



**HAL**  
open science

## Maitrise de la demande énergétique dans l'habitat

Jean-Pierre Traisnel

► **To cite this version:**

Jean-Pierre Traisnel. Maitrise de la demande énergétique dans l'habitat. Ecole doctorants Energies et Recherches, Apr 2010, Roscoff, France. hal-00650934

**HAL Id: hal-00650934**

**<https://enpc.hal.science/hal-00650934>**

Submitted on 12 Dec 2011

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# Maitrise de la demande dans l'habitat

Jean-Pierre Traisnel

IR CNRS, LATTS

## Prospective énergétique : le facteur 4 en 2050 dans le secteur résidentiel en France

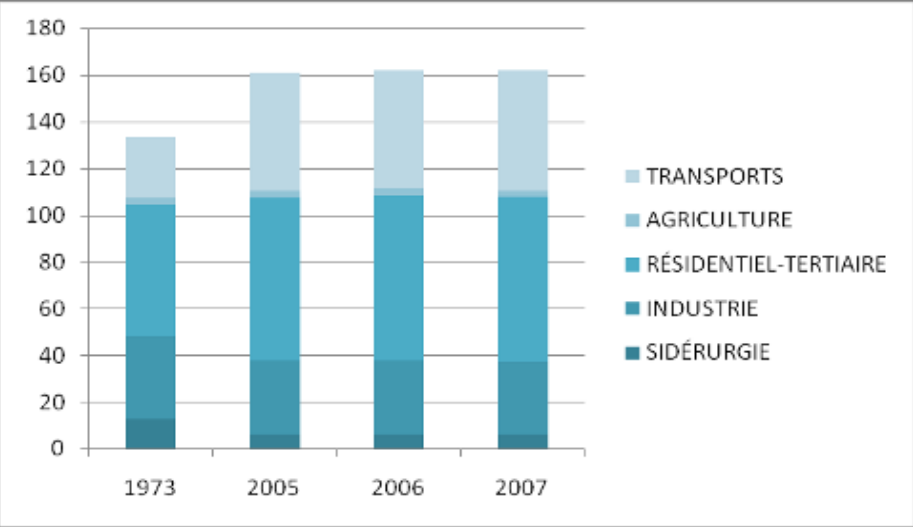
La consommation énergétique du parc de résidences principales qui compte, en 2006 pour la Métropole, 26 millions de logements, s'élève annuellement à 560 TWh, soit 30% de la consommation totale d'énergie finale en France. Le chauffage occupe la première place dans les consommations, à 70%. Le poids du parc résidentiel dans les émissions de CO<sub>2</sub> est moins élevé, et représente 21%, à 85 millions de tonnes. L'exercice de prospective consiste à identifier différentes trajectoires d'une division par 4 des émissions de dioxyde de carbone dues à la consommation énergétique, en s'appuyant sur les meilleures technologies disponibles ou susceptibles de se généraliser avant 2050. L'objectif est d'atteindre 20 millions de tonnes de CO<sub>2</sub> pour les deux postes du chauffage et de l'eau chaude sanitaire en 2050, dans un parc de logements en croissance (pour atteindre environ 35 millions d'unités) et à très faible renouvellement. Trois leviers principaux sont identifiés : la réduction des besoins de chauffage (demande), le recours à des équipements énergétiques plus performants (efficacité), le choix d'énergies moins carbonées (substitution). Les objectifs du Grenelle sont adoptés pour la construction neuve : dès 2012 avec la généralisation des logements à basse consommation (BBC), puis à 2020 avec les bâtiments à énergie positive. Parallèlement, des objectifs ambitieux sont visés pour la réhabilitation du parc existant.

La question des formes urbaines sera également abordée, pour tenir compte du couplage habitat-transports, l'usage de la voiture particulière pour les déplacements quotidiens risquant d'annuler les gains obtenus sur le bâti et ses équipements énergétiques.

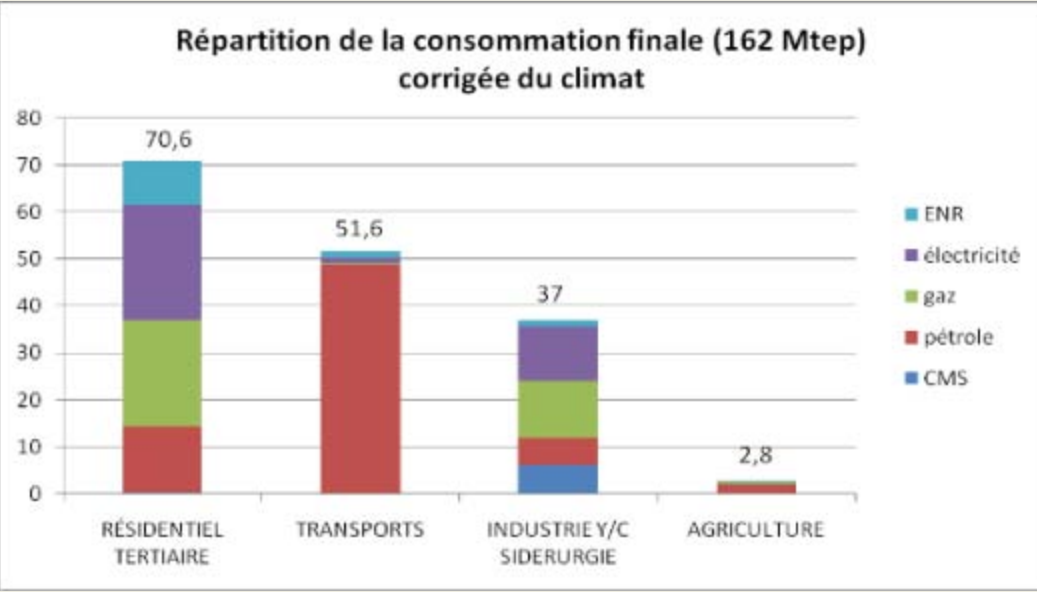
### **Bibliographie:**

- TRAINNEL J.P., JOLITON D., LAURENT M.H., MAZZENGA A., Cahiers du CLIP n°20, *Le facteur 4 dans l'habitat*, mars 2010 (à paraître)
- GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT – Comite opérationnel « Rénovation des bâtiments existants », Rapport de février 2008.
- CENTRE D'ANALYSE STRATEGIQUE, *Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050*, 25 septembre 2007.
- TRAINNEL J.P., Cahiers du CLIP n° 13, *Habitat et développement durable, étude rétrospective et prospective*, Mai 2001.

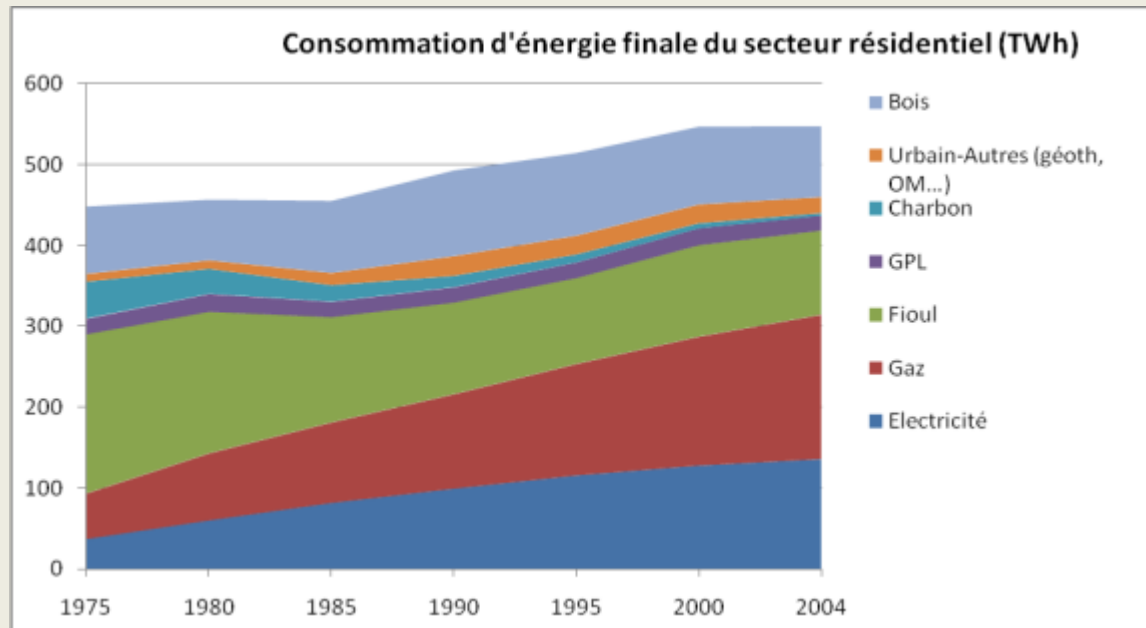
# Les enjeux énergétiques et climatiques



Consommation finale énergétique, en millions de tep



Source : DGEMP/OE, Bilan 2007  
CMS : combustibles minéraux solides



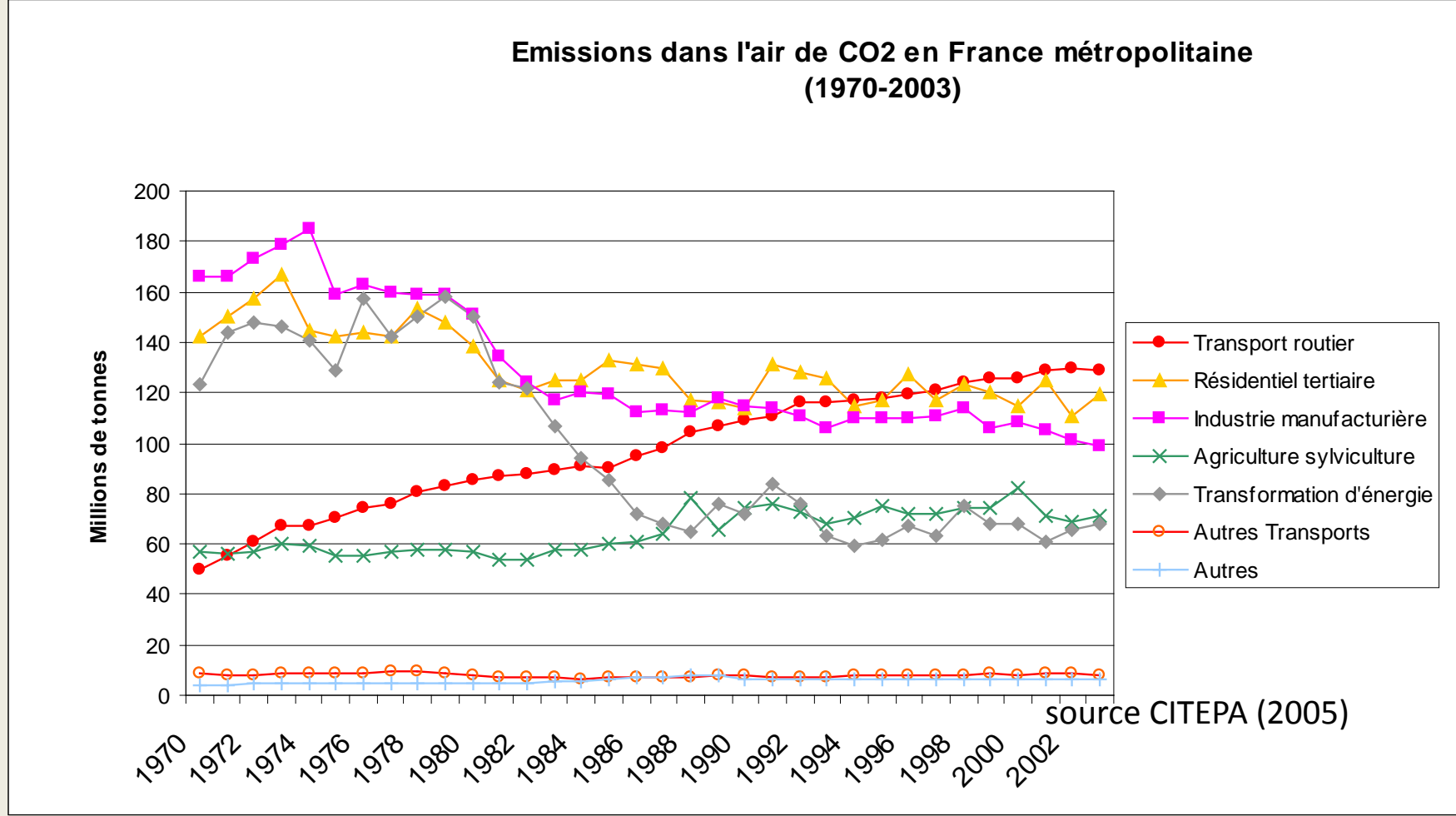
## Consommation d'énergie finale du secteur résidentiel (TWh)

Source : CEREN. Conventions pour les combustibles : TWh PCI

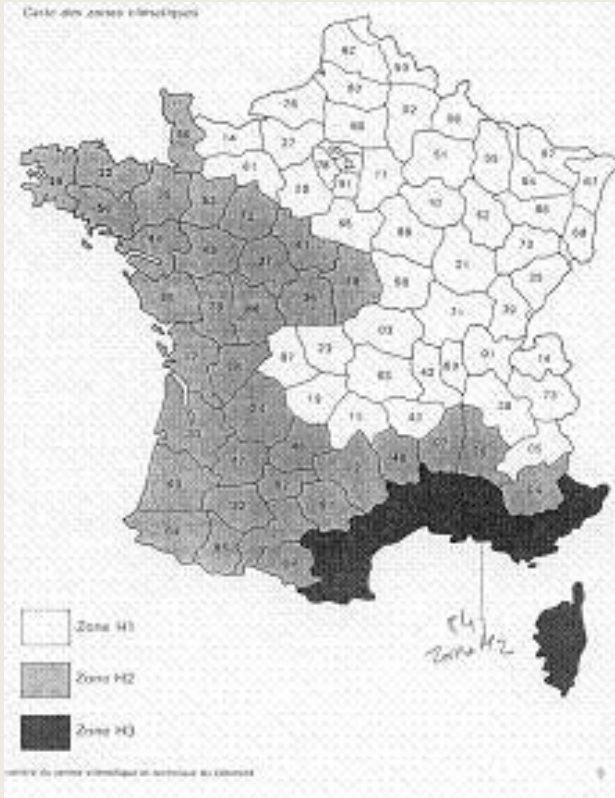
1 tep = 11627 kWh (en finale)

# Les enjeux énergétiques et climatiques

Progression des émissions liées au transport routier de 1970 à 2002 : +150%, soit un taux de croissance annuel moyen de près de 3%.



# Données climatiques : 3 zones, climat constant



Conditions climatiques prises en compte pour l'estimation des besoins de chauffage pour les trois zones climatiques de référence (climat constant à 2050)

	H1	H2	H3
DH degrés-heures de chauffage en $10^3$ h.°C	63	52	37
E ensoleillement vertical sud pendant la durée de chauffage en kWh/m <sup>2</sup>	410	440	460

Données du bâtiment:  
Surface chauffée: 172 (m2)  
Volume chauffé: 180 (m3)

Sources: Methodes RT89 / 3CL / BE TRIBU

COURS ENF 111 Jean-Pierre TRISSEL

**Des murs toits et sols**

	surface m2	U W/m2.K	Dépéridions W/K
Murs type 1 (a)	83,3	0,2	16,67
Murs type 2 (a)			0
Murs type 3 (a)			0
Toliture type 1 (b)	80,4	0,2	16,08
Toliture type 2 (b)			0
Sol sur vide sanitaire (c)	72	0,24	17,28
Sol sur terre plein (d)			0
Fenêtres et porte-fen (f)	12	1,5	18
Portes (g)			0
SOMME	248	SE	68,0 DP

ref	épaisseur d'isolant (cm)	8	10	12	14	16	18	20	24
a	murs	0,47	0,38	0,33	0,29	0,26	0,24	0,20	
b	terrasses			0,33		0,26		0,20	0,18
c	combles perdus			0,25		0,19		0,15	0,13
	sols sur vide sanitaire	0,33	0,27	0,23	0,20				

**U équivalent des sols sur terre-plein**

ref	isolation par 8 à 10 cm d'isolant	périphérique sur 1,5 mètres	sur toute la surface
d	sols sur terre-plein	0,38	0,24

SE = somme de toutes les surfaces d'enveloppe  
DP = déperditions par l'enveloppe, somme de tous les produits (Surface x U)

ISOLATION UBAT	68,0 DP	W/m2.K	
	248 SE	0,05	12,40 UBAT (f)

UBAT représente le niveau moyen d'isolation thermique de l'enveloppe  
Pour un bâtiment zéro énergie, Ubat < 0,40

VENTILATION	Wh/m3.K	0,34	m3	180	W/K	24	DR
-------------	---------	------	----	-----	-----	----	----

DEPERDITIONS TOT	W/m2.K	0,32	UBAT	SE	248	W/K	105	DT
------------------	--------	------	------	----	-----	-----	-----	----

APPORTS INTERNES	kWh/m2.an	22,9	ALPHA	m2	72	kWh/an	1648,8	AI
------------------	-----------	------	-------	----	----	--------	--------	----

Sse VITRAGES	m2	6	FS	Fs (masques)	1	C orientation	1	3,06
orientation sud	0,51	1	0,85	1	0,85	0	0	
orientation sud-est / sud-ouest	0,51	1	0,55	1	0,55	0	0	
orientation est-ouest	0,51	1	0,3	1	0,3	0	0	
nord-est / nord-ouest	0,51	1	0,2	1	0,2	0,612		
orientation nord	0,51	1	0,2	1	0,2	0,612		
SOMME							3,672	Sse

APPORTS SOLAIRES	kWh/m2.an	410	E	m2	3,672	kWh/an	1280	AS
------------------	-----------	-----	---	----	-------	--------	------	----

TOTAL APPORTS		1648,8	A		1279,492		2928,492	N+AS
---------------	--	--------	---	--	----------	--	----------	------

DEP TOT * DEG HEUR		104,8933	DT		63		6608,28	DTxDH
--------------------	--	----------	----	--	----	--	---------	-------

X = (A+AS)/(DT*DH)		2928,492		6608,28			0,443	
--------------------	--	----------	--	---------	--	--	-------	--

X (puissance In)		0,443	X	3,6			0,053407	Xin
------------------	--	-------	---	-----	--	--	----------	-----

F = (X-Xin)/(1-Xin)		0,443		0,053			0,390	
---------------------	--	-------	--	-------	--	--	-------	--

Taux de récup des apports		1		0,053			0,947	F
---------------------------	--	---	--	-------	--	--	-------	---

BESOINS CHAUFFAGE DT*DH*(1-F)		104,8933	DT	63		0,588	3887	BVDH
-------------------------------	--	----------	----	----	--	-------	------	------

CONSO chauffage BVDH*Ich		3887		0,292			1135	CCh
--------------------------	--	------	--	-------	--	--	------	-----

en m2/an		1135	CCh		72		15,8	CCh/m2
----------	--	------	-----	--	----	--	------	--------

Conversion chauffage en énergie primaire		16		2,58			40,7	CChep/m2
--	--	----	--	------	--	--	------	----------

BESOINS EAU CHAUDE SANITAIRE (ECS)  
Estimation forfaitaire BESOINS ECS 18 kWh/m2/an BECS

CONSO ECS		18		1,44		1	0,5	13,0
-----------	--	----	--	------	--	---	-----	------

Conversion ECS en énergie primaire		13,0		2,58			33,4	Cecsep/m2
------------------------------------	--	------	--	------	--	--	------	-----------

CONSOmmations AUTRES EN ENERGIE PRIMAIRE (ELECTRICITE)		6		2			7	
--	--	---	--	---	--	--	---	--

CONSOmmation ENERGIE PRIMAIRE TOTALE		40,7		33,4		15		89,1
--------------------------------------	--	------	--	------	--	----	--	------

murs sans isolant : U = 2 à 3 W/m2.K

R lame vert	
R plafond	
R comble	
R plancher vide sanit	

**Uw des fenêtres et portes-fenêtres**

ref	menuiserie	vitrage peu émissif classique	vitrage peu émissif performant	vitrage peu émissif très performant	
f	fenêtres et portes-fenêtres	bois	2,6	2	1,5
		alu à rupture de pont	3	2,5	2

**- U des portes**

ref	classique	isolante	très isolante	
g	portes	3,5	1,5	0,9

**ΔUBAT – déperditions dues aux ponts thermiques**

ref	type d'isolation traitement des ponts thermiques	extérieure		répartie		intérieure		
		Avec	sans	Avec	sans	Dalles et refends	refends	sans
j		0,05	0,15	0,15	0,18	0,15	0,22	0,25



ventilation naturelle:	Taux (vol/h)	1,5
VMC SF		1
VMC DF avec récup		0,4

H1	ALPHA	H2	H3
22,9		21,7	18,1

FS vitrage simple	vitrage double	
fen bois	0,58	0,48
fen métal	0,64	0,58
porte-fen bois	0,58	0,51
porte-fen métal	0,67	0,58

H1	E	H2	H3
410		440	460

H1	DHmilliers d'heures	H2	H3
63		52	37

forte	3,6	Planchers, refends, murs lourds	(isolation ext)
moyenne	2,8	planchers lourds	
faible	2,3	murs lourds (maison individuelle)	
très faible	2,1	Aucun (maison individuelle)	

Chauffage: Ich = Programmation x (1 / Rtotal)				
	Pan Rad El	Gaz condens	Réseau ch	PAC géoth
Rt distribution	1	0,92	0,92	0,92
Rt émission	0,98	0,95	0,95	0,95
Rt génération	1	0,83	0,9	4
Rt régulation	0,99	0,95	0,9	0,95
Programmation	0,97	0,97	0,97	0,97
Ich	1,000	1,408	1,370	0,292

CONVERSION	Conversion en énergie primaire:	gaz	1
		électricité	2,58

ECS: lecs	Valeurs lecs	ballon vertical	ballon horizontal
	ballon élec.	1,44	1,52
	chaud gaz condens	1,39	1,72
	réseau chaleur		1,58

TAU SOL	pour 1m2 capteur par personne (pour 0 m2 : TAU SOL = 0)		
H1	H2	H3	
0,5	0,6	0,7	

CONSOmmation DES AUXILIAIRES	(en kWhep/m2/an)
Chauff central	2
Autres	0

CONSOmmation DES VENTILATEURS	(en kWhep/m2/an)
Ventil naturel	0
VMC simple flux	3
VMC double flux	7



# Les effectifs de logements / Le parc de résidences principales

## Effectifs de logements en métropole (2000-2006)

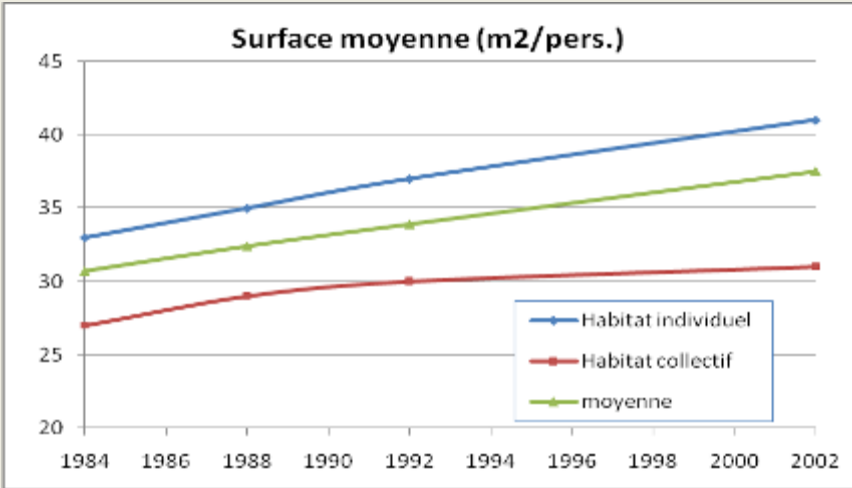
Effectifs en juillet de chaque année  
Sources : Comptes du logement 2006

Métropole (en milliers de logements)	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
Résidences principales	24 241	24 555	24 866	25 184	25 519	25 876	26 263
Résidences secondaires	2 934	2 959	2 985	3 010	3 038	3 070	3 106
Logements vacants	1 969	1 957	1 944	1 931	1 919	1 908	1 899
Nombre total de logements	29 144	29 471	29 795	30 126	30 477	30 854	31 267

## Quelques caractéristiques du parc de résidences principales

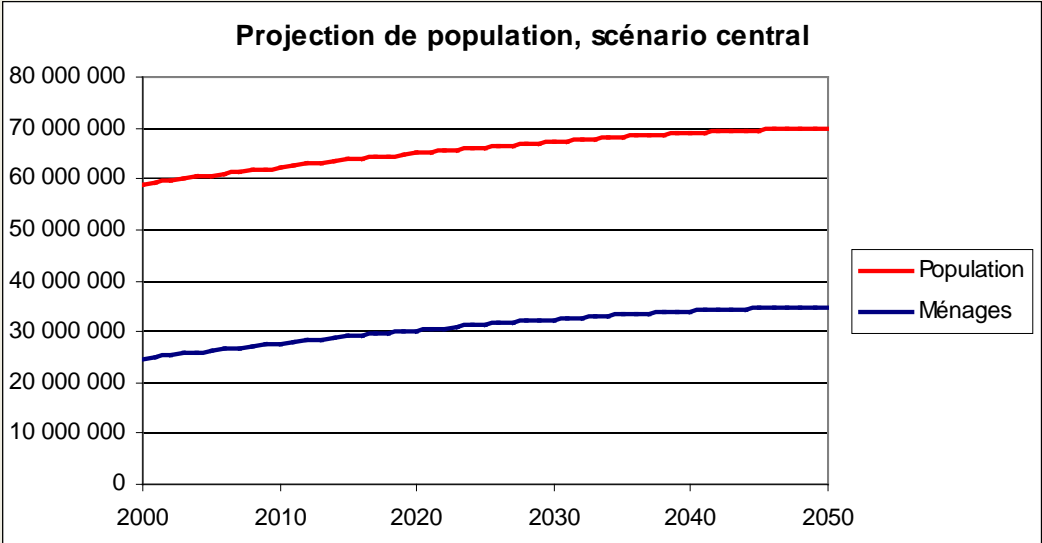
Source : Insee, enquêtes Logement.

	1978	1984	1988	1992	1996	2002	2006
Part des logements sans confort sanitaire (en %)	26,9	15,0	9,6	6,2	4,1	2,6	1,5
Surface moyenne des logements (en m <sup>2</sup> )	77	82	85	86	88	90	91
Nombre moyen de personnes par logement	2,8	2,7	2,6	2,5	2,5	2,4	2,3
Surface habitable moyenne par personne	27,5	30,7	32,4	33,9	35,5	37,5	39,6



Evolution des surfaces habitables (en mètres carrés par personne)

# Projections démographiques à 2050



**Projections de population à 2050 (nombre d'habitants et nombre de ménages)**

Scénario central pour la population, scénario B pour la taille des ménages

Sources : Insee Première N° 1089 - Juillet 2006 et N° 1106 - Octobre 2006.

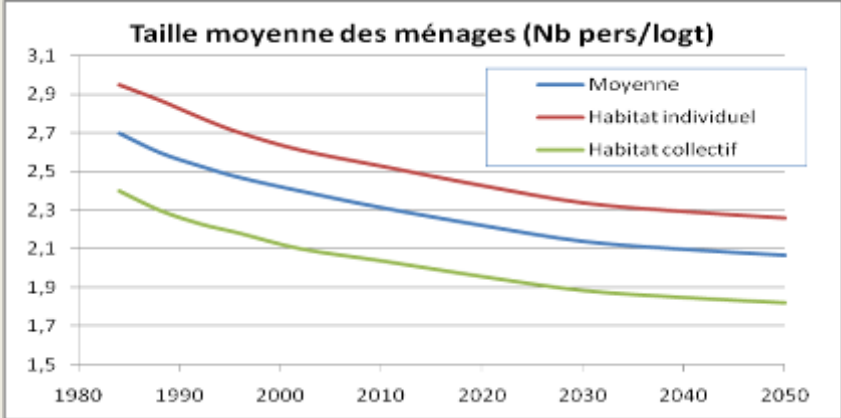
**Projection de la taille des ménages selon deux hypothèses**

Source valeurs 1990-2030 : INSEE Première 1106, d'après : recensements de la population 1982 à 1999, enquête annuelle de recensement 2005 et projection, Insee.

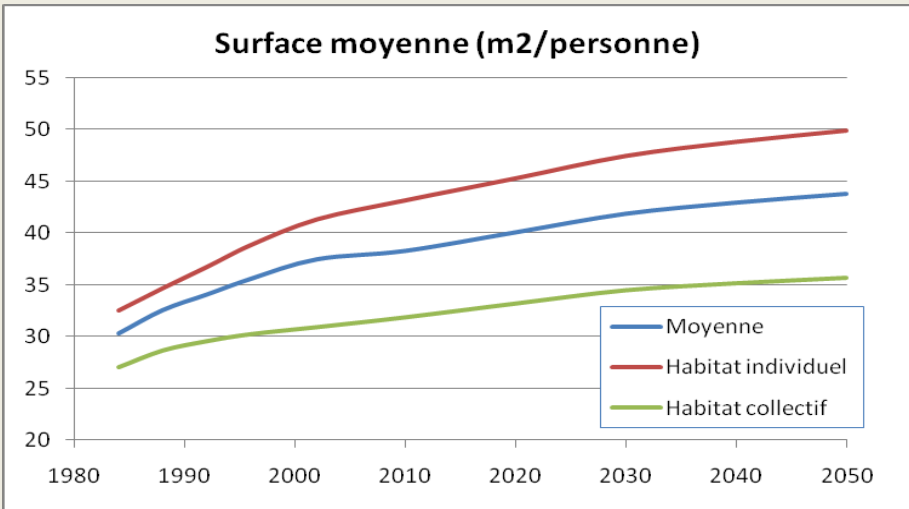
Projections 2040-2050 : étude CLIP (extrapolation par approximation polynomiale de la dynamique 2005-2030)

	1990	1999	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2040	2050
Taille ménages (B)	2,57	2,4	2,31	2,25	2,2	2,16	2,12	2,08	2,04	2,01
Taille ménages (H)	2,57	2,4	2,31	2,24	2,19	2,14	2,09	2,04	1,99	1,96

# Projection des tailles de ménages et des surfaces habitables

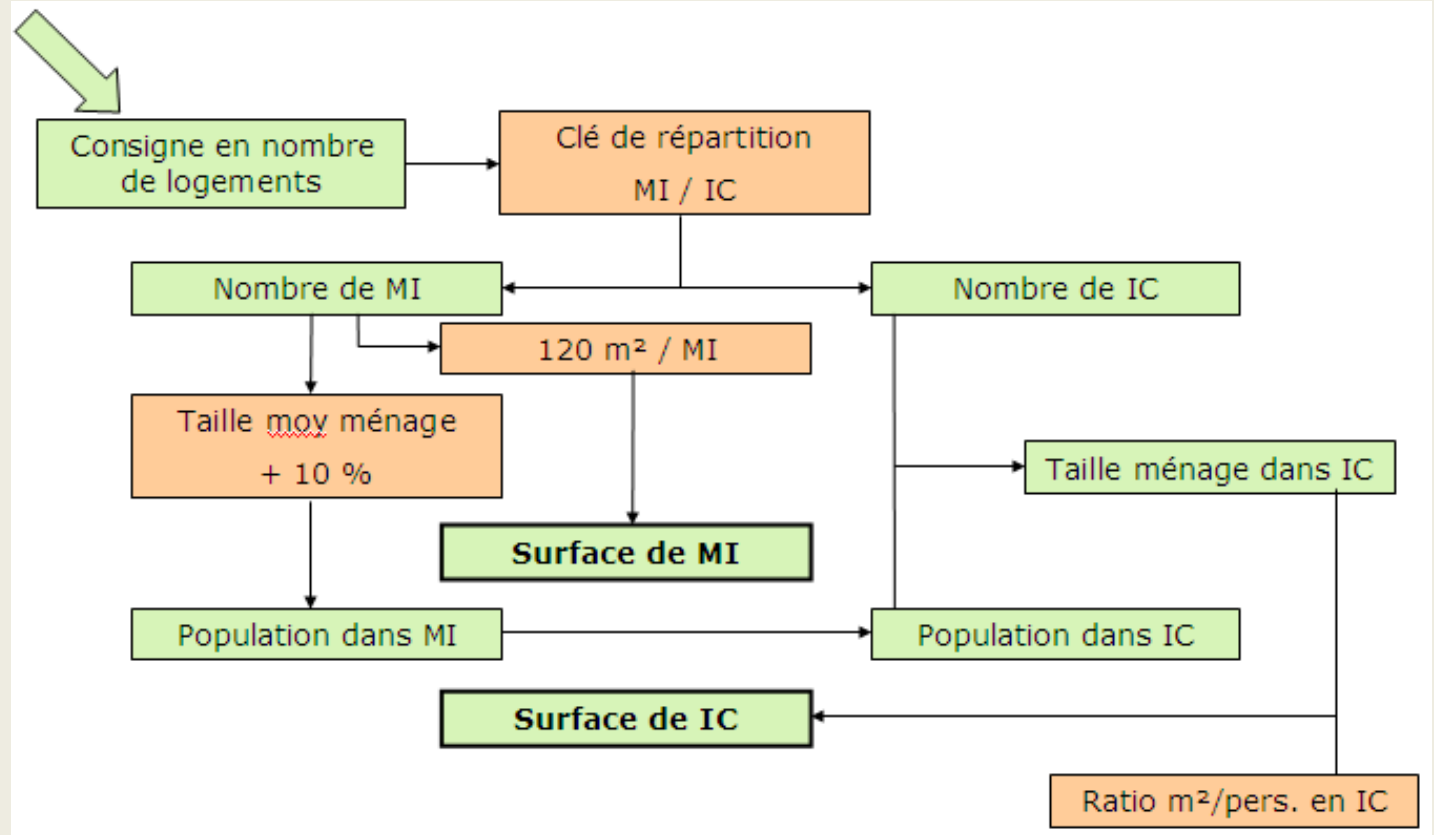


Projection des tailles moyennes de ménage selon le type de logement



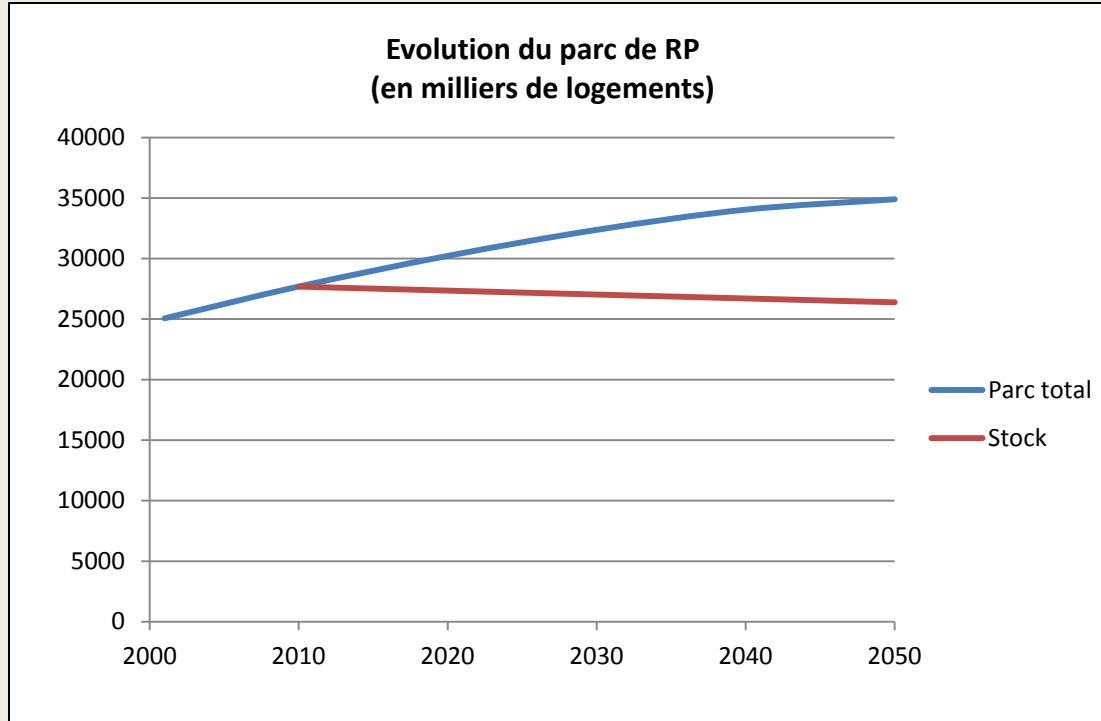
Projection des surfaces habitables en mètres carrés par personne

# Modèle dynamique de parc RP

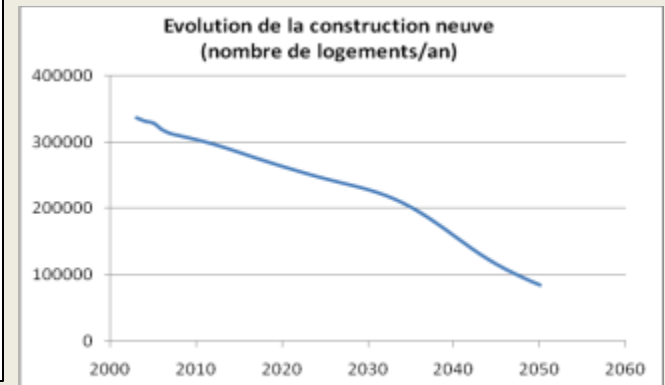


- Besoins de logements = croissance du nombre de ménages
- Détermination d'un taux de sortie (destruction et changement d'affectation)
- Constructions neuves = accroissement du Nb de ménages + sorties

# Prospective tendancielle du nombre de logements à 2050



Taille du ménage:  
cf. A. Jacquot, *Des ménages toujours plus petits, Projection de ménages pour la France métropolitaine à l'horizon 2030*, Insee Première N° 1106 - Octobre 2006.



Hypothèses :

Taux de sorties du parc de 0,12% par an (environ 30.000 logements) ;

**Nombre de logements = Population/ Taille du ménage (scénario B prolongé à 2050)**

Part du neuf construit dans l'intervalle 2012-2050 en 2050 : 25 % du parc de 2050 (en BBC...)

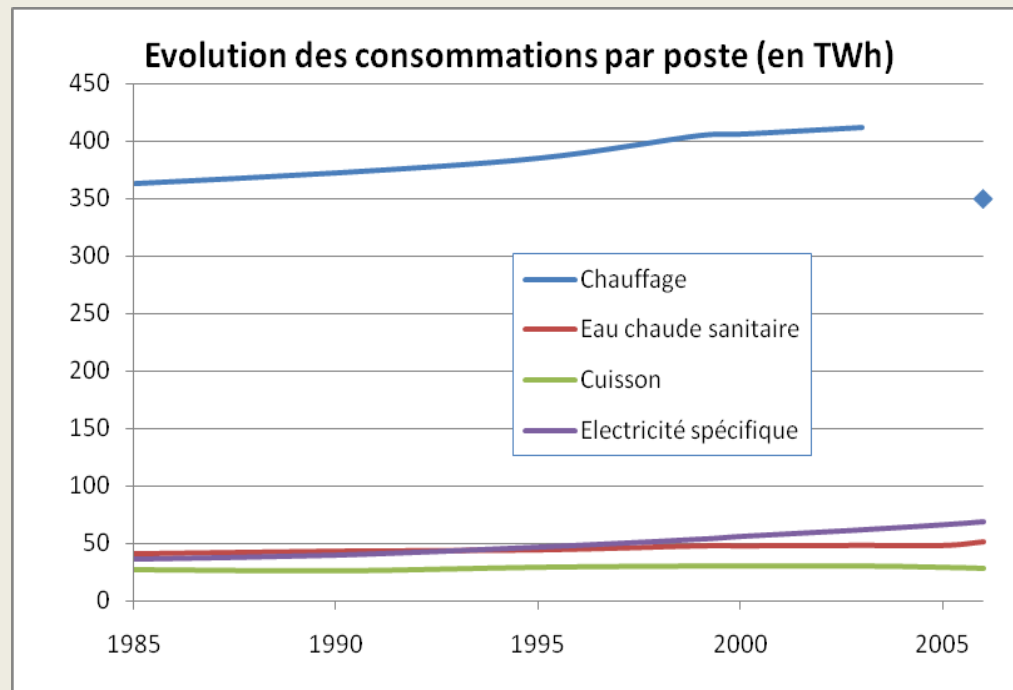
Logements en BEPOS construits dans l'intervalle 2020-2050 : 5,6 millions de logements, soit 16% du parc en 2050

# Le secteur résidentiel : situation énergétique en 2005

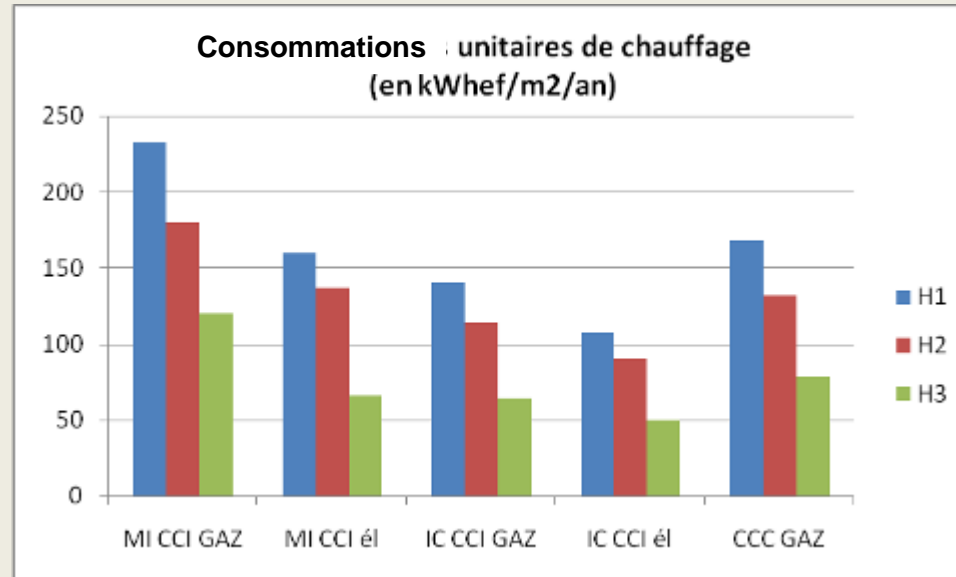
## Répartition des consommations énergétiques dans le parc de résidences principales en 2005 (en TWh, énergie finale)

Sources : DGEMP 2003 et calage EDF / GDF SUEZ à partir des données CEREN

Postes \ Energies	Charbon	Fioul	GPL	Gaz	Elec.	Bois	EnR	Total	(en %)
Chauffage	3,00	93,20	9,10	151,8	34,8	87,90	3,90	383,70	70,4%
ECS (eau chaude)	0,4	11,40	2,30	19,8	19,5		0,2	53,60	9,8%
Cuisson			9,80	12,8	11,1			33,70	6,2%
Elec. spécifique					73,7			73,70	13,5%
Total	3,40	104,60	21,20	184,40	139,10	87,90	4,10	544,70	100%



En énergie finale, D'après l'Observatoire de l'énergie (1985 à 2003)  
2006 : Données ADEME (Chiffres clé 2007, Résidences principales)



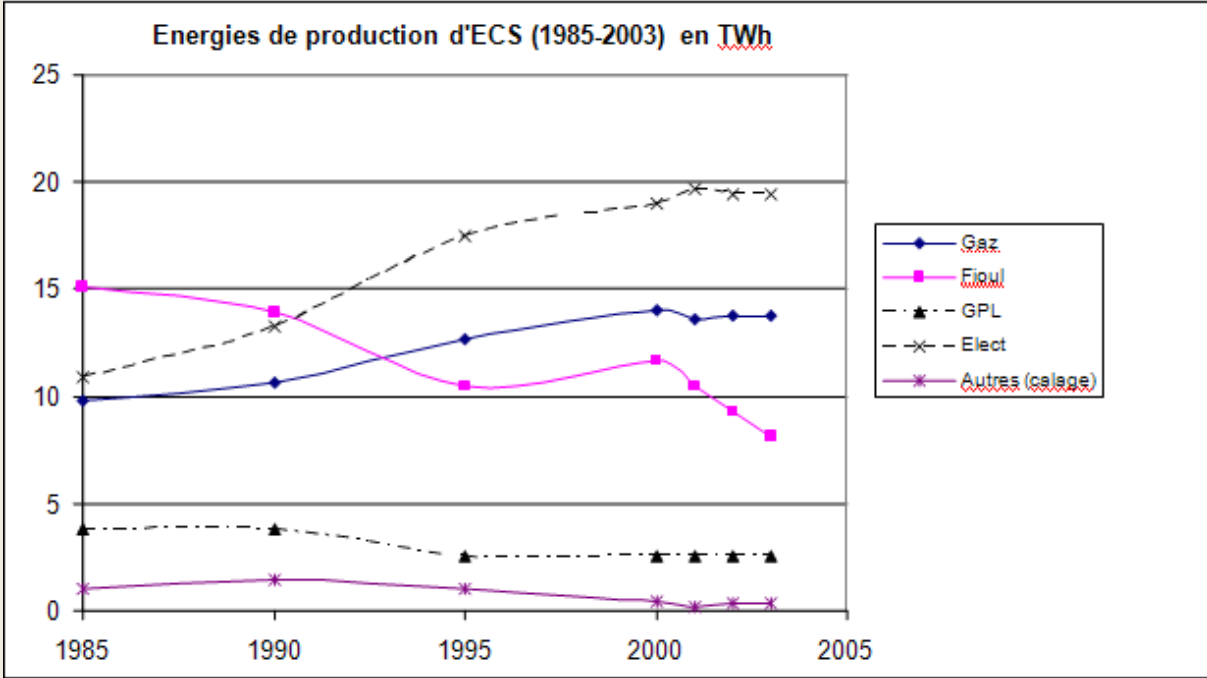
**Consommations unitaires (par m<sup>2</sup> SHAB) moyennes de chauffage en 2005 selon la zone climatique, la typologie, et l'équipement de chauffage**

Source : Energies Demain

MI : maison individuelle ; IC : logement en immeuble collectif

CCI : chauffage central individuel ; CCC : chauffage central collectif

# Energies de production d'ECS (eau chaude sanitaire)



**Consommations finales par type d'énergie pour la production d'ECS**  
*Consommations ECS 1985-2003 : données DGEMP-Observatoire de l'énergie, 05/12/2005*

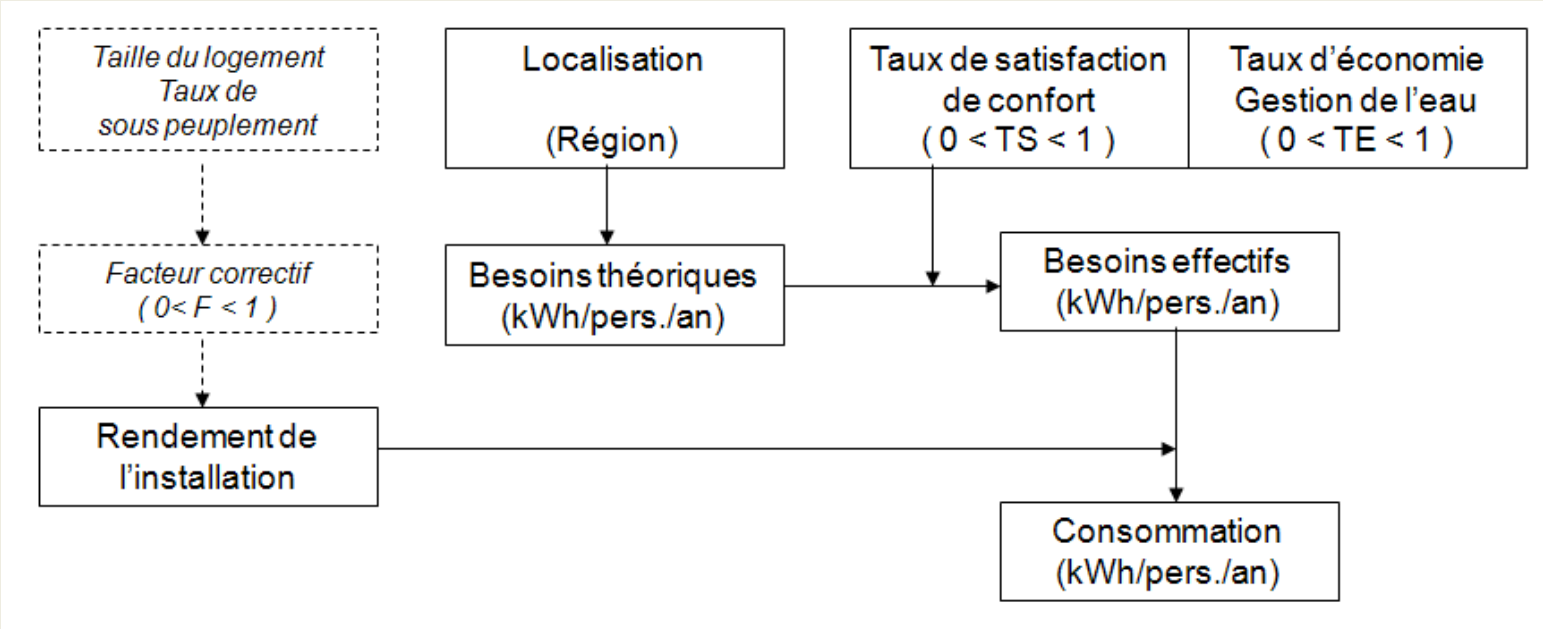


# Besoins et consommations énergétiques (ECS)

Estimation des besoins annuels (en énergie utile par personne) pour la production d'ECS pour les trois zones climatiques.

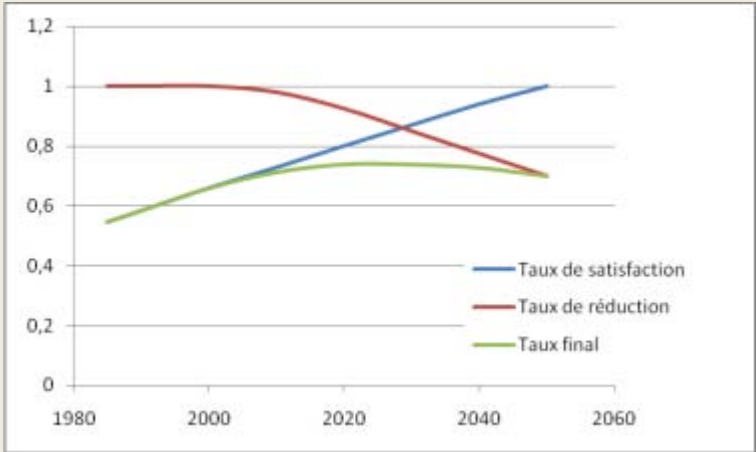
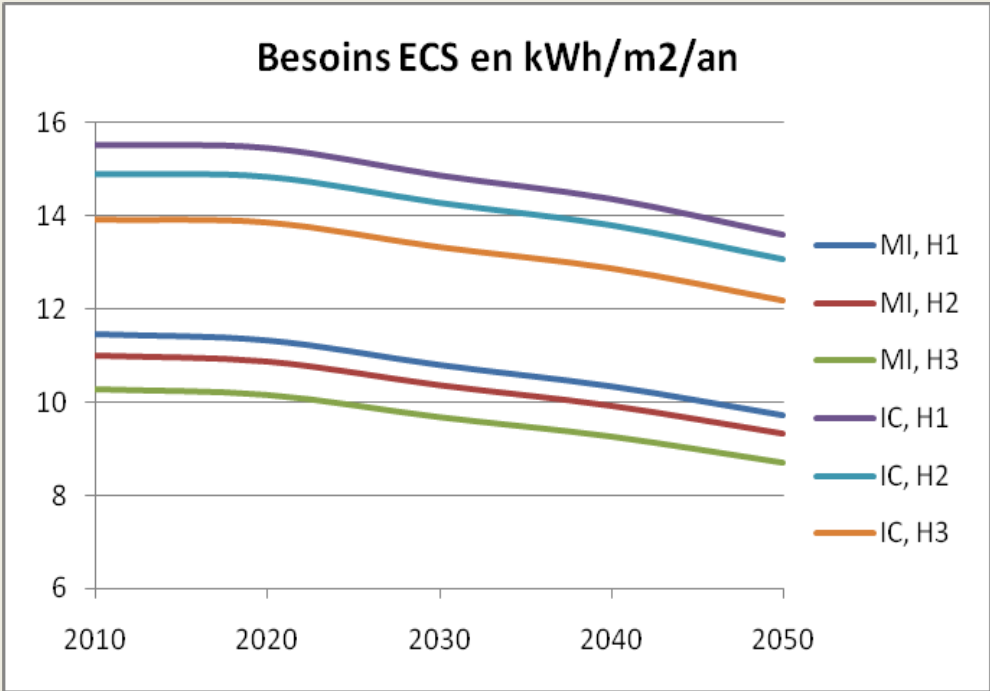
Zone climatique	Te ref	l/pers/jour	T ECS	Besoins /an (kWh)
H1	10,5	45	50	693
H2	12	45	50	666
H3	14,5	45	50	622

Procédure d'estimation des consommations unitaires d'énergie pour la production d'ECS.



# Evolution des besoins en ECS

**Estimation des besoins énergétiques unitaires d'ECS en kWhEU par unité de surface habitable selon la typologie du logement et la zone climatique.**  
(MI : maison individuelle ; IC : immeuble collectif)



Taux appliqués aux besoins énergétiques conventionnels de production d'ECS :

- taux de satisfaction des besoins théoriques croissant de 0,65 à 1
- taux de réduction (par économie d'eau) décroissant de 1 à 0,7
- taux final stabilisé à environ 0,75

En MI (maison individuelle), les besoins par m<sup>2</sup> sont plus faibles (plus de m<sup>2</sup> par personne)

La contribution du solaire thermique, estimée à 50% des besoins en ECS, est appliquée à 100% des RP dans le neuf et à 30% des RP du parc existant.

- ⌘ Evaluer le potentiel maximal des différentes solutions énergétiques retenues en 2050, pour un seul chemin de réhabilitation du parc de RP
  
- ⌘ Trois leviers identifiés:
  - ⌘ la réduction des besoins de chauffage (demande),
  - ⌘ le recours à des équipements énergétiques plus performants (efficacité),
  - ⌘ le choix d'énergies moins carbonées (substitution).

- Introduction de règles liées à l'urbain dans les scénarios « logement neuf » et « réhabilitation » :
  - Neuf, cf. ComOp 9 : hors besoins propre à l'activité rurale, pas de MI ni IC en tissu discontinu (possibilité de développement de réseaux de chaleur)
  - Neuf et réhabilitation, scénarios énergétiques :
    - Energie bois exclue en MI en tissu urbain;
    - Hors réseau de chaleur, énergie bois exclue en IC-CCC en centre dense.

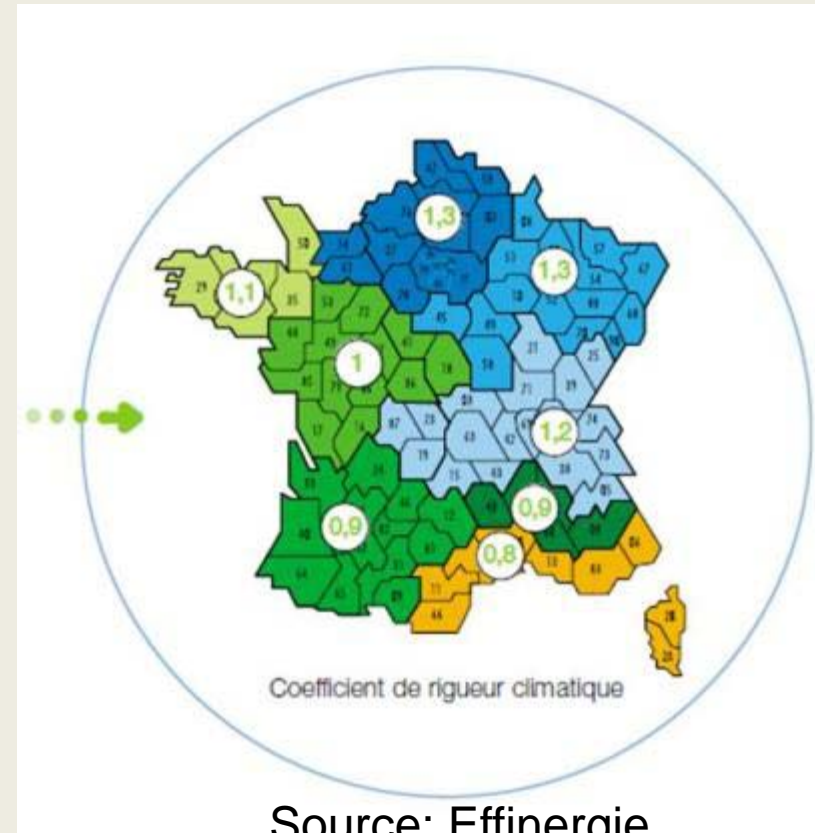
MI: maison individuelle ; IC : logement en immeuble collectif  
CCC : chauffage central collectif

## *Cibles « facteur 4 » (chauffage et eau chaude sanitaire)*

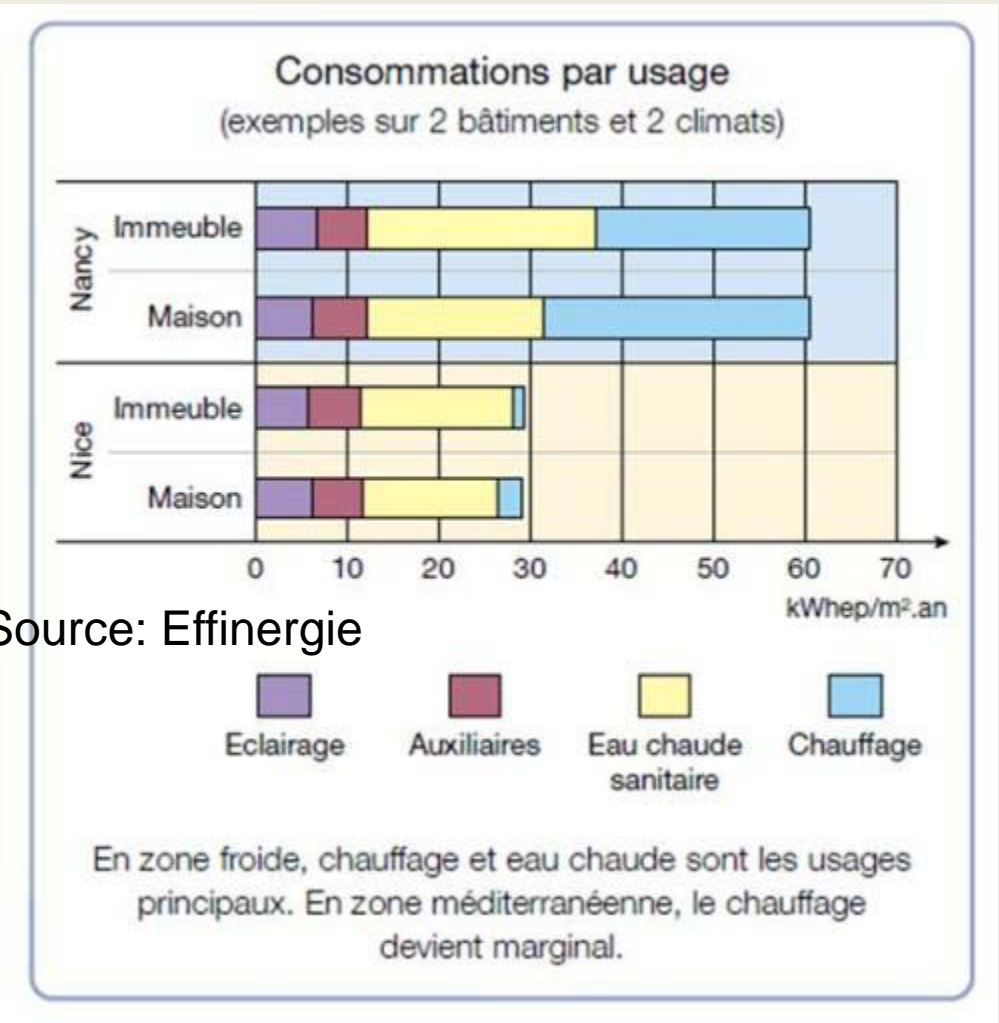
---

- Neuf, cf. PLG1: rupture technologique (niveau RT 2005 : Cepmax = 80 à 250 kWhEP/m<sup>2</sup>/an (m<sup>2</sup> SHON)
  - BBC dès 2012 (50 kWhEP/m<sup>2</sup> SHON en moyenne, chauffage + eau chaude + climatisation + ventilation + éclairage + auxiliaires, soit 5 postes de la RT)
  - BEPOS dès 2020 (compensation annuelle des 5 postes par PV hors EnR)
- Réhabilitation du parc antérieur à 2005
  - Facteur 2 moyen sur les besoins de chauffage en 40 ans
  - Renouvellement des équipements Chauffage + ECS en deux cycles de 20 ans
- Technologies privilégiées
  - Chaudières bois et réseaux de chaleur
  - PAC électriques
  - Cogénération gaz
  - Solaire thermique pour l'ECS et compensation PV en BEPOS

- Deux labels BBC :
  - un BBC à  $50 \times (a+b)$  kWh-ep/m<sup>2</sup> pour les bâtiments sans compensation PV,
  - un BBC avec compensation PV, fixant une limite avant compensation de 60 à  $65 \times (a+b)$  kWh-ep/m<sup>2</sup> (coefficients a et b: fonction des zones climatiques, corrigés des altitudes).  
La compensation PV s'exprime en énergie primaire
- BEPOS :
  - Principe: BBC minimum et compensation par production électrique
- Hypothèses à valider pour le BEPOS:
  - énergie finale, primaire,
  - prise en compte des énergies locales,
  - contrainte sur la production électrique pour éviter une surcompensation.....



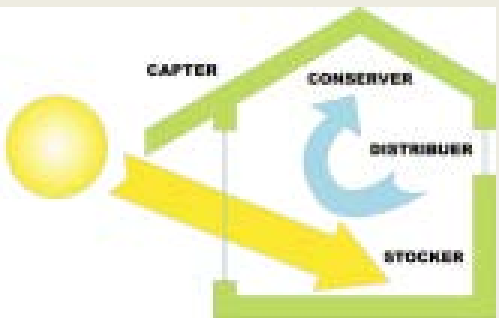
# BBC : usages pris en compte (cf. RT)



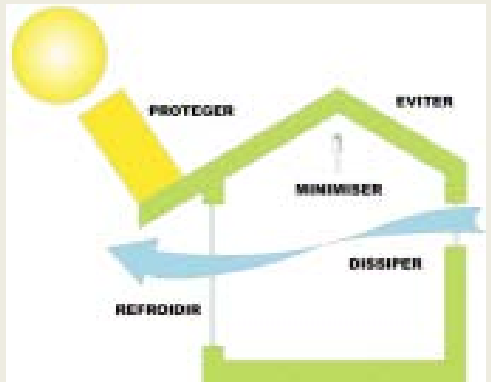
Chauffage  
Eau chaude sanitaire  
Eclairage  
Ventilation  
Auxiliaires  
(Climatisation): importance du confort d'été

Coefficients de conversion en énergie primaire:  
Gaz : \*1  
Electricité: \*2,58  
Bois (bonus): \*0,6 (sauf pour les réseaux de chaleur)

Parois verticales: ITE (isolation thermique par l'extérieur)



Stratégie hiver



Stratégie été



Isolation parois opaques : R (en m2.K/W)	Effinergie	RT 2005
Toit	6,5 à 10	4 à 6
Mur	3,2 à 5,5	2,2 à 3,2
Sol sur terre-plein	2,4 à 4	1,7 à 2,9
Sol sur vide sanitaire	3,4 à 5	2,4 à 4

Objectif de perméabilité: inférieur ou égal à 0,6 m3/h.m2 en maison individuelle et 1,0 m3/h.m2 en collectif



# Labels Minergie P ou Passive Haus

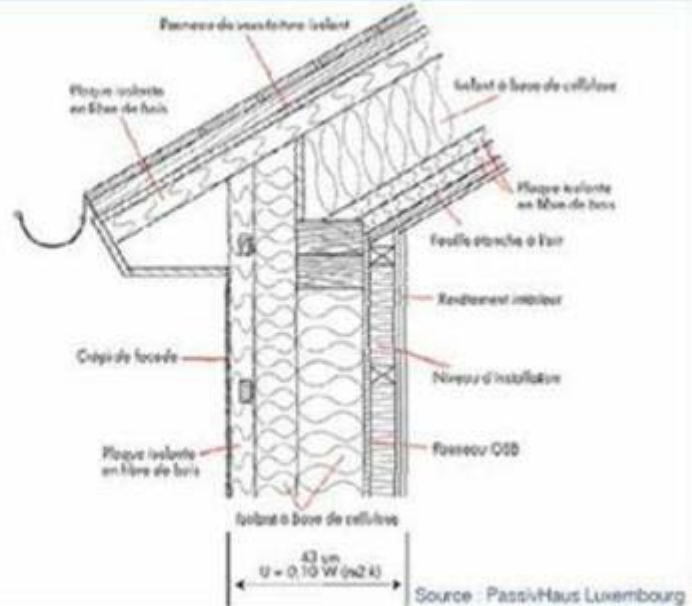
## Exigences et exemples de solutions

	Minergie®-S (Standard)
Conception architecturale	Forme, orientation, répartition des vitrages optimisée, ITE Compensation (volume double hauteur) de l'effet « thermos »
Enveloppe opaque	Umurs < 0.12 W/m²/K (20-35 centimètres d'isolation)
Vitrages	U < 0.75 W/m²/K (vitrage triple à basse émissivité)
Equipements ventilation	« Aération douce » en cascade pour limiter les débits
Chauffage	VMC 2flux avec taux de récupération > 80% exigé, puis canadien
ECS	Puissance, inférieure à 10 W/m2 (soit <b>15 kWh/m2/an</b> ) PAC sur l'air extrait

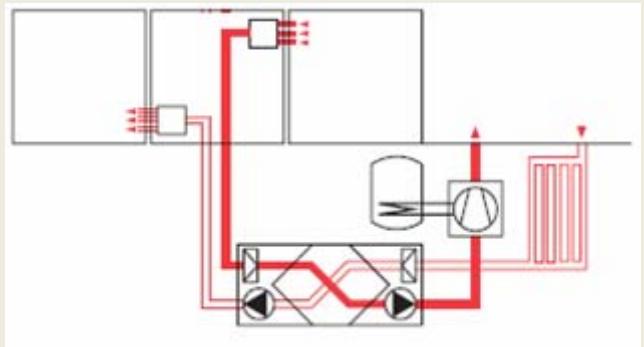


Source : BASF -3lh

30 cm de PSE - opacifié -

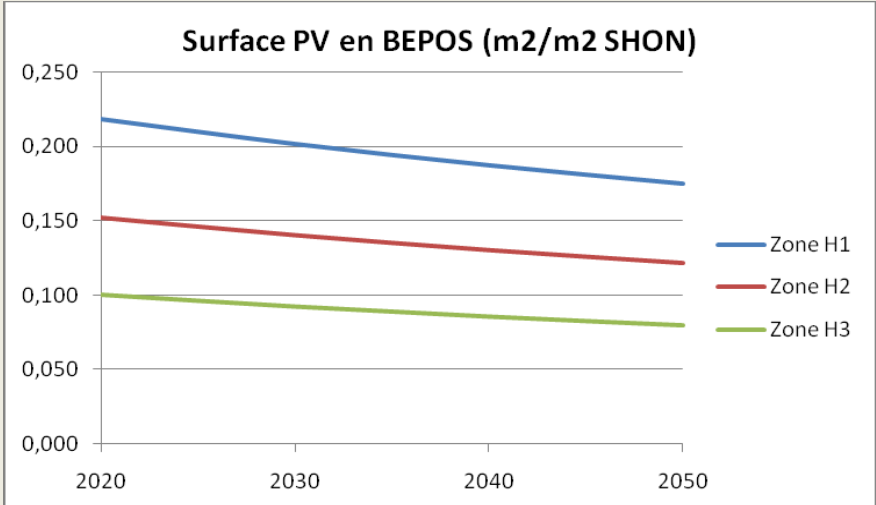
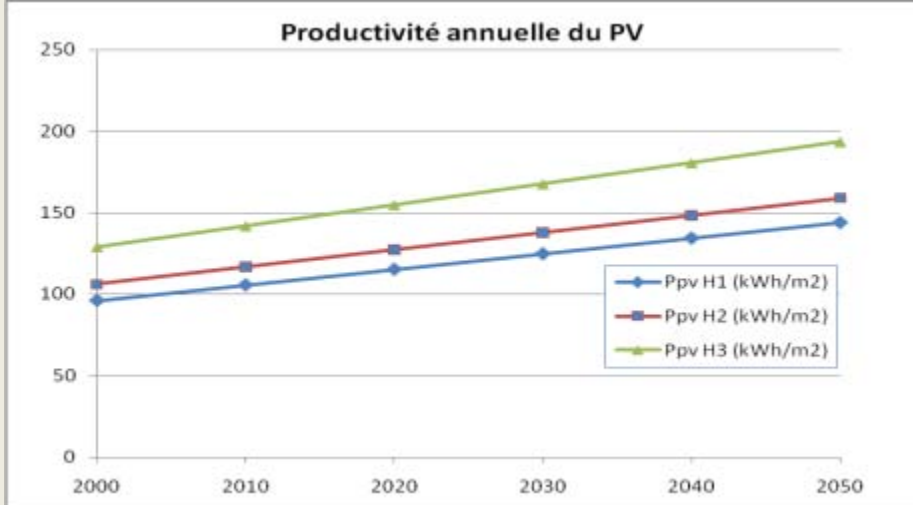


Source : PassivHaus Luxembourg



(document Minergie)

# BEPOS : compensation PV intégrée au bâti



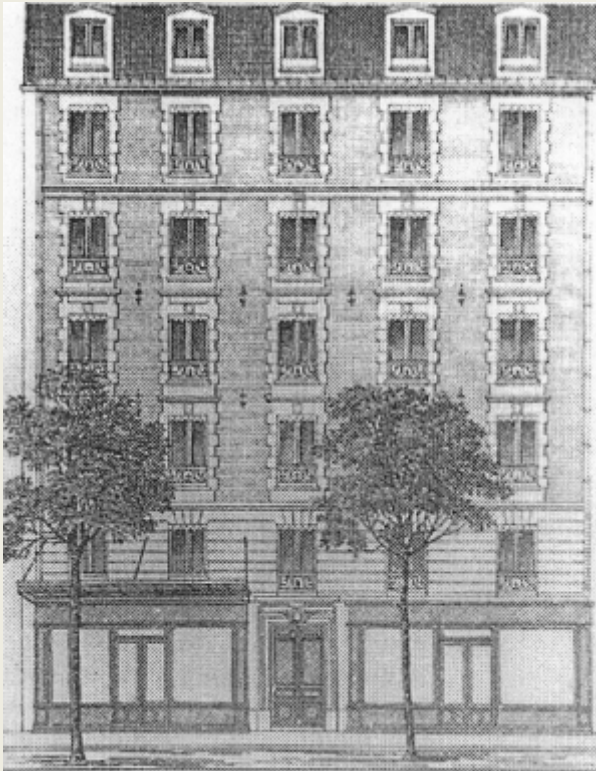
Quartier Vauban (Fribourg), arch: Disch

(BEPOS = BBC compensé en énergie primaire, hors énergie bois et solaire thermique)

Exemple de la zone H1 en 2020, pour 100 m² habitable en IC (110 m² SHON):

24,2 m² toit PV soit toute la toiture inclinée à 30° pour un immeuble de R+3

## Illustration sur un immeuble parisien



### Actions sur le bâti

(préservation des caractéristiques architecturales):

- Isolation du toit (+ 15cm laine de verre)
- Isolation sous face plancher rez (10 cm fibragglo)
- Isolation mur sur cour (+10 cm PUR extérieur)
- Menuiseries + Vitrages à isolation renforcée

### Ventilation :

Amélioration étanchéité à l'air + VMC hygroréglable

### Equipement de chauffage :

- Changement chaudière (collectif, gaz)

## Enveloppe : U des parois (W/m<sup>2</sup>/K)

	ancien	rénovation
toit	1,5	0,24
murs façade (briques + pierre de taille)	1,8	1,8
murs arrière	2,3	0,26
plancher	1,5	0,5
portes	3,5	3,5
vitrage	4	2
Ubât ( W/m <sup>2</sup> K)	2,39	1,06

## Ventilation

Air (vol/h)	1,05	0,5
-------------	------	-----

## Résultats (kWh/m<sup>2</sup>/an)

Besoins de chauffage	195	70
Consommation	410	120

## Réduction des besoins

- isolation des parois opaques et des vitrages
- Amélioration de l'étanchéité à l'air
- Maîtrise de la ventilation
- Valorisation des apports solaires et gratuits (attention à l'isolation par l'intérieur)

## Réduction des consommations

- Amélioration des rendements d'émission, de distribution, des générateurs

## Réduction des émissions CO<sub>2</sub>

- Recours aux énergies renouvelables (solaire, bois)

# Conditions ITE des parois verticales en réhabilitation (lourde)

## Exemple Berlin (source : D. SELLIER, ARENE IDF)

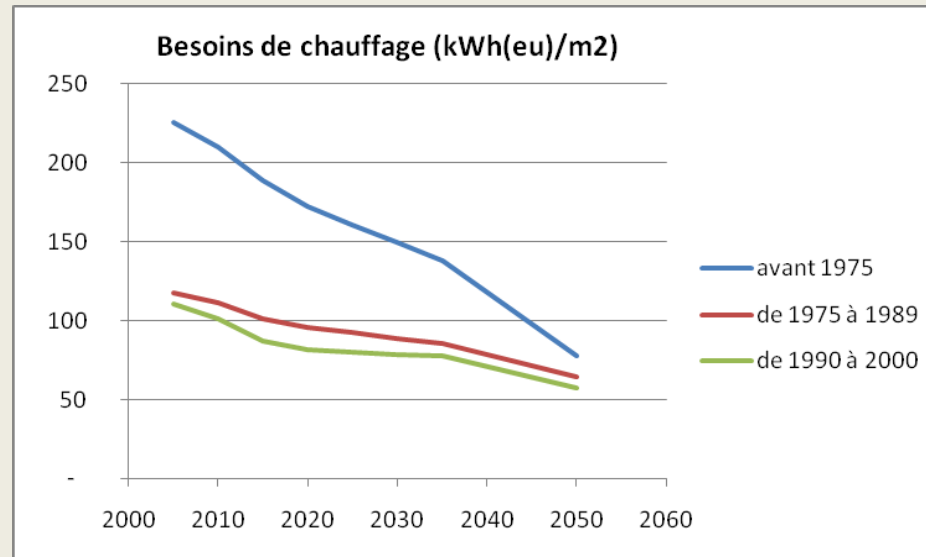
- Façade: 14 cm avec reconstruction du stuc
- Cave: 20 cm Mineralwolle (WLG35)
- Toit: 24 cm Mineralwolle (WLG 35)
- Triple vitrage
- Pompe à Chaleur 39 kW
- VMC double flux



# Présentation des MTD (meilleures technologies disponibles) en réhabilitation du bâti

## Réhabilitation du bâti: Présentation des MTD retenues (meilleures technologies disponibles)

Parois extérieures opaques	Epaisseur isolant (m)	Conductivité (W/m.K)	Résistance thermique (m <sup>2</sup> .K/W)
ITI Polystyrène	0,10	0,032	3,13
ITE Polystyrène extrudé + enduit	0,15	0,03	5,00
<b>Toiture</b>			
ITI combles perdus Laine de roche	0,20	0,035	5,71
IT rampant Laine de roche	0,18	0,035	5,14
ITE toit terrasse Polyuréthane	0,15	0,03	5,00
<b>Planchers bas</b>			
Sur local non chauffé Polyuréthane (cave, ou vide sanitaire accessible)	0,10	0,03	3,33
Terre battue ou existant vers Plancher chauffant basse température	0,08	0,032	2,50
<b>Menuiseries/ Vitrages</b>		<b>Coefficient U (W/m<sup>2</sup>.K)</b>	
Vitrage à isolation renforcée (faible émissivité, argon) Menuiseries bois (ou PVC)		1,5	0,67



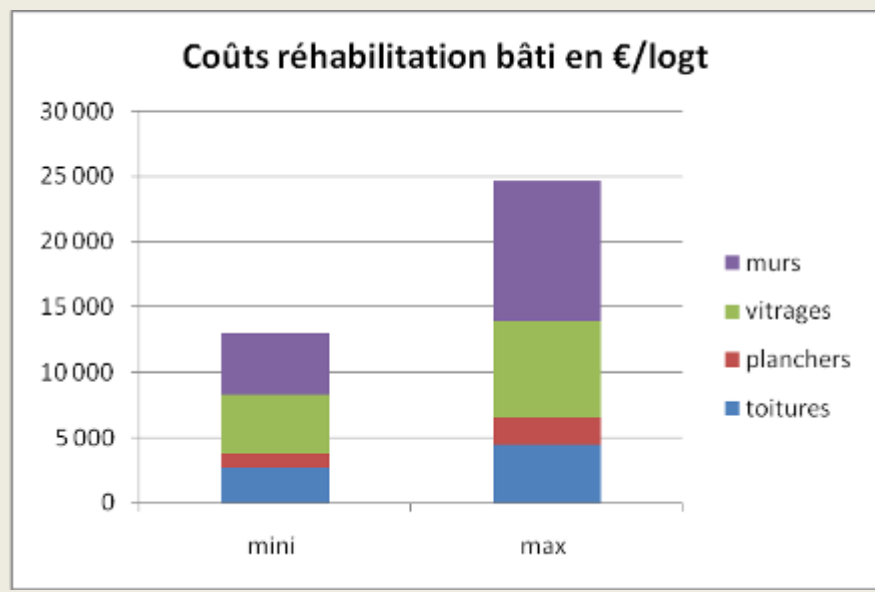
**Décroissance des besoins de chauffage unitaires exprimés en énergie utile pour trois périodes de construction, par réhabilitation progressive du parc entre 2005 et 2050.**

# Evaluation des coûts hors équipement (cumul à 2050)

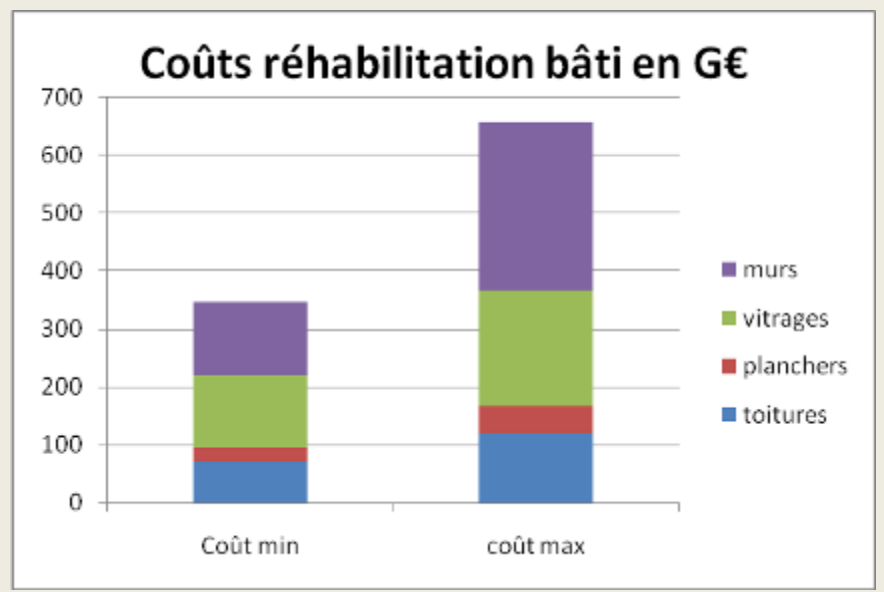
**Estimation des coûts de réhabilitation selon le composant d'enveloppe**  
 (Nombre de logements : base 2004 incluant les vacants)

	Toitures	Planchers	Fenêtres	Murs	Total
Coût mini (G€ HT)	71	23	124	127	345
<i>En %</i>	<i>21</i>	<i>7</i>	<i>36</i>	<i>37</i>	<i>100</i>
Coût maxi (G€ HT)	118	47	200	291	656
<i>En %</i>	<i>18</i>	<i>7</i>	<i>30</i>	<i>44</i>	<i>100</i>
Nombre de logements (en M)	27,145	21,877	27,145	27,145	
<i>En %</i>	<i>100</i>	<i>81</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	

(en €HT par logement, prix 2005)

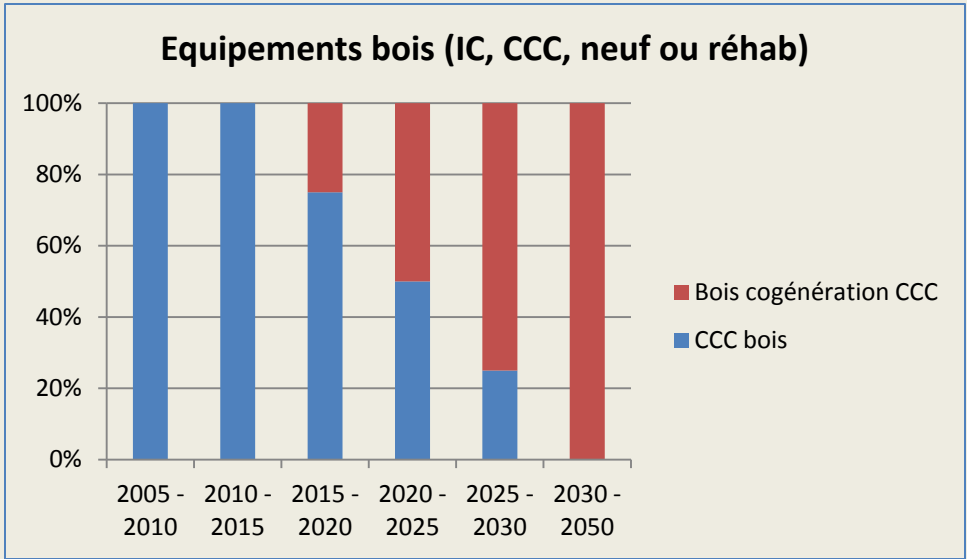
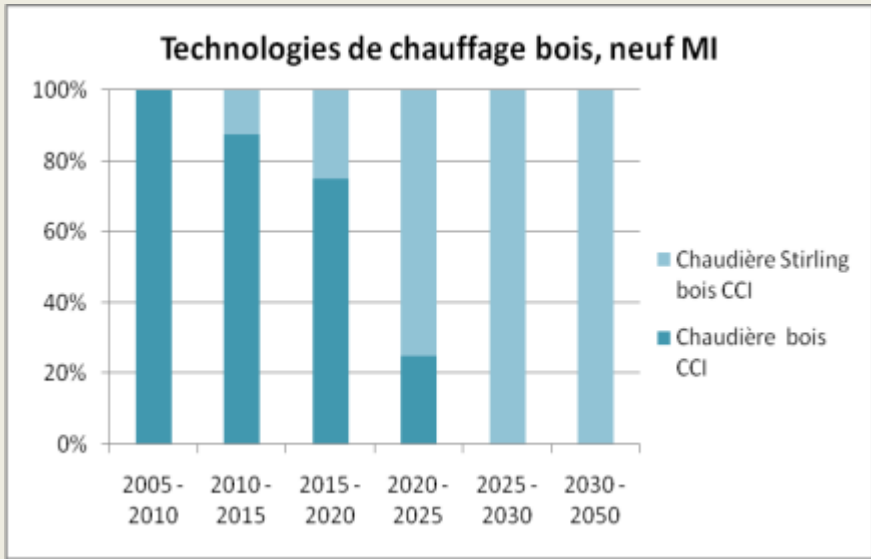


(en G€HT pour l'ensemble du parc, prix 2005)





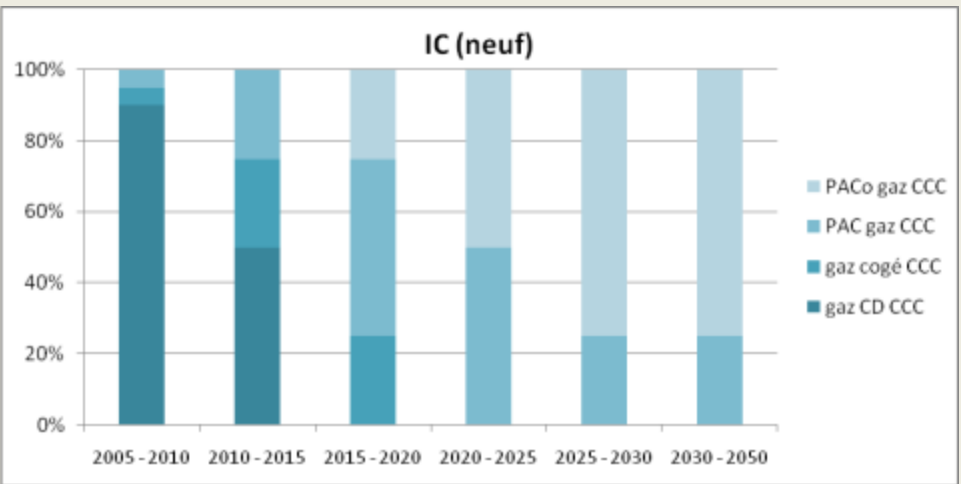
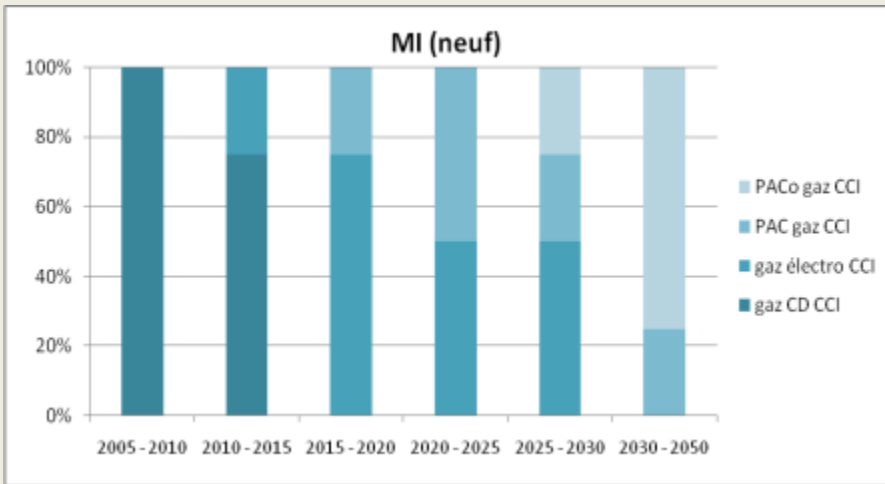
# Technologies de chauffage/ECS BOIS



Rendements neuf	chauffage	ECS	Efficacité élec.
Chaudière bois MI CCI	0,75	0,7	
Chaudière Stirling bois MI CCI	0,65	0,6	0,1
Chaudière CCC bois	0,75	0,7	

Rendement (neuf ou réhab)	chauffage	ECS	Efficacité élec
Bois chaudière CCC	0,75	0,7	
Bois cogénération CCC	0,6	0,7	0,15

# Pénétration des Technologies GAZ dans le neuf



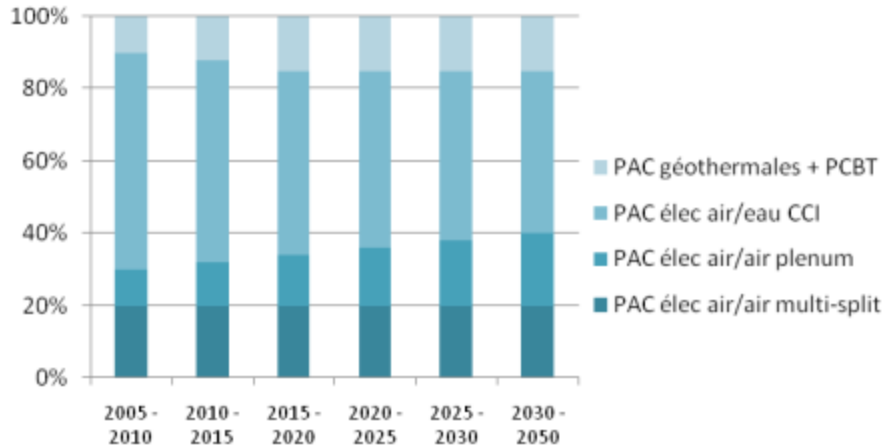
Rendement neuf MI	chauffage	ECS	Efficacité élec
gaz CD CCI	0,95	0,85	
gaz électro CCI	0,8	0,7	0,15
PAC gaz CCI	1,3 / 1,7	1	
PACo gaz CCI	0,5	0,4	0,45

Rendement neuf IC	chauffage	ECS	Efficacité élec
gaz CD CCC	0,95	0,9	
gaz cogé CCC	0,65	0,6	0,30
PAC gaz CCC	1,3 / 1,7	1	
PACo gaz CCC	0,5	0,45	0,45

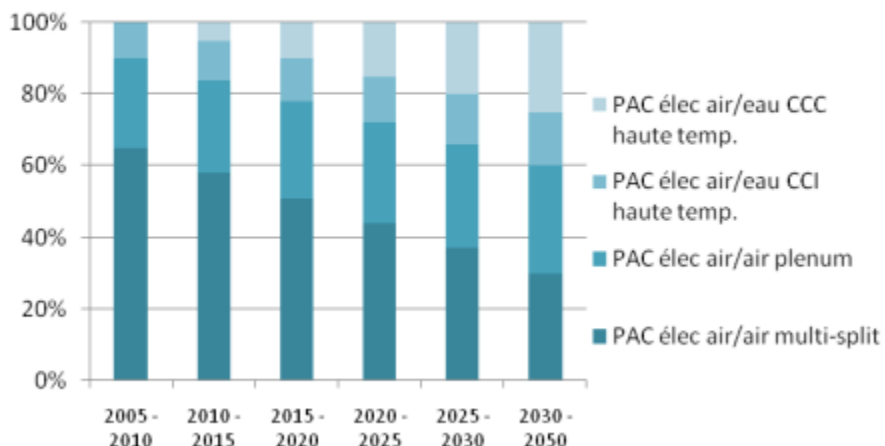
Dès 2015, les systèmes de micro-cogénération concernent 100% des logements neufs équipés au gaz.

# Technologies de chauffage PAC Electriques (réhabilitation)

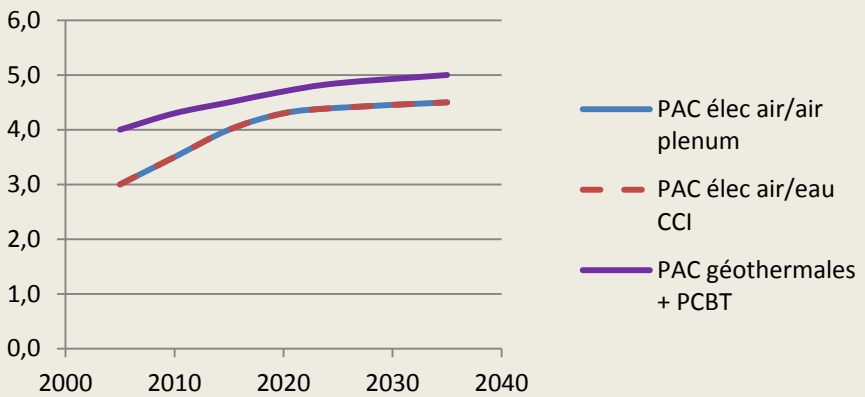
## PAC en réhabilitation MI



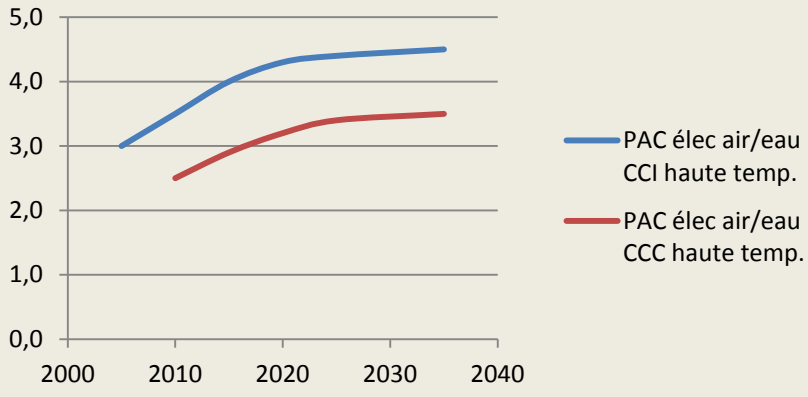
## PAC en réhabilitation IC



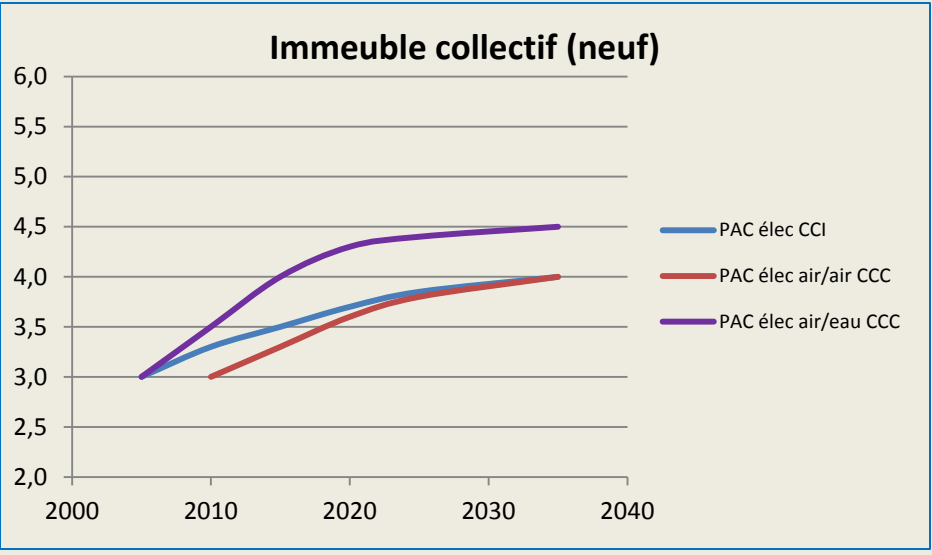
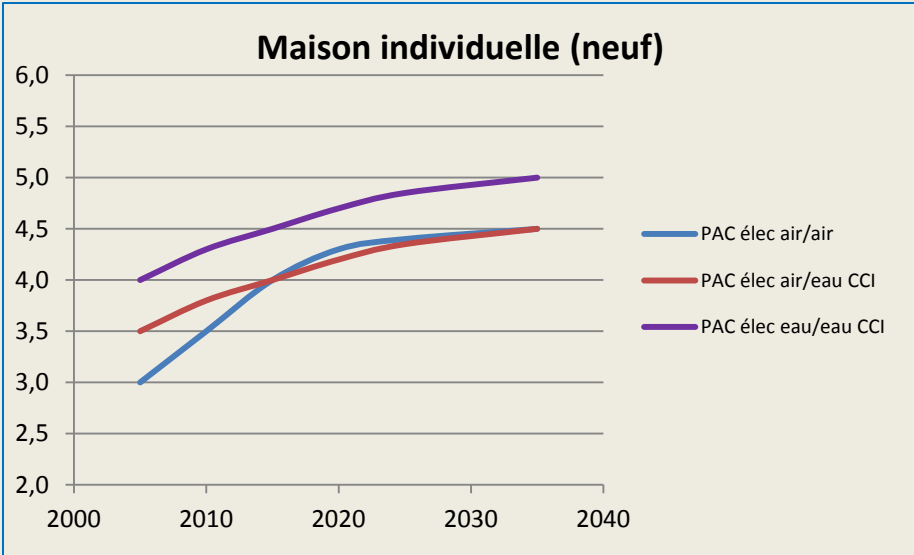
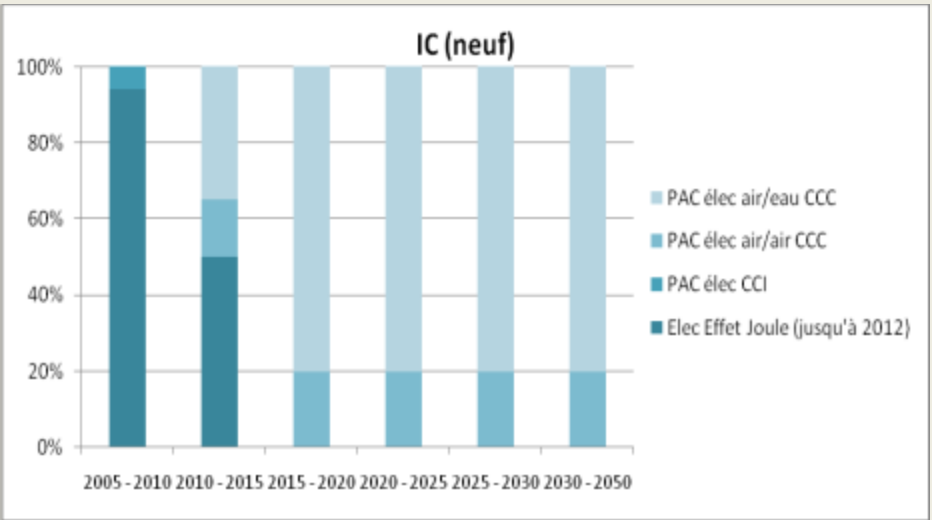
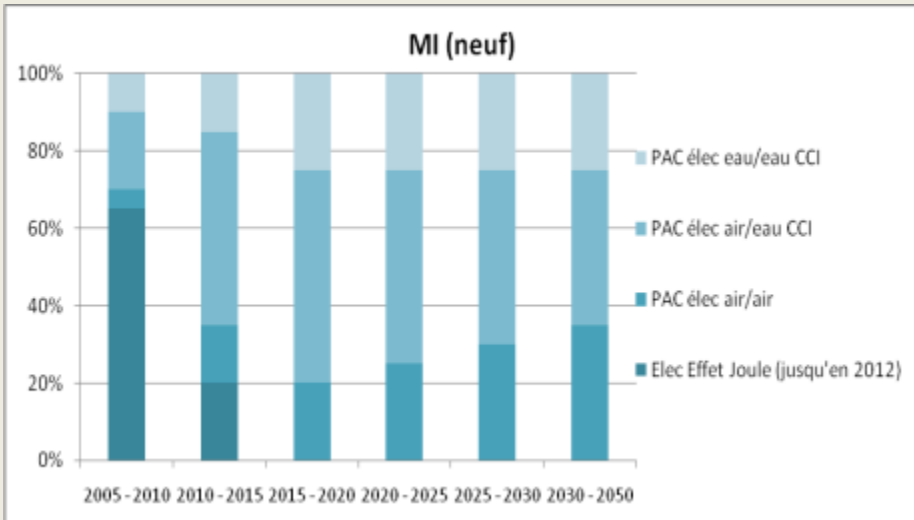
## COP (MI réhab)



## COP (IC réhab)



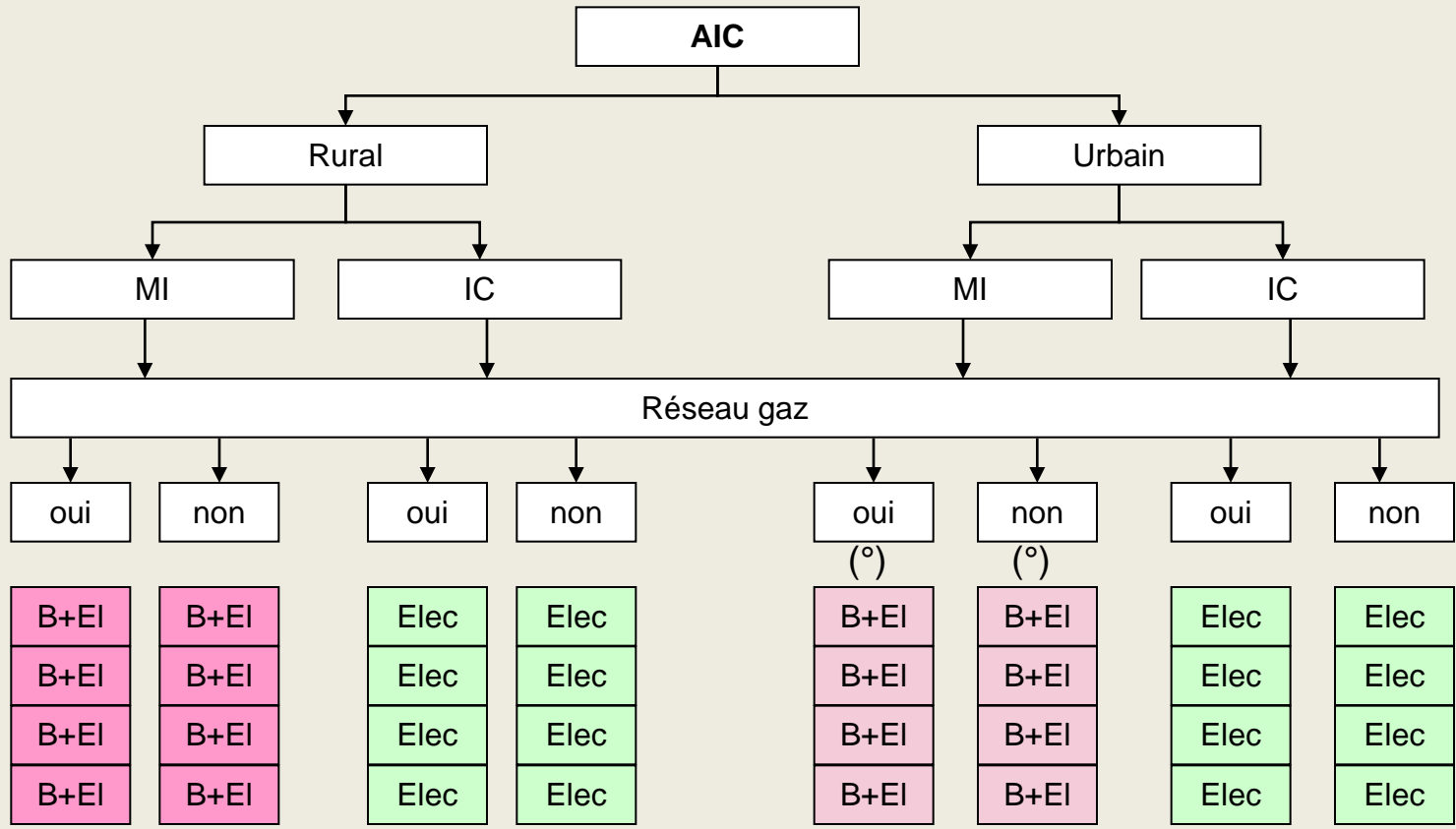
# Pénétration des Technologies de pompes à chaleur électrique dans le neuf



# Les quatre scénarios énergétiques contrastés:

- BOIS / GAZ / ELEC
- BOIS / ELEC / GAZ
- GAZ / BOIS / ELEC
- ELEC / BOIS / GAZ

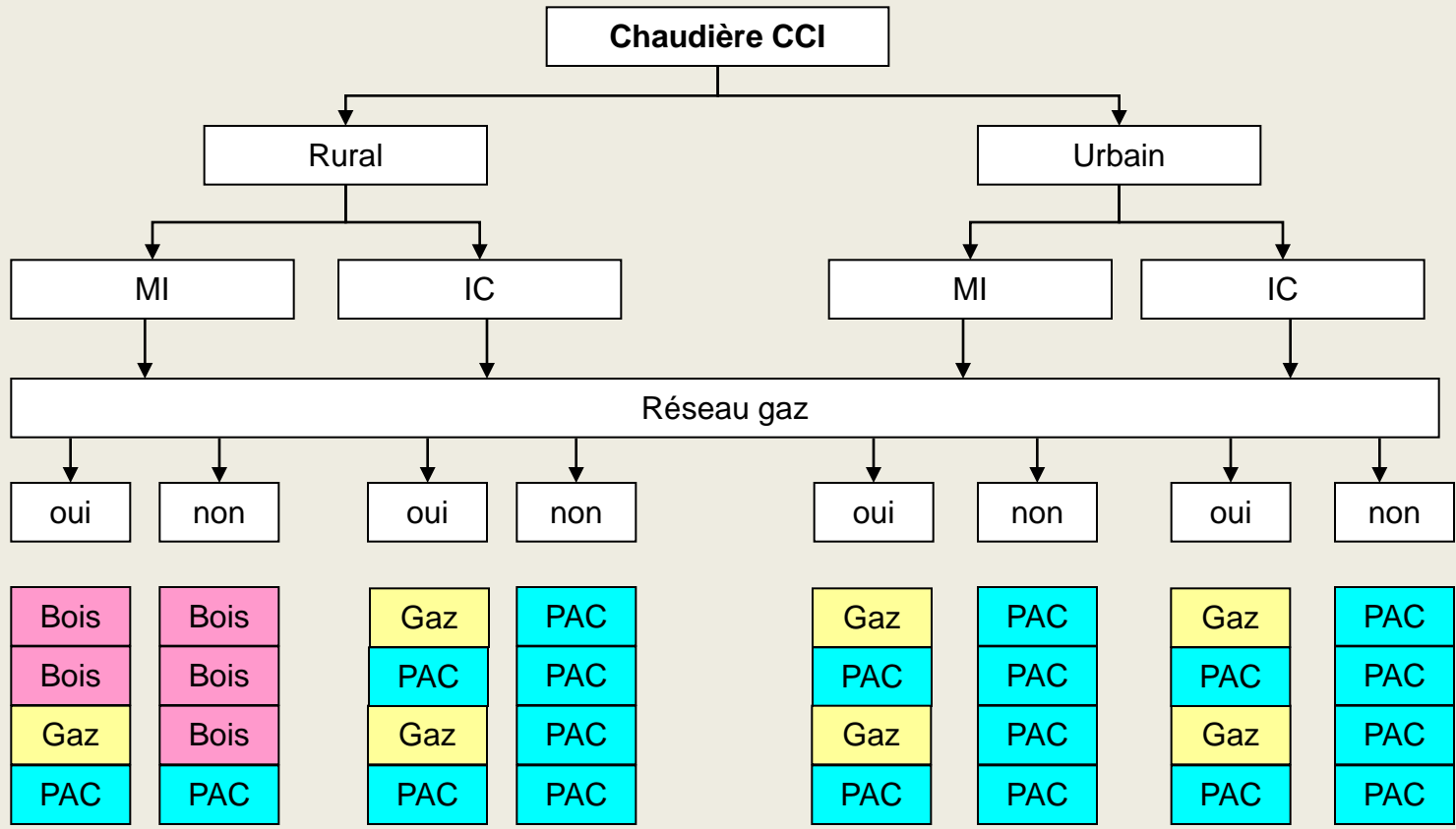
# Arbre de décision: rénovation système AIC (appareil indépendant de chauffage)



Deux solutions: Bois + élec ou Elec seul

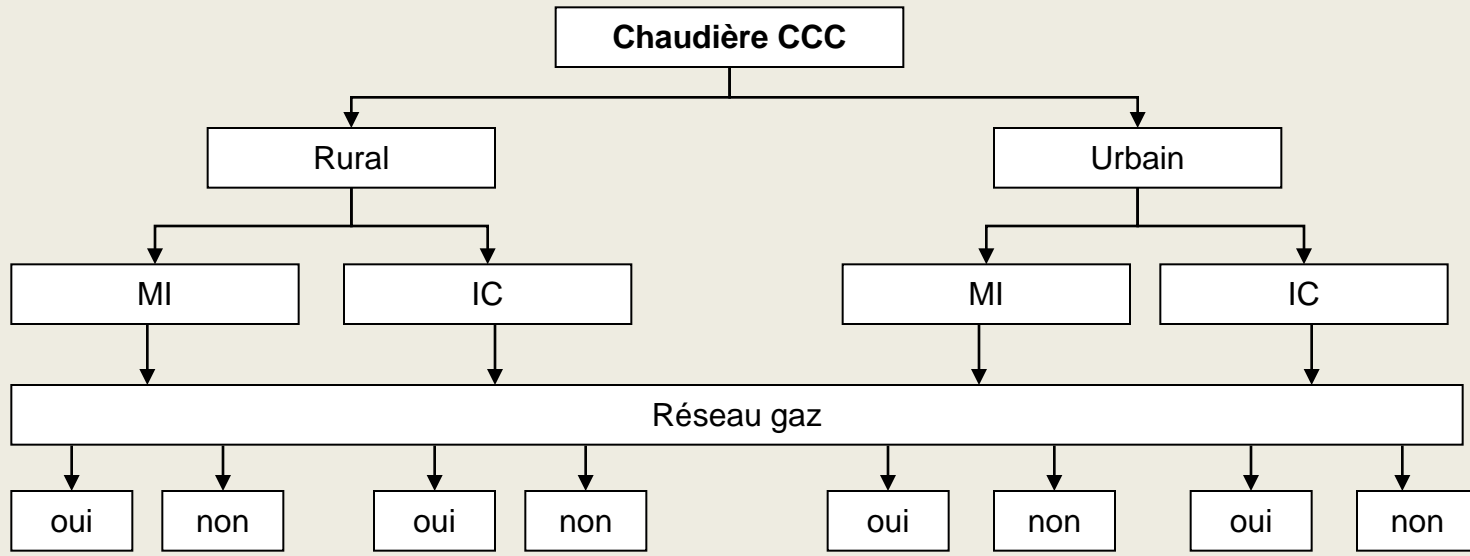
(°) Urbain, MI: Possibilité de maintien de l'AIC en bois

# Arbre de décision: rénovation système CCI (chauffage central individuel)



BOIS/GAZ/ELEC  
BOIS/ELEC/GAZ  
GAZ/BOIS/ELEC  
ELEC/

# Arbre de décision: rénovation système CCC (chauffage central collectif)

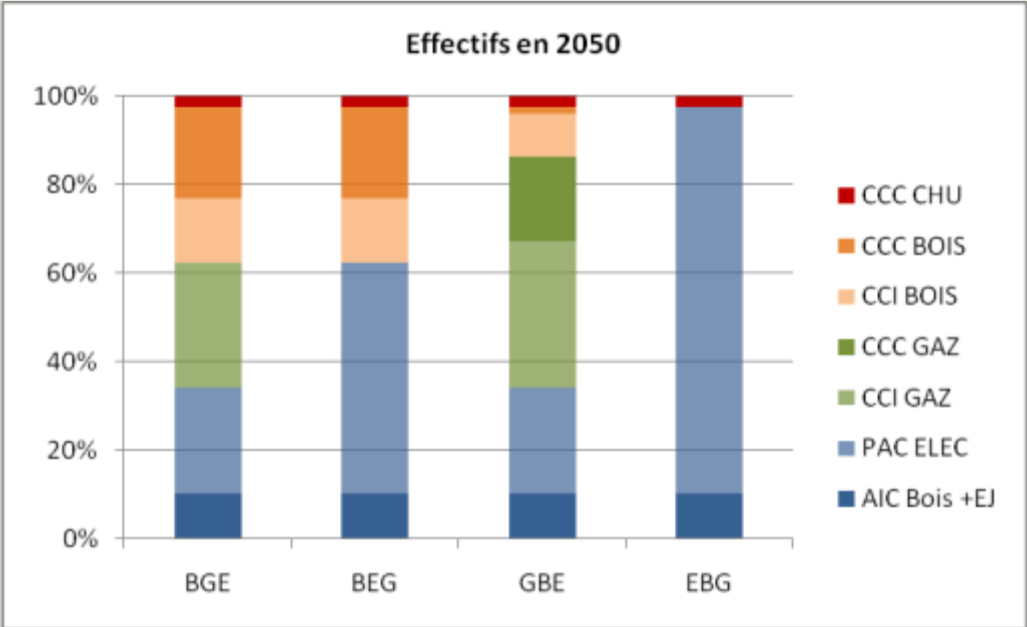


BOIS/GAZ/ELEC  
BOIS/ELEC/GAZ  
GAZ/BOIS/ELEC  
ELEC/

Bois	Bois	Bois	Bois
Bois	Bois	Bois	Bois
Gaz	Bois	Gaz	Bois
PAC	PAC	PAC	PAC



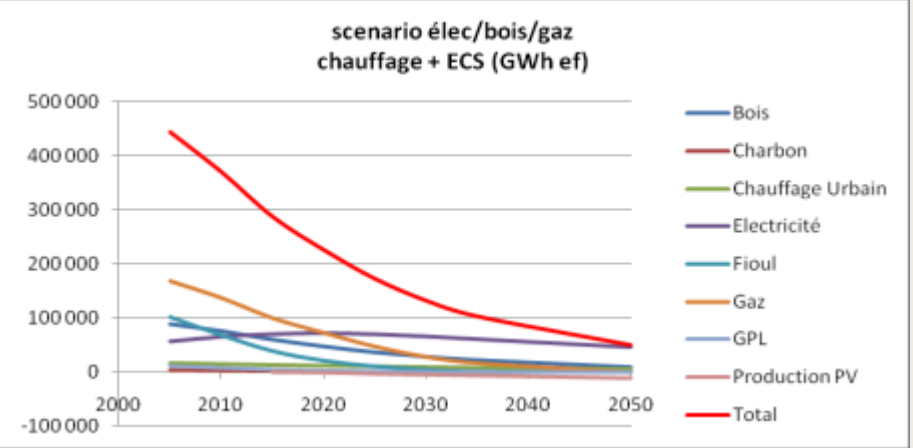
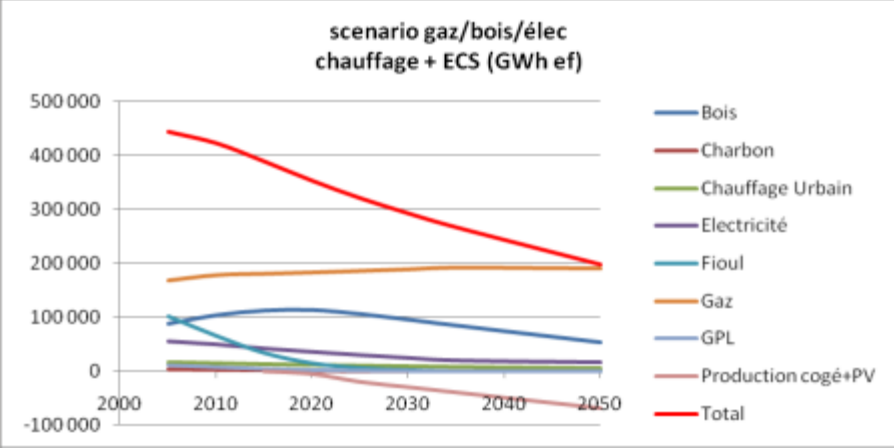
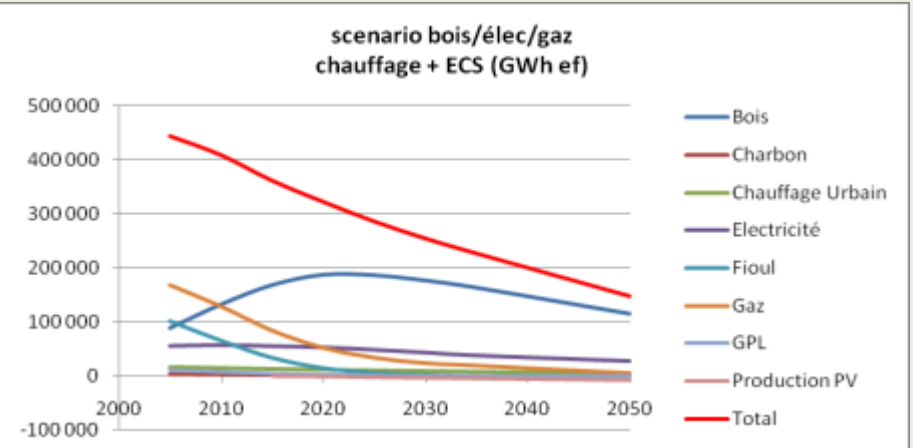
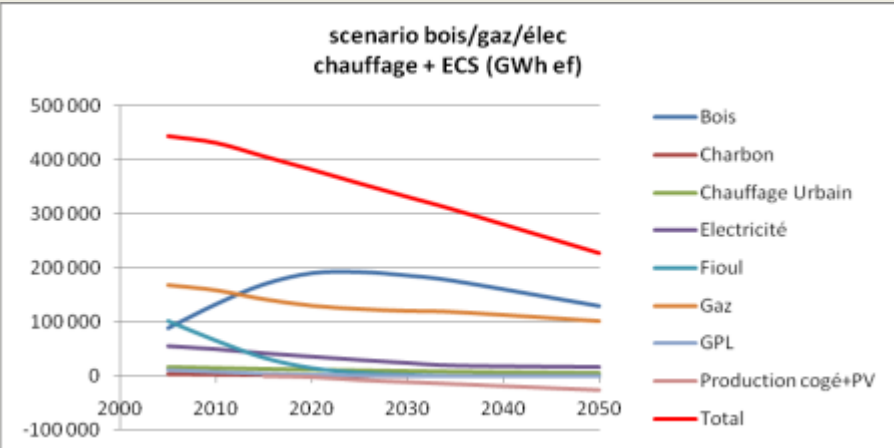
# Effectifs de logements en 2050 selon les 4 scénarios



BGE (BOIS/GAZ/ELEC)  
BEG (BOIS/ELEC/GAZ)  
GBE (GAZ/BOIS/ELEC)  
EBG (ELEC/BOIS/GAZ)

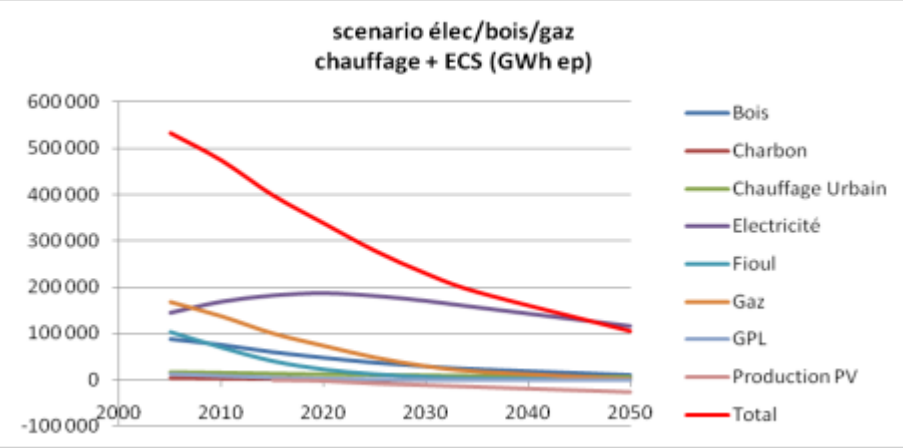
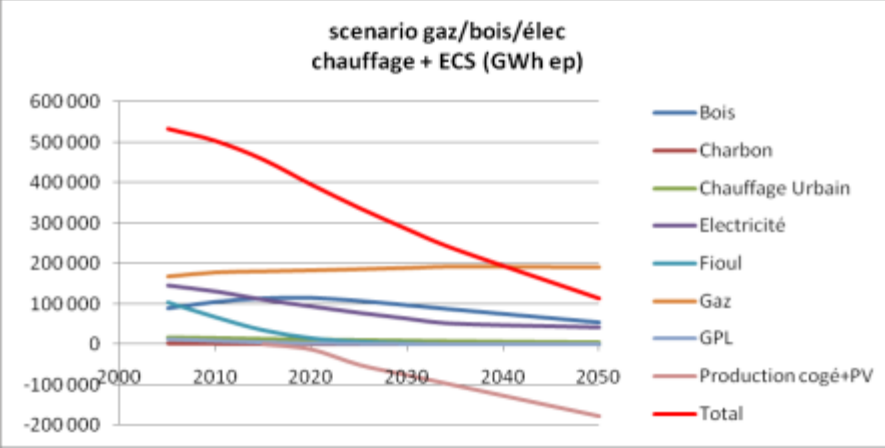
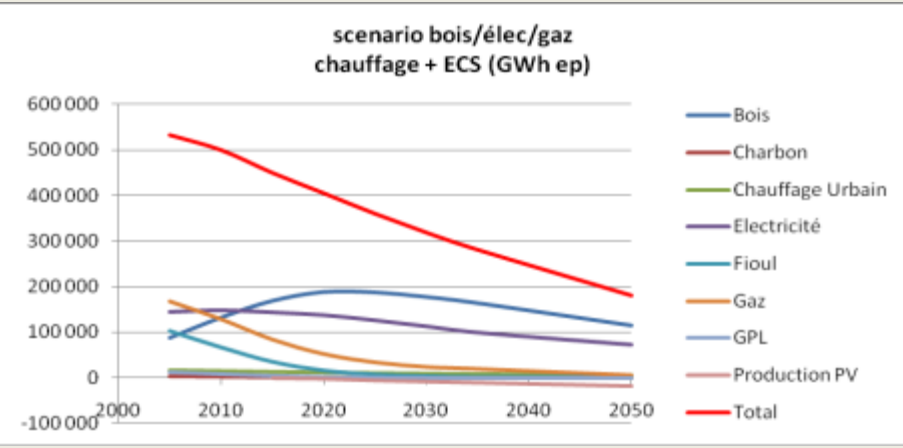
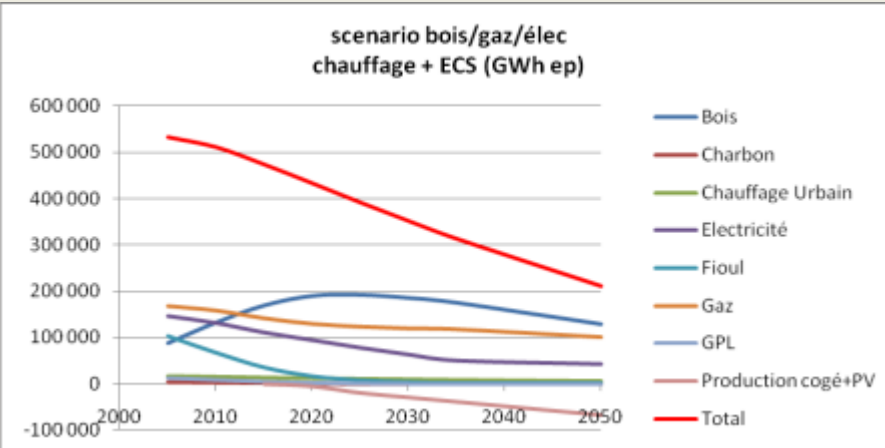
**Répartition des effectifs de résidences principales selon les énergies de chauffage, pour les quatre scénarios**

# Résultats en énergie finale pour les 4 scénarios



Facteur de réduction 2005/2050	BGE: 2	BEG: 3,0	GBE: 2,3	EBG: 8,8
--------------------------------	--------	----------	----------	----------

# Résultats en énergie primaire pour les 4 scénarios



Facteur de réduction 2005/2050	BGE: 2,5	BEG: 2,9	GBE: 4,7	EBG: 5,1
--------------------------------	----------	----------	----------	----------

## Conversion en CO<sub>2</sub> (émissions directes)

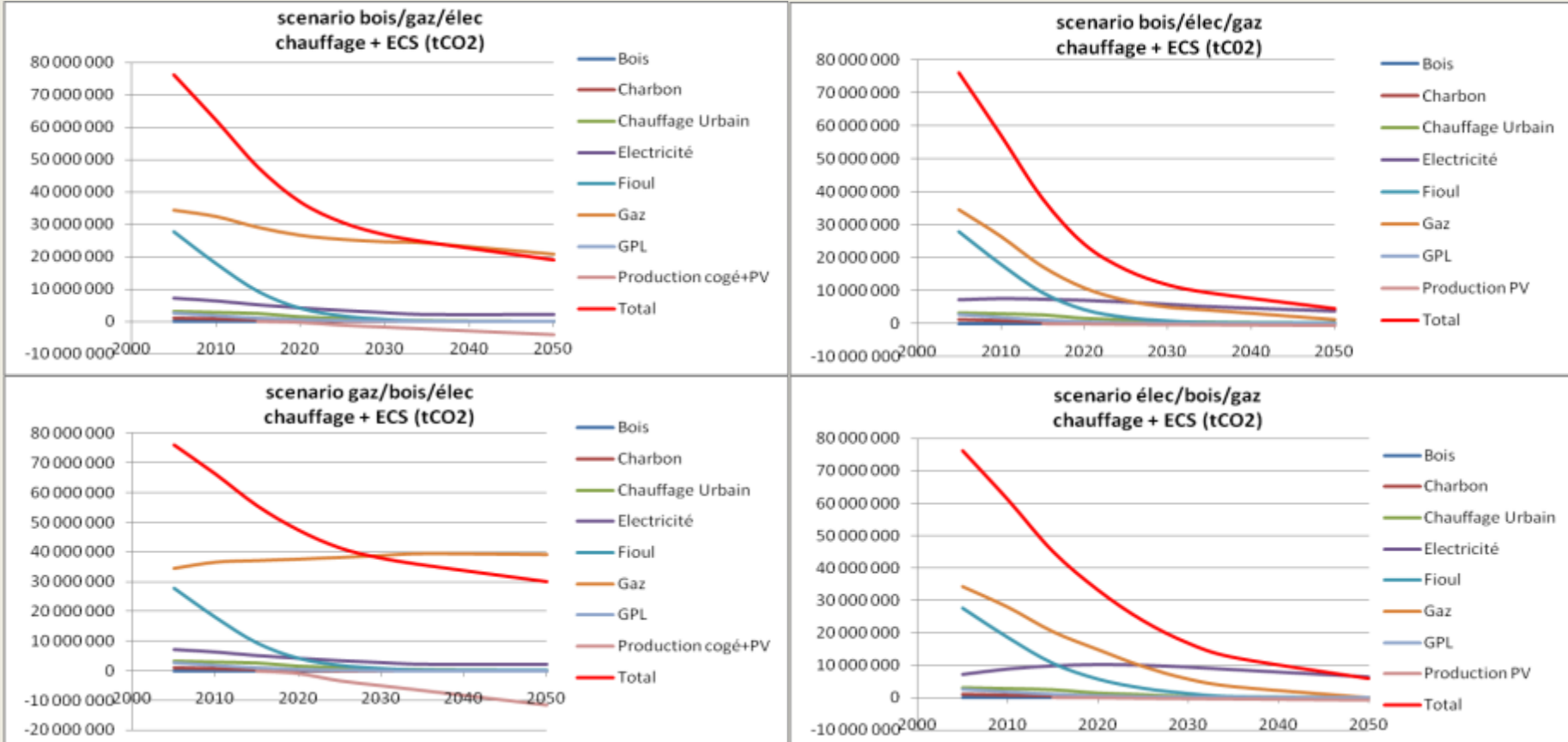
Energie de chauffage	gCO <sub>2</sub> /kWh <sub>ef</sub>
Charbon	355
Fuel	271
GPL	231
Gaz	205
Réseaux de chaleur urbains (2005/2050)	200 / 20
Bois	0
Electricité (chauffage / ECS)	180 / 40

Source : CITEPA pour les fossiles, AMORCE pour les réseaux de chaleur , ADEME-EDF pour l'électricité.

Deux corrections importantes :

- Prise en compte des émissions amont (ACV): + 30 g CO<sub>2</sub>/kWh<sub>ef</sub> environ
- Effet des courbes de charge électricité / mix de production sur le contenu CO<sub>2</sub> du kWh<sub>ef</sub>

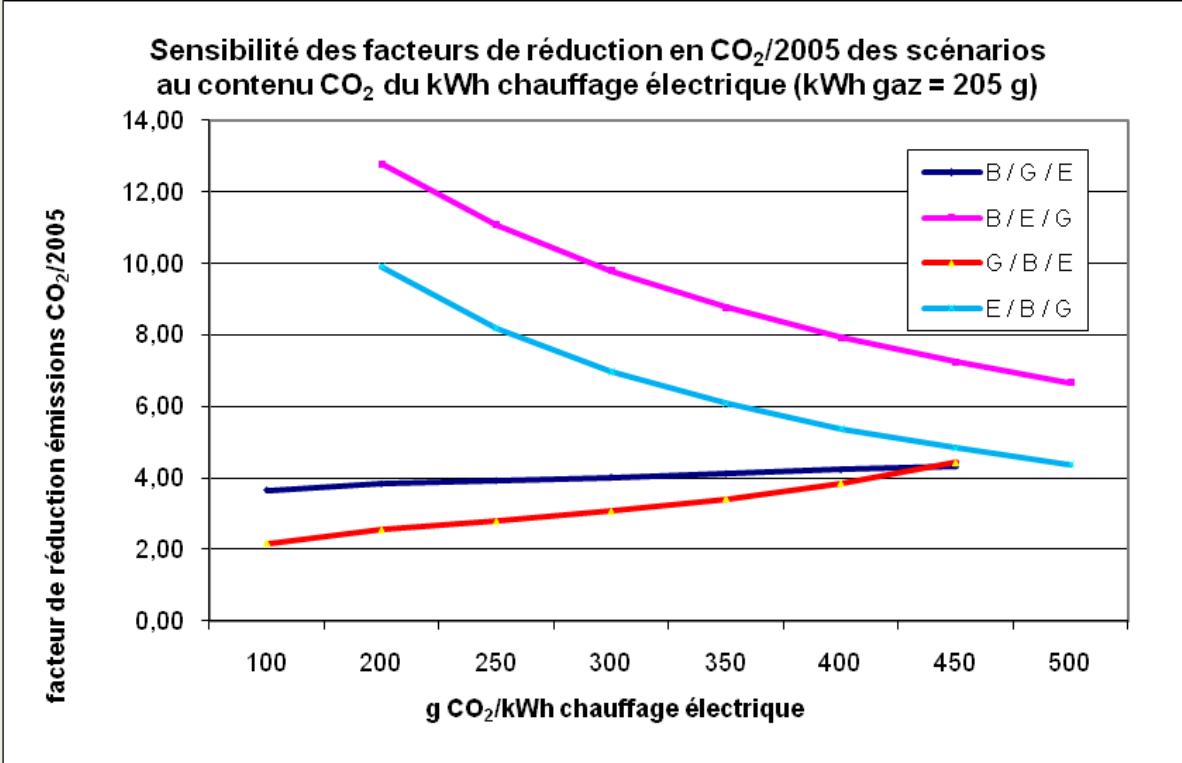
# Résultats en émissions de CO2 pour les 4 scénarios



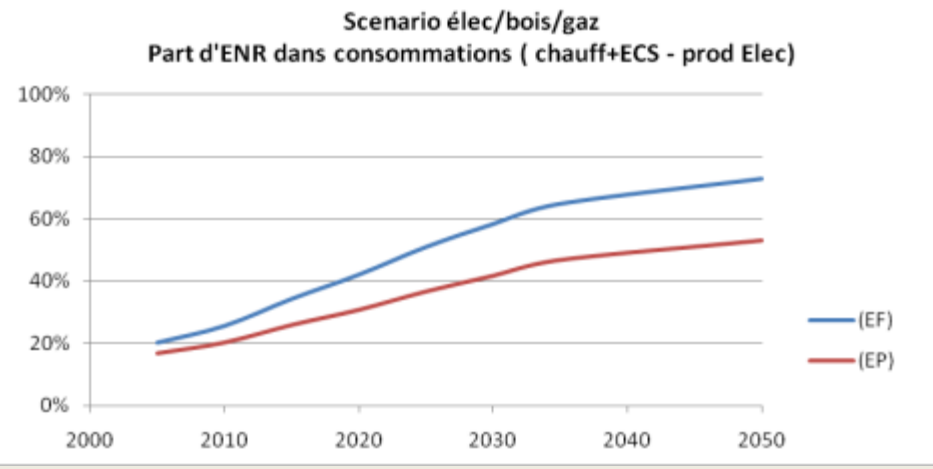
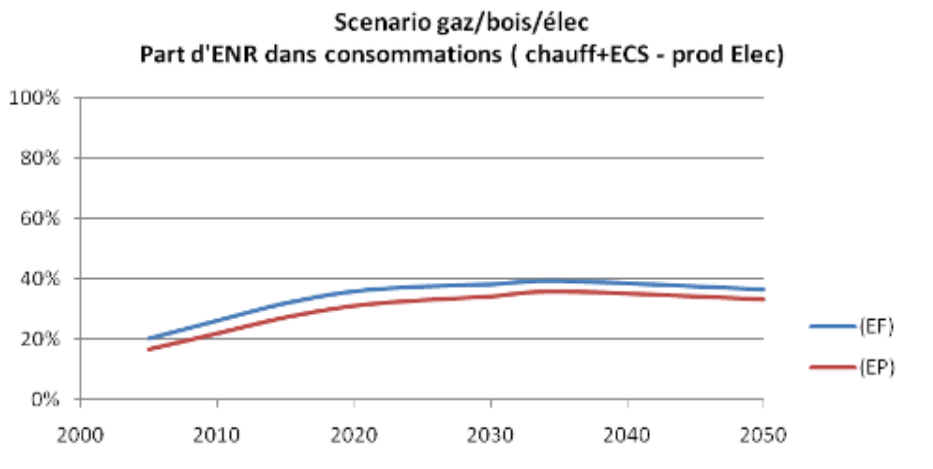
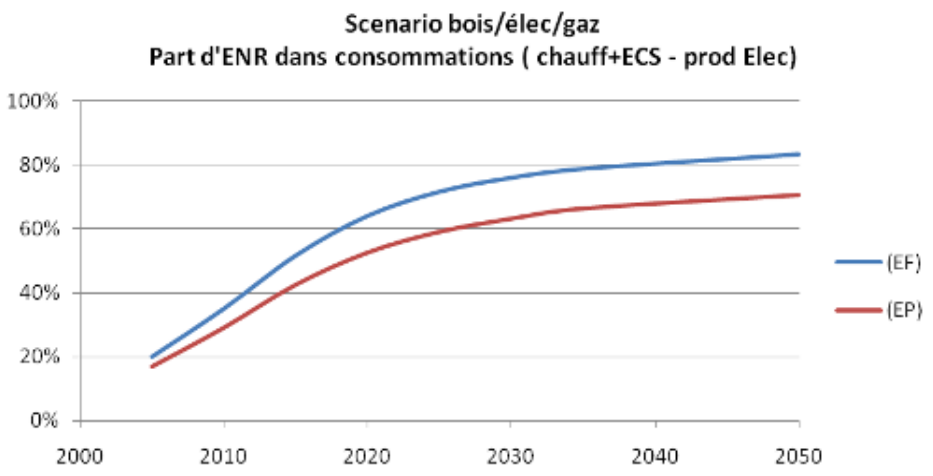
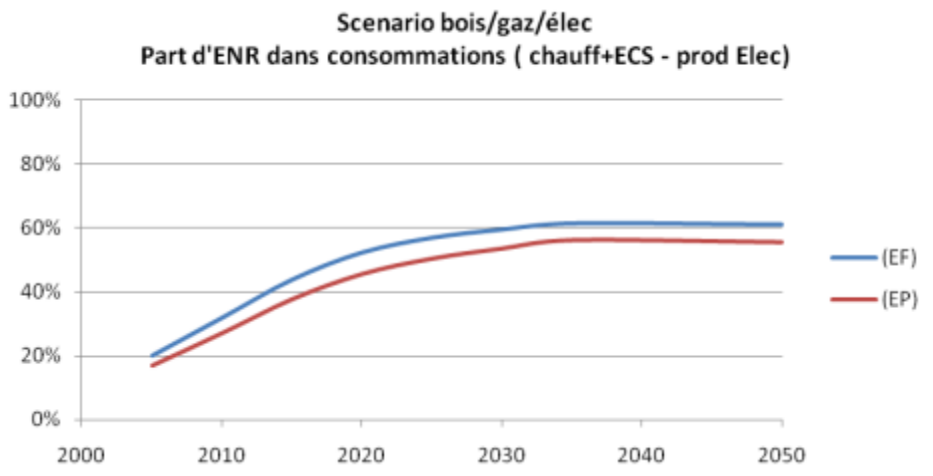
Facteur de réduction 2005/2050	BGE: 4	BEG: 16,7	GBE: 2,5	EBG: 12,8
--------------------------------	--------	-----------	----------	-----------

Pour l'électricité, les contenus CO2 adoptent les valeurs de la note ADEME EDF de 2005 (respectivement 40, 70 et 180 gCO<sub>2</sub>/kWh électrique pour l'ECS, la production PV, le chauffage et la cogénération).

## Sensibilité des facteurs de réduction en CO<sub>2</sub> obtenus en 2050 par rapport à la situation 2005



# Parts d'EnR thermiques dans les consommations (énergie finale et énergie primaire)



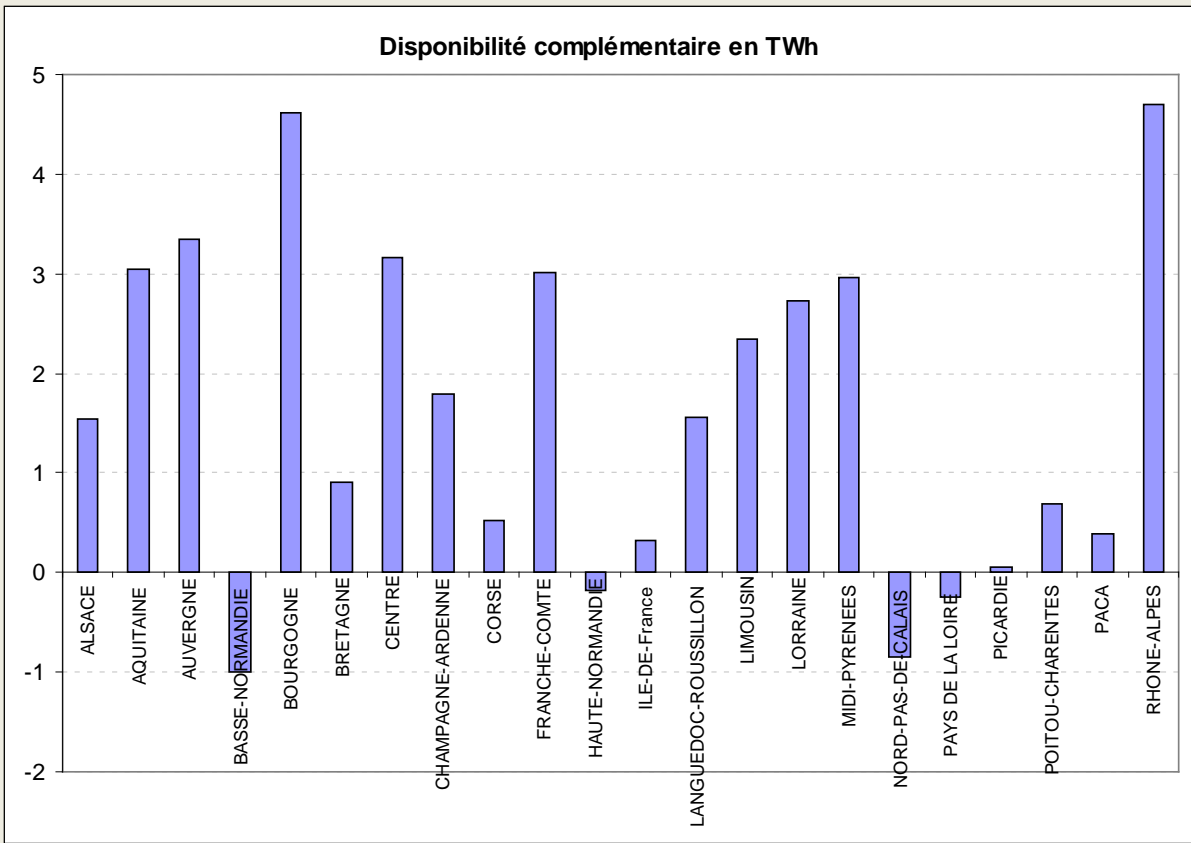
(Total Bois + Part EnR PAC + Solaire thermique) / (Total Chauffage ECS + Part EnR PAC + Solaire thermique), exprimée en GWh /an, en énergie finale puis en énergie primaire. La production électrique par cogénération gaz est déduite des consommations de chauffage + ECS

# Analyse de résultats, Scénarios Bois

Fort développement de la filière bois-énergie:

5,2 Millions de MI (CCI) et 7,4 Millions de IC (CCC) en 2050 + AIC + Chauffage urbain 2005 reconverti à la biomasse (80% + 20% appoint gaz)

Question du point de passage pour la ressource bois à 2020-2030, à 180 TWh contre 64 TWh en 2005.



**Disponibilité complémentaire en bois énergie selon les régions (en TWh/an).**

D'après : Cémagref, 2007.



# En relai du bois énergie (réseaux de chaleur) : la géothermie

Potentiel de la géothermie profonde estimé à 0,75 Mtep en 2020 soit 9 TWh

Cf. Grenelle de l'environnement, Comité opérationnel n° 10, *Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale 2008 - 2012 – 2020*, Rapport 2008.



**Gisement géothermique français moyen et profond**  
(source : *La géothermie en France*, Syndicat des énergies renouvelables, mars 2009)

# Les temps de l'énergie et la ville : Concentration – Dispersion

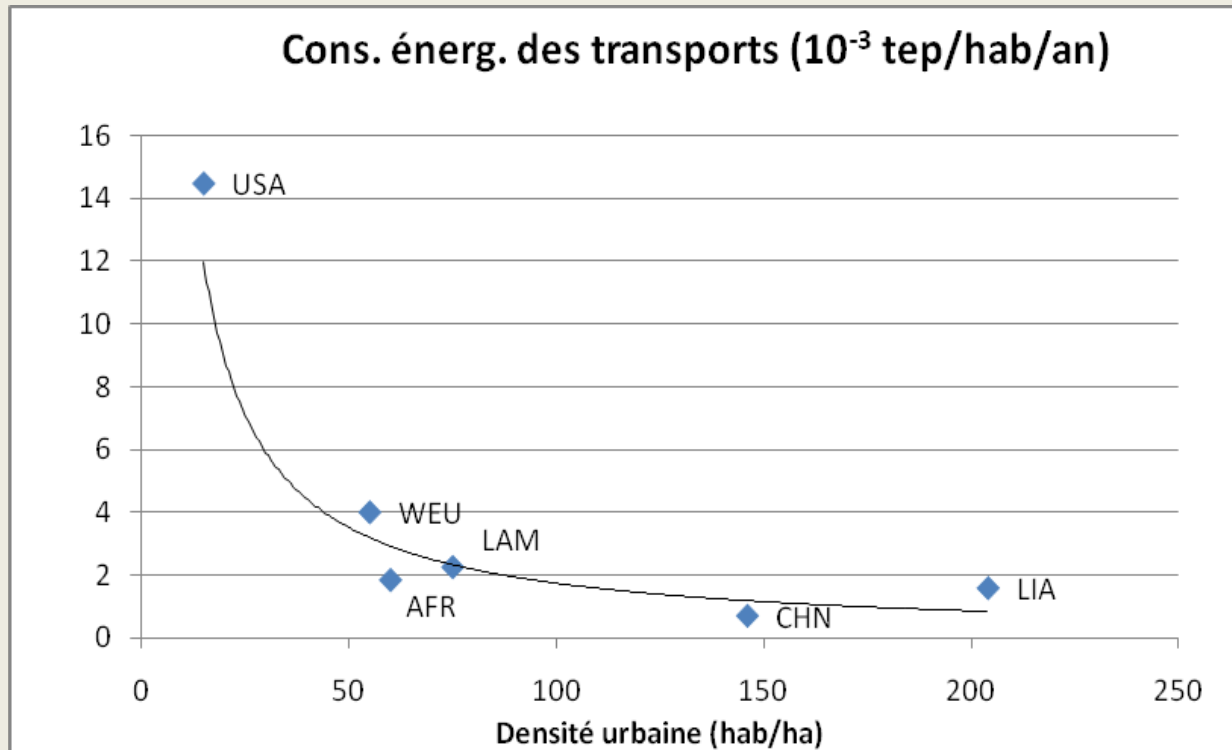


**Casares, Andalousie** : économie de moyens, mutualisation, économie circulaire, faible consommation de territoire

**Los Angeles**: consommations intensives (énergie, matériaux, eau, territoire, etc.), individualisation



# Corrélation consommation énergétique des transports et densité urbaine

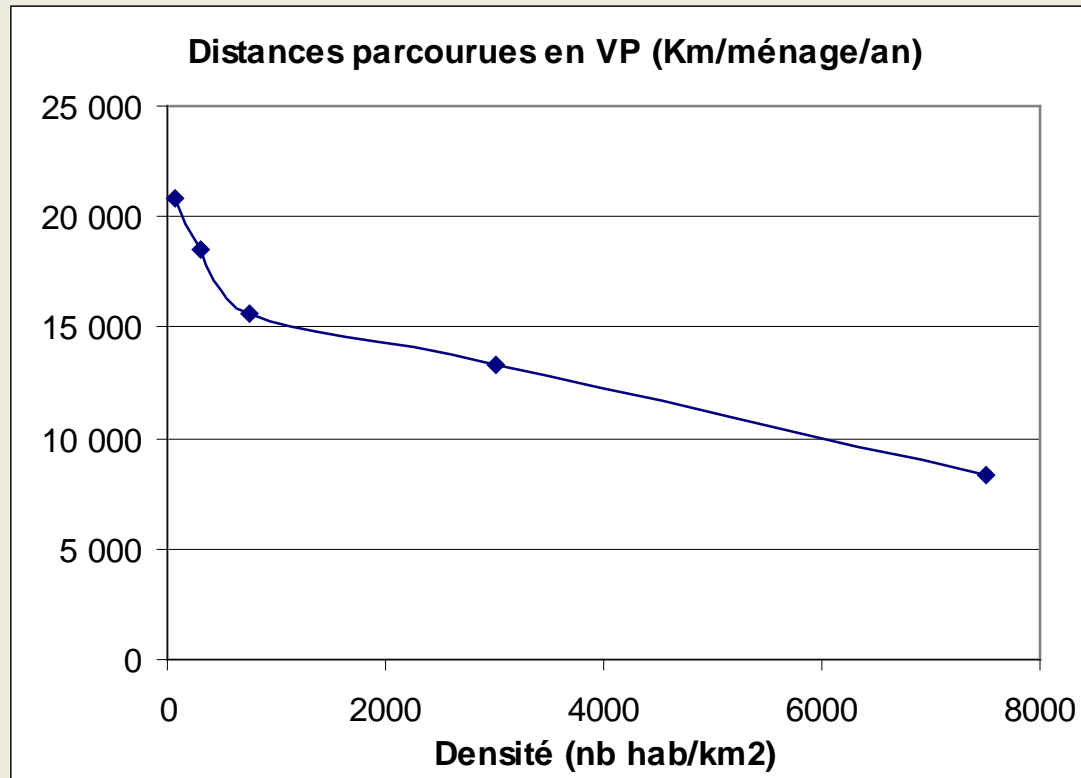


Courbe établie d'après Kenworthy, 2003, par grande zone géographique (données 1995).

USA: Etats-Unis; WEU: Western Europe ; AFR : Africa ; LAM : Latin America ;  
LIA : Low Income Asia ; CHN : Chine.

*Cf. Travaux de P-N Giraud et B. Lefevre*

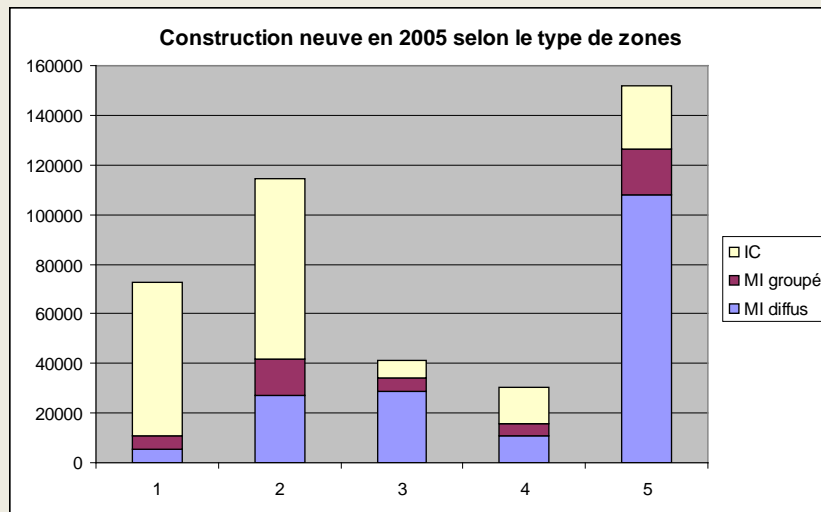
# Les distances parcourues en VP varient de 1 à 3 en fonction de la localisation



Source : L. Hivert, *Le parc automobile des ménages*, Enquête Parcauto 1998, (2000, cité par le LET, recherche ETHEL)

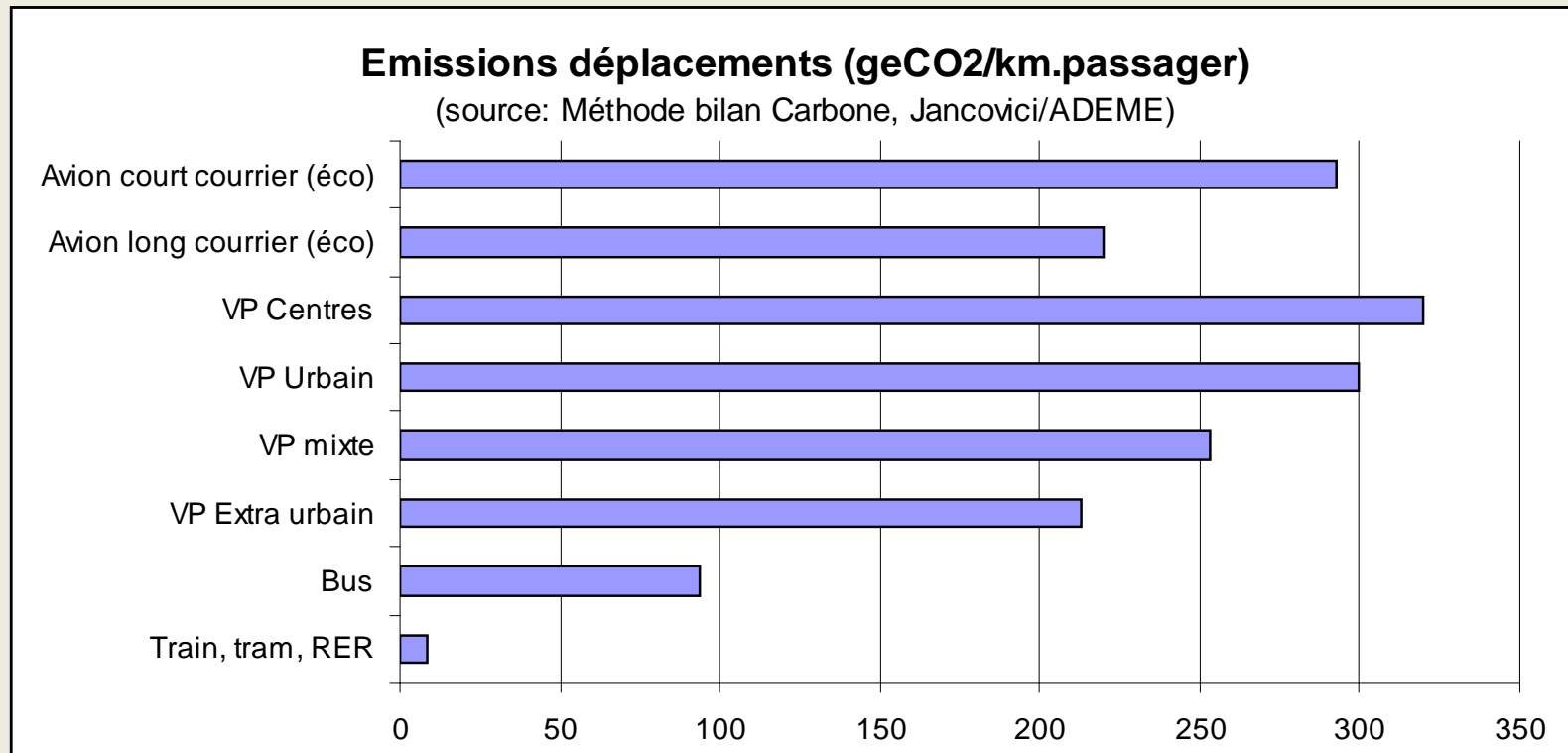
# Une dynamique urbaine favorisant le couple maison individuelle + automobile (étalement urbain)

- 2005: 410.000 logements mis en chantier, dont 108.000 MI en rural et en diffus (soit 26%), ce qui contribue à la déconcentration de l'habitat
  - En dix ans (de 1995 à 2005), alors que la population a crû de 4%, les terres urbanisées se sont étendues de + 17%, soit quatre fois plus vite ; elles ont doublé depuis 1945.
  - Les routes et parkings occupent 3% du territoire (artificialisation: 60.000 ha/an)
- (Source: *Manifeste pour les paysages, à l'initiative de la Fédération des Conservatoires d'espaces naturels et la Fédération Nationale des SAFER*, Janvier 2006).



- Zone 1, Aire urbaine (unités de plus de 30.000 hab, ville centre) ;  
Zone 2 : Aire urbaine, périphérie ;  
Zone 3 : Rurbain, communes non urbaines dt plus de 40% des résidents actifs travaillent en zones 1 ou 2 ;  
Zone 4 : Agglomérations secondaires (entre 2500 et 30000 habitants)  
Zone 5 : Espace rural.

# Des modes de déplacements éloignés de la neutralité carbone...



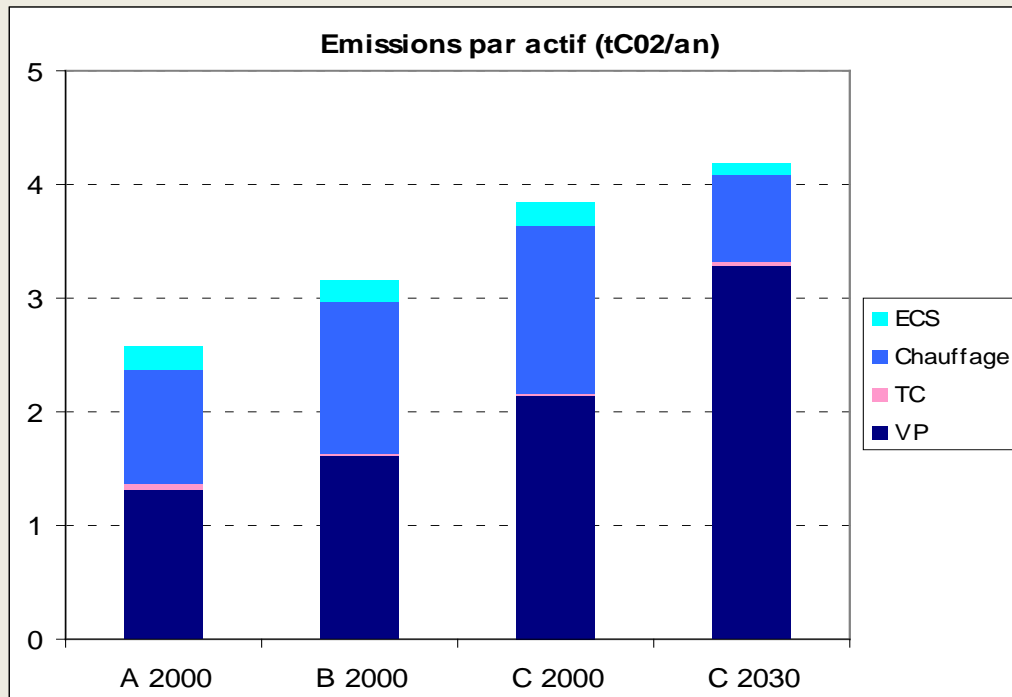
VP : pour une personne/véhicule, y compris 10,9 geC/km d'ACV.

Aérien : facteur 2 pour le forçage radiatif, mais sans ACV avion + aéroports

Bus : équivalent au covoiturage (4 personnes/VP)

Réseau régional rail : valeurs supérieures dans documents ADEME (moyenne 65 gCO2/km.passager)

# Bilan énergie-CO2 habitat – transports



A: communes centrales et denses  
B: zones périphériques peu ou moyennement denses  
C: zones rurales ou périurbaines, très peu denses

**Passage de la RT2005 au label Passive Haus : le gain de 60 kWh/m<sup>2</sup> est annulé par une distance supplémentaire parcourue en VP de 18 km/jour**

(VP : 330 j/an à 200 gCO<sub>2</sub>/km),  
(logement : 100 m<sup>2</sup> chauffés au gaz, à 205 gCO<sub>2</sub>/kWh)

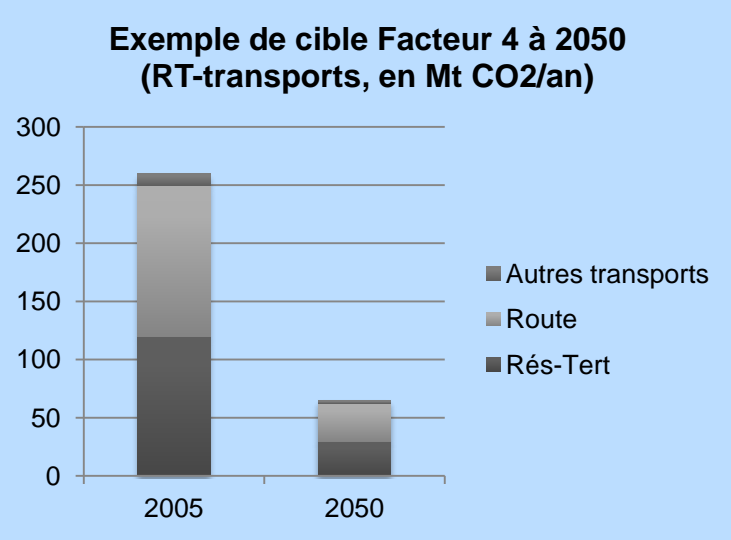
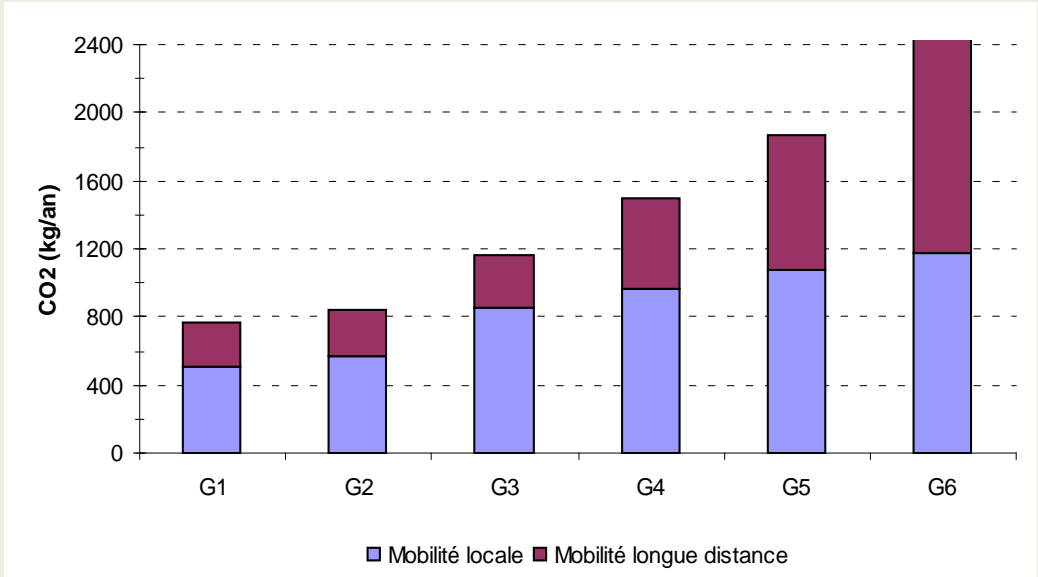
**Répartition des actifs en 2000** : 8 millions en A, 8,1 millions en B, 10,5 millions en C  
**VP en 2030**: 120 gCO<sub>2</sub>/km

## Hypothèses logement:

- Consommations et surfaces moyennes du parc en 2000 (selon répartition MI / IC)
- Gain de 50% sur la consommation chauffage + ECS en 2030, mais augmentation de la surface habitable

# La controverse: faut-il opposer centre - périphérie en termes de mobilité locale?

Double effet du revenu et de la localisation (i.e. de déterminants spatiaux appréhendés par les densités et types de tissus) dans l'explication des kilométrages parcourus, de la motorisation et des consommations de carburant.



Emissions mobilité globale selon le revenu (par sextile), données 1994:  
Croissance très forte de la mobilité longue distance (LET, ETHEL)

Face à la cible Facteur 4; quelles possibilités de compensation? (efforts sur le bâtiment *versus* efforts sur la mobilité courte distance / longue distance)

Les circuits courts des loisirs?



- ⌘ Evolution du parc dans une perspective « post carbone » et d'adaptation au changement climatique :
  - ☒ Evolution possible des modes d'habiter (exemple, cohabitation-colocation, corrélation cycle de vie / typologie d'habitat)
  - ☒ Renouvellement du parc accéléré pour certains segments (zones inondables? Périphéries peu denses ?)
- ⌘ Dynamiques urbaines à 2050
  - ☒ Les moyennes nationales effacent les dynamiques très différenciées des bassins de vie
  - ☒ Nécessité d'intégrer le tertiaire (diversité fonctionnelle, mais aussi évolution de la séparation habitat-travail)

# Sources bibliographiques

---

- Publications du CLIP: *Habitat et développement durable*, cf. [www.iddri.org/iddri/telecharge/cahier-du-clip/clip\\_13.pdf](http://www.iddri.org/iddri/telecharge/cahier-du-clip/clip_13.pdf))
- Habitat-transport : recherche ETHEL, cf. <http://ethel.ish-lyon.cnrs.fr> (voir travaux en cours)
- *Les annales de la recherche urbaine : La ville dans la transition énergétique*, n° 103, septembre 2007, PUCA.
- ONERC (Observatoire national sur les effets du réchauffement climatique), *Changement climatique, Coûts des impacts et pistes d'adaptation*, La Documentation française, 2009.
- Rapports du Grenelle de l'environnement et rapports des COMOP.
- Réseau SDEM/SCET, *Tendances Aménagement*, Juillet 2008, n°11.