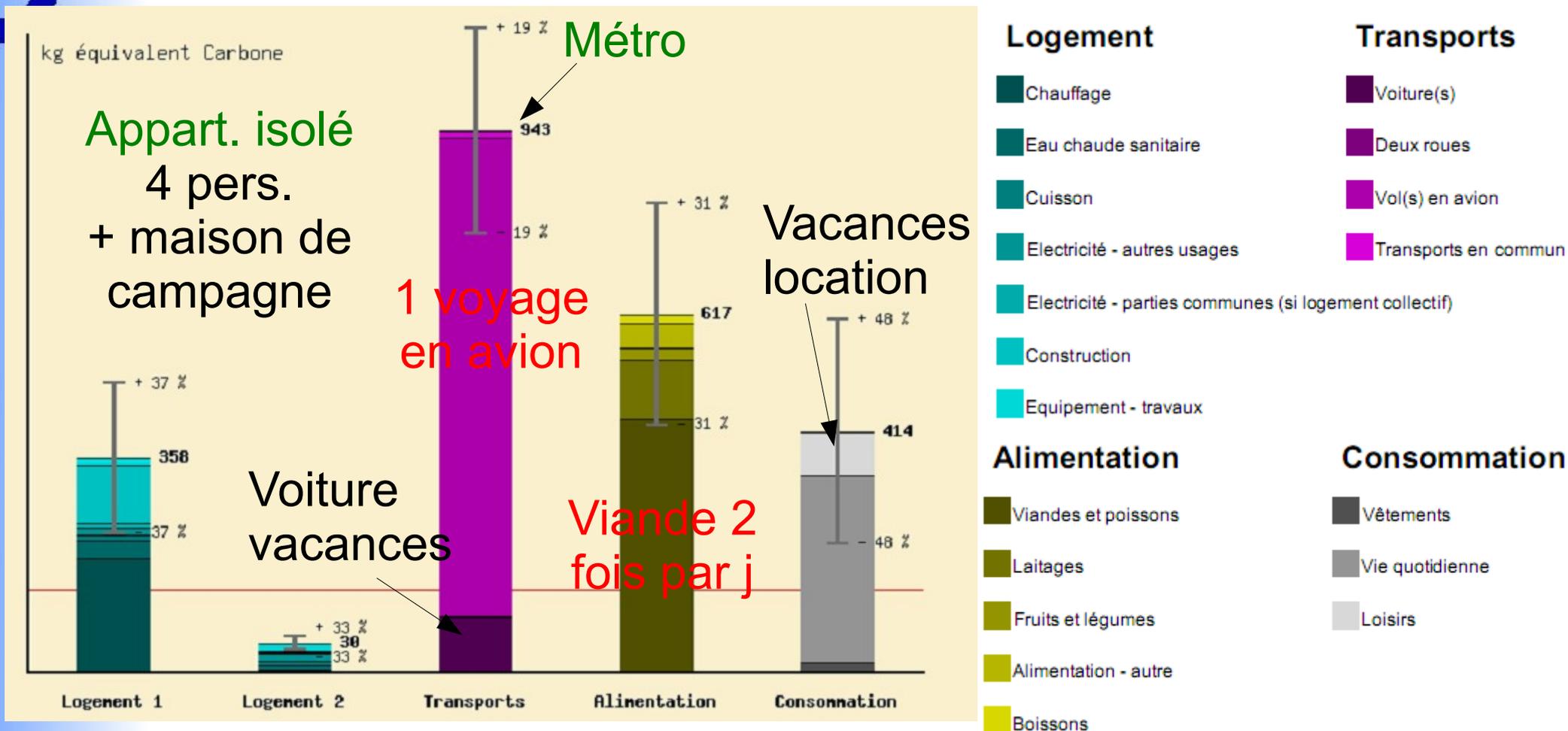
A thick blue line starts on the left side of the slide, curves upwards to a peak, and then curves downwards to become a horizontal line that spans across the top of the slide.

# *L'énergie au quotidien*

## Chapitre V : Conclusion

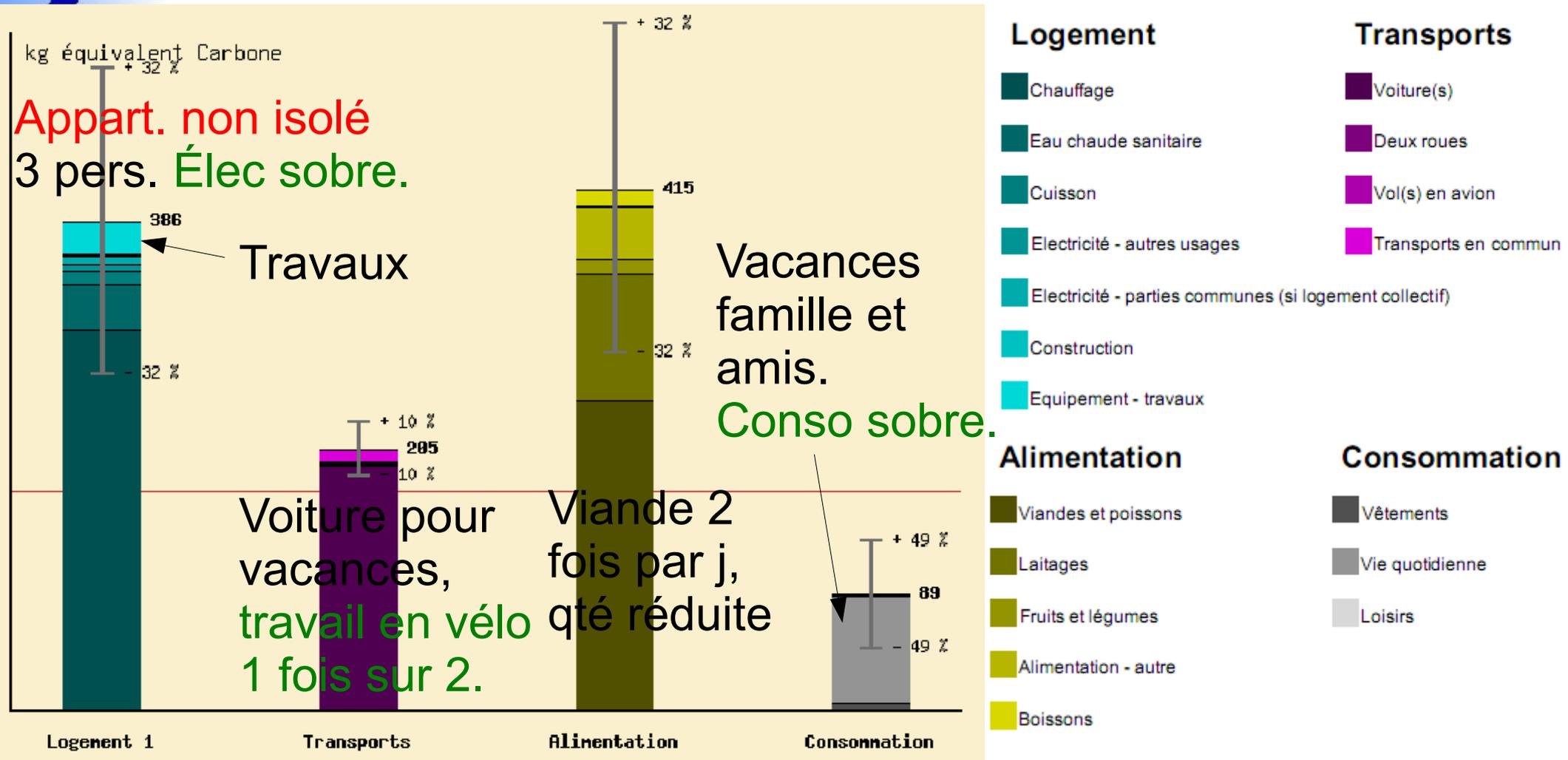
Présentation de Bilans Carbone Personnels

# Bilan Carbone Personnel



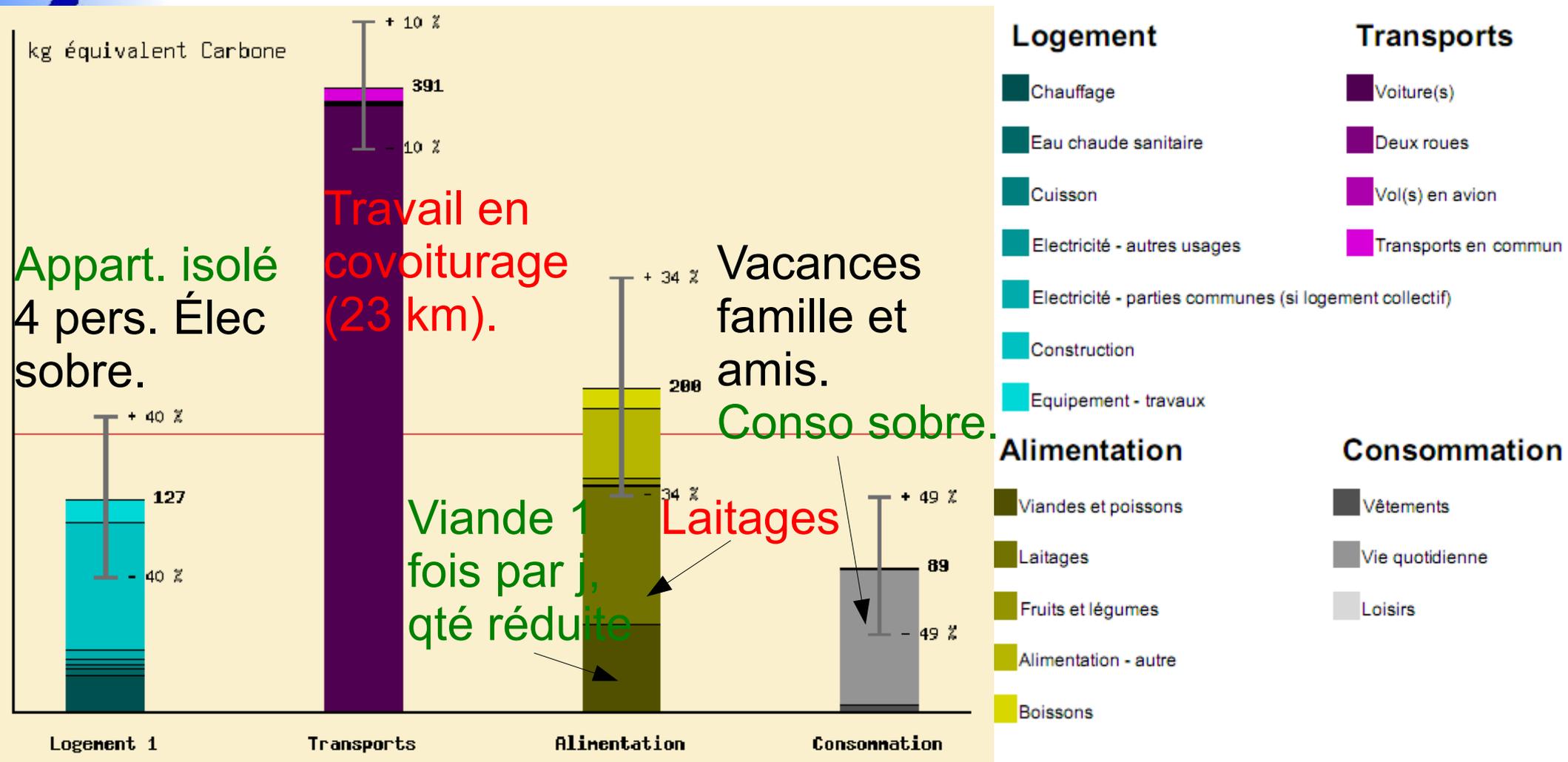
Bilan carbone 1 – Lyon, 1997 : 2363 kg éq C  
 Sans avion : 1523 kg éq C - Moyenne française : 2800 kg éq C

# Bilan Carbone Personnel

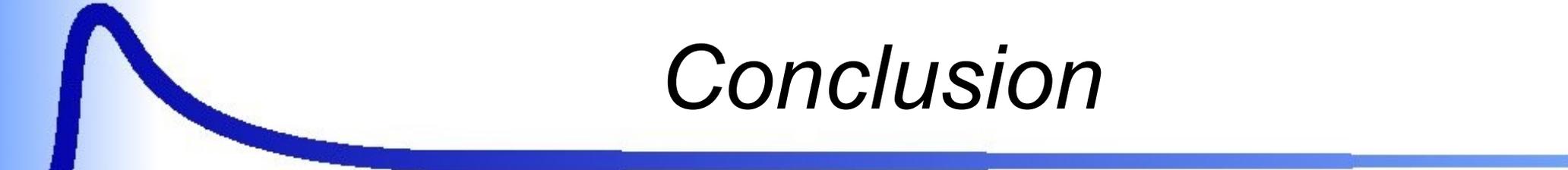


Bilan carbone 2 – Metz, 2007 : 1094 kg éq C

# Bilan Carbone Personnel



Bilan carbone 3 – Crest, 2009 : 807 kg éq C  
 Facteur 4 : 700 kg éq C...



# Conclusion

Le facteur 4 est tout à fait réalisable.

- Transports : pas de solution miracle. Une remise en cause des km parcourus sera nécessaire
- Alimentation : limiter la viande, privilégier le local et de saison
- Consommation : nous avons un vrai pouvoir. Acheter durable, réutiliser, partager.
- Bâtiment : priorité à la rénovation. Ne pas tuer le gisement par une « demi » rénovation.

La sobriété est indispensable (viande, électricité spécifique, biens de consommation)



# *Bibliographie – partie 3*

Story of Stuff : <http://www.storyofstuff.com/international/>  
(avec sous titres en français)

CNIID : Centre National d'Information Indépendant sur les Déchets - <http://www.cniid.org/> - de nombreux rapports sont disponibles + guide pratique à l'attention des élus

SEL : système d'échange local - <http://selidaire.org/>

# *Bibliographie – partie 4*



Enertech : <http://www.enertech.fr>

De nombreux rapports de campagne de mesure, guide de conception, guide sur les économies d'électricité etc.

disponibles :

- Diviser par deux sa consommation électrodomestique,
- Rapports de campagnes de mesures,
- Étude de coût rénovation à Mulhouse...

Construction paille : <http://www.compaillons.eu/>

Économies d'eau, <http://www.creaq.org/>

Appareils basse conso : <http://www.topten.ch/?page=français>

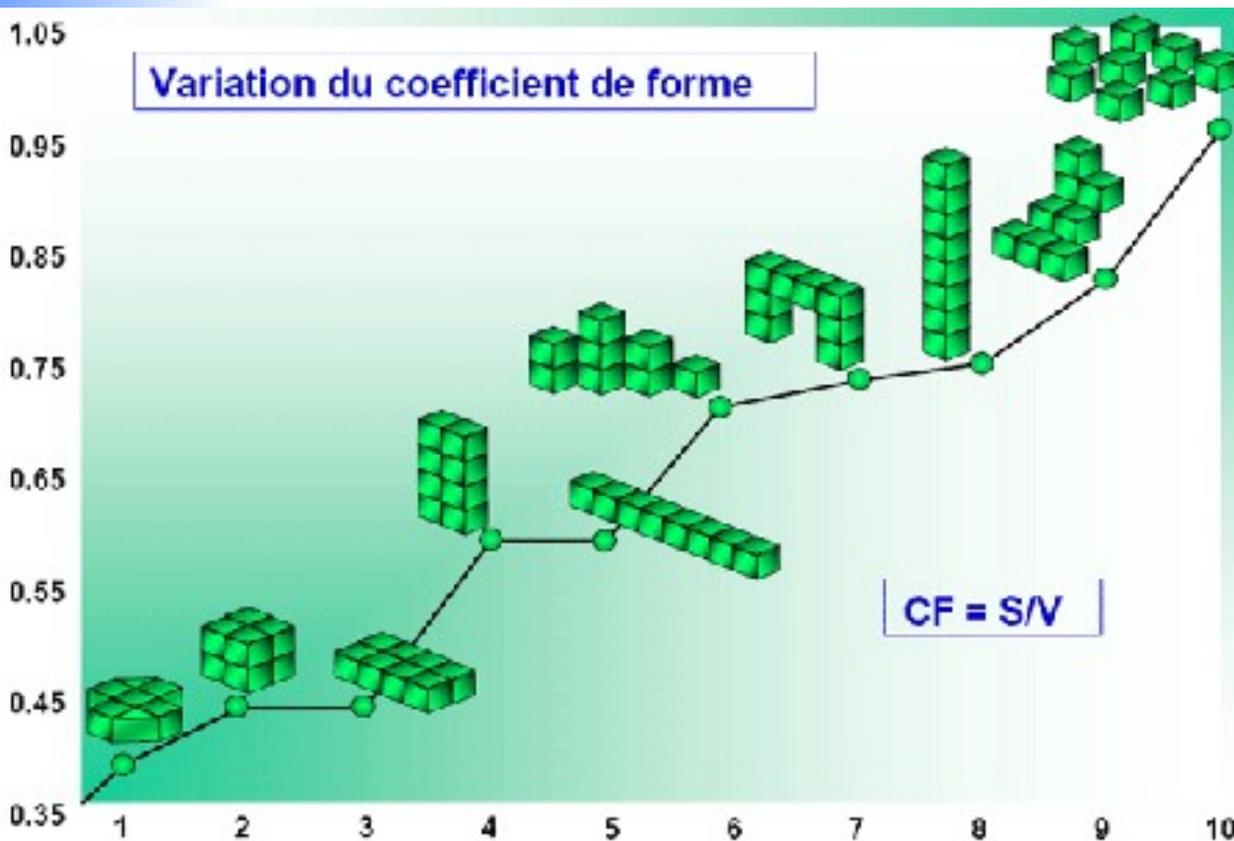


# *Compléments*

## Généralités sur la conception des bâtiments

# Le dessin

Compacité :



=> Plus un bâtiment est grand plus il est compact.

=> Le pire est la maison individuelle de plain pied

Un bâtiment peu compact :

- est plus cher,
- est moins performant à isolation égale,
- nécessite plus de terrain (terre agricole).

# Le dessin

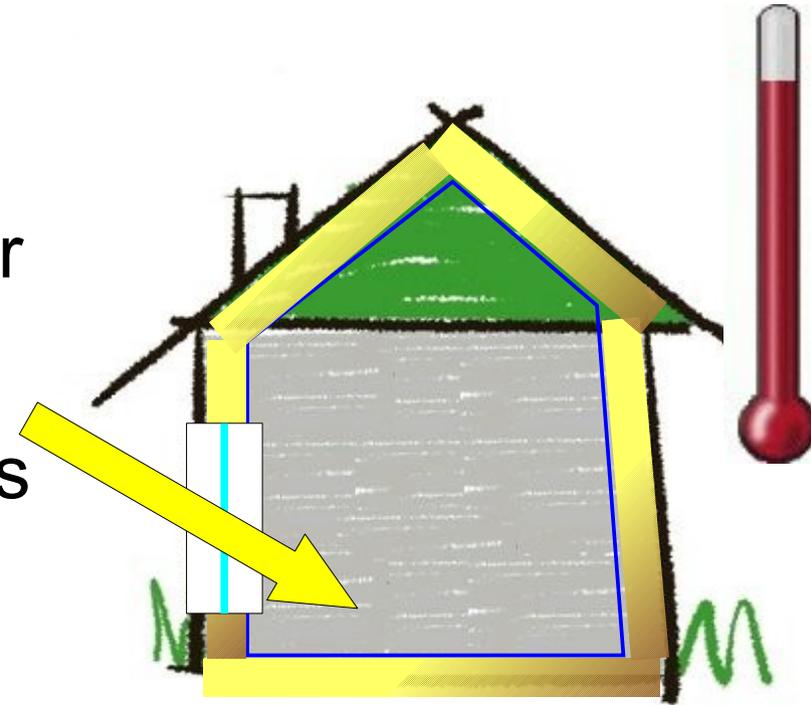
## La surface vitrée

### Pas assez de surface vitrée :

- peu de lumière naturelle
- peu d'apports solaires pour chauffer

### Trop de surface vitrée :

- les pertes thermiques dépassent les apports solaire : gain thermique nul
- bâtiment plus cher
- **risques importants de surchauffes en été**



L'optimal se situe généralement à une surface de menuiseries égale à 18% de la surface habitable.

Source : simulations dynamique Enertech

# Procédés constructifs

## Zoom sur l'ossature bois



Médiathèque de Bretenière  
Rénovation et extension en bois  
Lauréat de l'appel à projet de la  
Région Bourgogne  
Architecte : Topoiein Studio



Maison Staiger, à Is sur Tille  
Maison à ossature bois,  
potentiellement à énergie positive  
Lauréat de l'appel à projet de la  
Région Bourgogne

# Procédés constructifs

## Zoom sur la paille



Bâtiment en paille à Varennes (89)



Contacts et info complémentaires :  
<http://www.compailleurs.eu/>

# Procédés constructifs

## Mur en brique de terre crue

École de St Pierre de Varennes

Ossature bois, potentiellement à Énergie Positive

Lauréat de l'appel à projet de la Région Bourgogne

Architecte : L'Atelier du Triangle

