

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_2 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_2 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:

TRAISNEL 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.

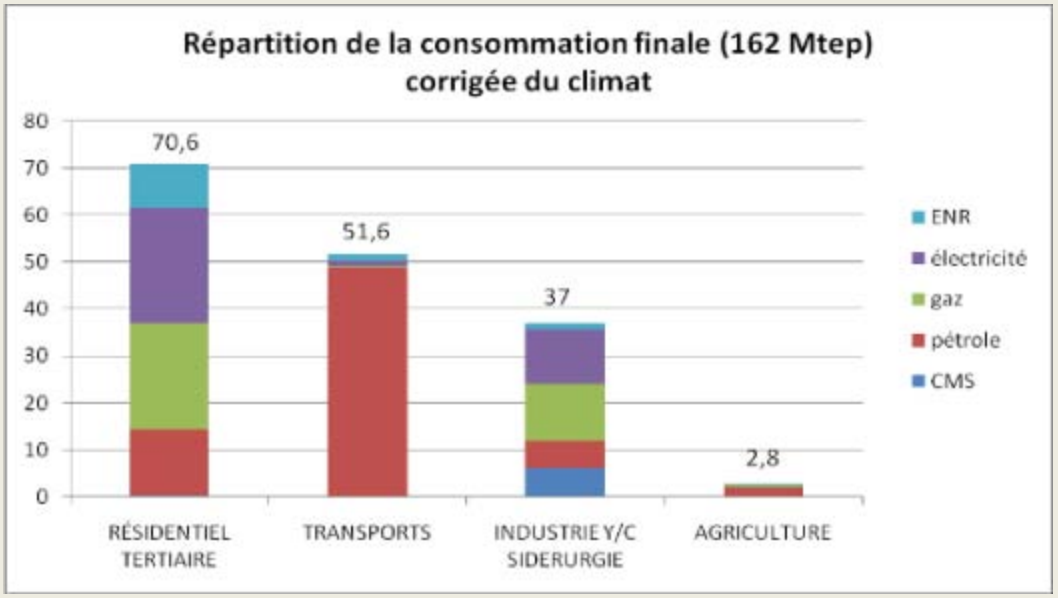
CENTRE D'ANALYSE STRATEGIQUE, *Perspectives énergétiques de la France à l'horizon 2020-2050*, 25 septembre 2007.

TRAISNEL J.P., Cahiers du CLIP n° 13, *Habitat et développement durable, étude rétrospective et prospective*, Mai 2001.

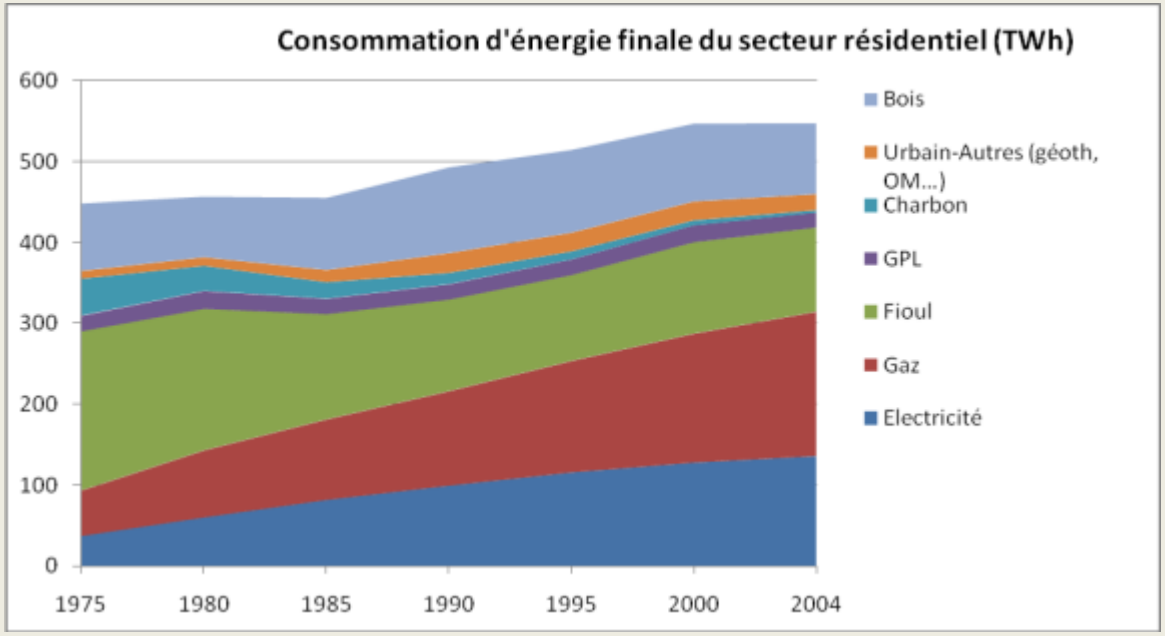
Les enjeux énergétiques et climatiques



Consommation finale énergétique, en millions de tep



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

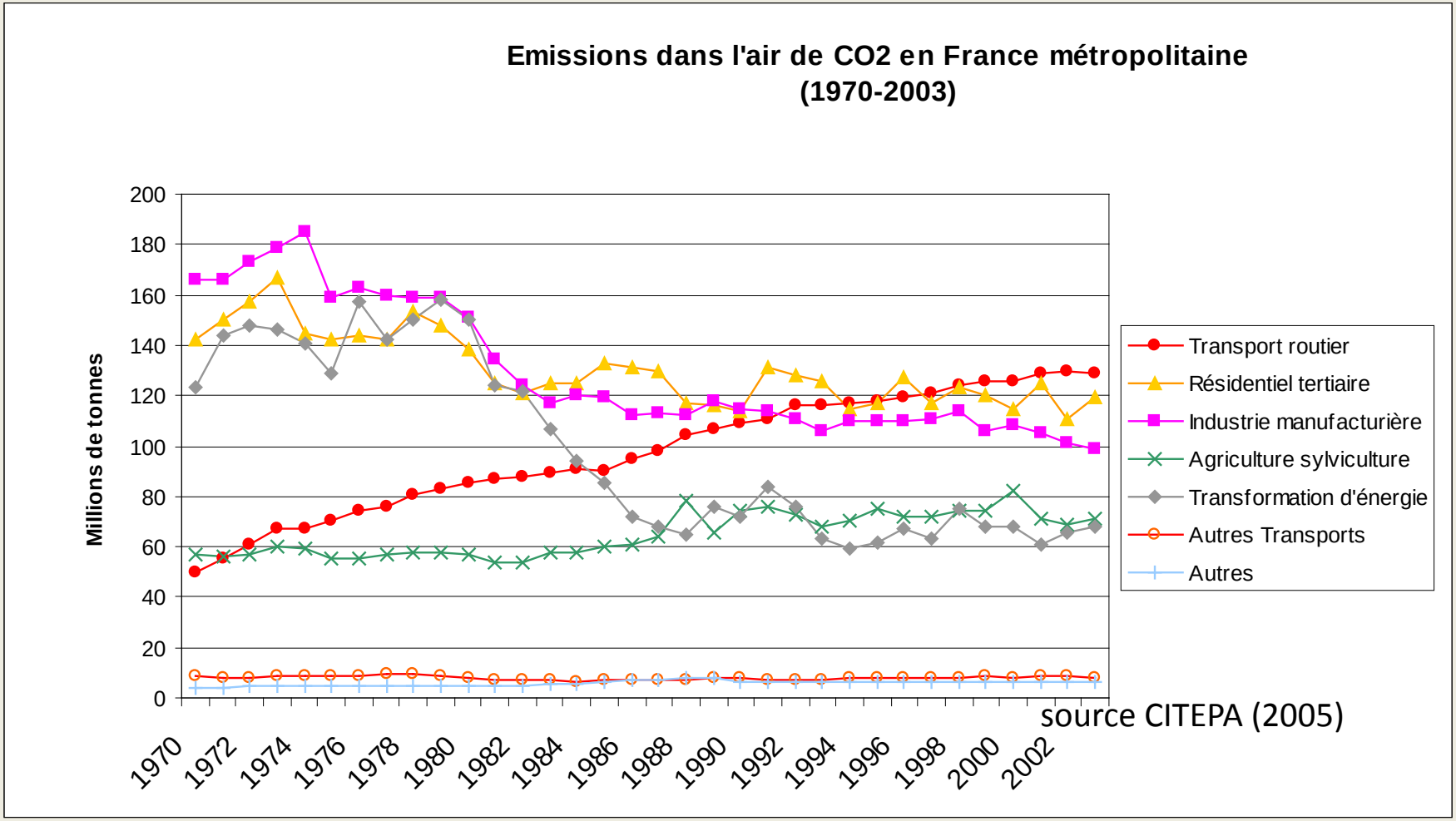


Consommation d'énergie finale du secteur résidentiel (TWh)

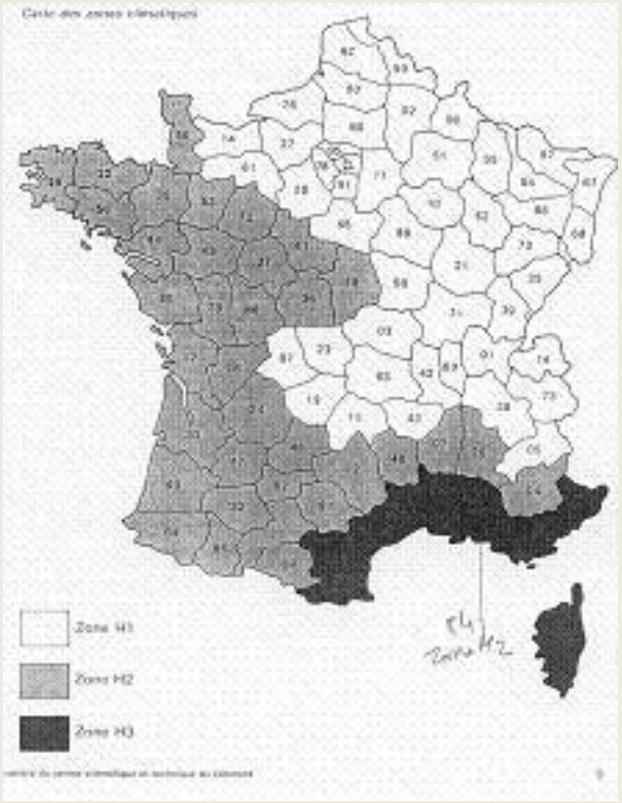
Source : CEREN. Conventions pour les combustibles : TWh PCI

1 tep= 11627 kWh (en finale)

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/m²	410	440	460

Données du bâtiment:
Surface chauffée: 72 (m2)
Volume chauffé: 180 (m3)

Sources: Methodes RT89 / 3CL / BE TRIBU
ZONE H1

COURS ENF 111 Jean-Pierre TRAISNEL

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

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 / 248 SE + 0,05 ΔUBAT (j) = W/m2.K 0,32 UBAT

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 x 0,4 x m3 180 = W/K 24 DR

DEPERDITIONS TOT
W/m2.K 0,32 UBAT x Taux (vol/h) 248 SE + VOLUME CHAUFFE m2 24 DR = W/K 105 DT

APPORTS INTERNES
kWh/m2.an 22,9 ALPHA x 72 surf chauff = kWh/an 1648,8 AI

Sse VITRAGES

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

APPORTS SOLAIRES
kWh/m2.an 410 E x m2 3,672 Sse x 0,85 = kWh/an 1280 AS

TOTAL APPORTS
1648,8 AI + 1279,692 AS = 2928,492 AI+AS

DEP TOT * DEG HEUR
104,8933 DT x 63 DH = kWh/an 6608,28 DTxDH

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

X (puissance IN)
0,443 X ^ 3,6 INERTIE = 0,053407 Xin

F = (X-Xin)/(1-Xin)
Taux de récup des apports
0,443 X - 0,053 Xin = 0,390 / 0,947 = 0,412 F
1 1 - 0,053 Xin = 0,947

BESOINS CHAUFFAGE
DT*DH*(1-F)
104,8933 DT x 63 DH x 0,588 (1-F) = kWh/an 3887 BVDH

CONSO chauffage
BVDH*Ich
kWh/an 3887 BVDH x 0,292 Ich = 1135 CCh

en m2/an
kWh/m2/an 1135 CCh / 72 Surf chauff = 15,8 CCh/m2

Conversion chauffage en énergie primaire
kWhep/m2/an 16 CCh/m2 x 2,58 CONVERSION = 40,7 CChep/m2

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

CONSO ECS
18 BECS x 1,44 lecs x (1 - 0,5 TAU SOL) = kWh/m2/an 13,0 Cecs/m2

Conversion ECS en énergie primaire
kWhep/m2/an 13,0 Cecs/m2 x 2,58 CONVERSION = 33,4 Cecsep/m2

CONSOMMATIONS AUTRES EN ENERGIE PRIMAIRE (ELECTRICITE)
kWhep/m2/an 6 Forfait éclairage + 2 Auxiliaires + 7 Ventilateurs = 15 Cautep

CONSOMMATION ENERGIE PRIMAIRE TOTALE
kWhep/m2/an 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

Taux (vol/h)

ventilation naturelle:	1,5
VMC SF	1
VMC DF avec récup	0,4

ALPHA

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

FS	vitrage simple	vitrage double
fen bois	0,56	0,48
fen métal	0,64	0,59
porte-fen bois	0,59	0,51
porte-fen mét	0,67	0,58

E

H1	H2	H3
410	440	460

DH milliers d'heures

H1	H2	H3
63	52	37

INERTIE

forte	3,6	Planchers, refends, murs lourds (isolation ext)
moyenne	2,9	Planchers lourds
faible	2,5	Murs lourds (maison individuelle)
tres 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		1,55

TAU SOL — pour 1m2 capteur par personne (pour 0 m2 : TAU SOL = 0)

H1	H2	H3
0,5	0,6	0,7

(taux de couverture solaire des besoins d'eau chaude sanitaire)

CONSOMMATION DES AUXILIAIRES (en kWhep/m2/an)

Chauff central	2
Autres	0

CONSOMMATION DES VENTILATEURS (en kWhep/m2/an)

Ventil naturelle	0
VMC simple flux	3
VMC double flux	7

U des murs toits et sols

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
	combles perdus			0,25		0,19		0,15	0,13
c	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

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





Les effectifs de logements / Le parc de résidences principales

Effectifs de logements en métropole (2000-2006)

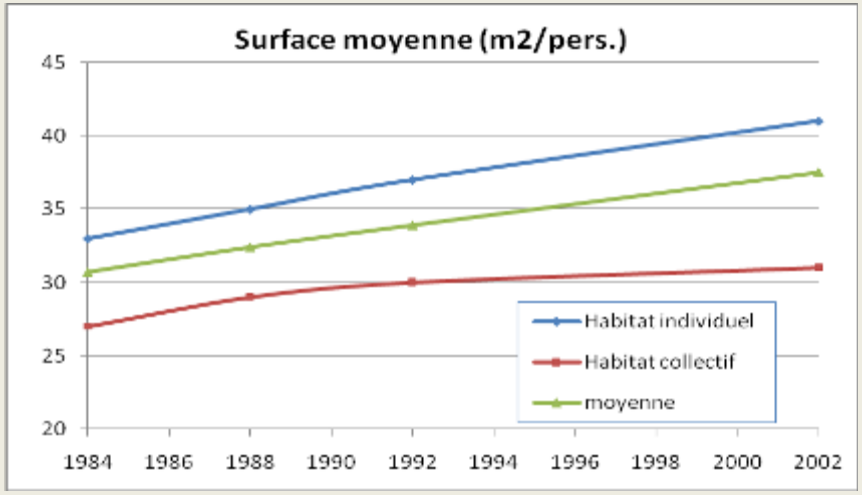
Effectifs en juillet de chaque année
Sources : Comptes du logement 2006

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

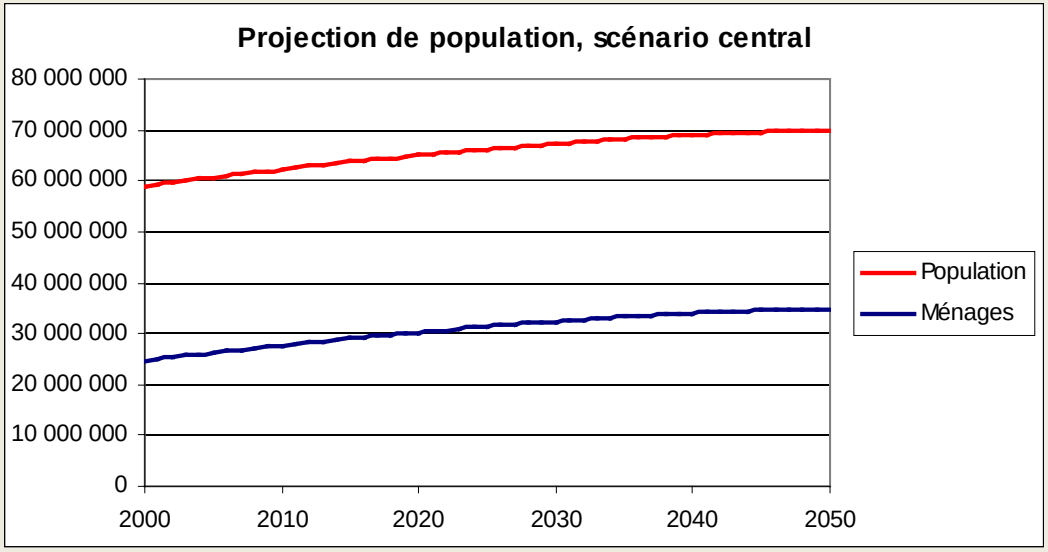
Source : Insee, enquêtes Logement.

	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 m²)	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

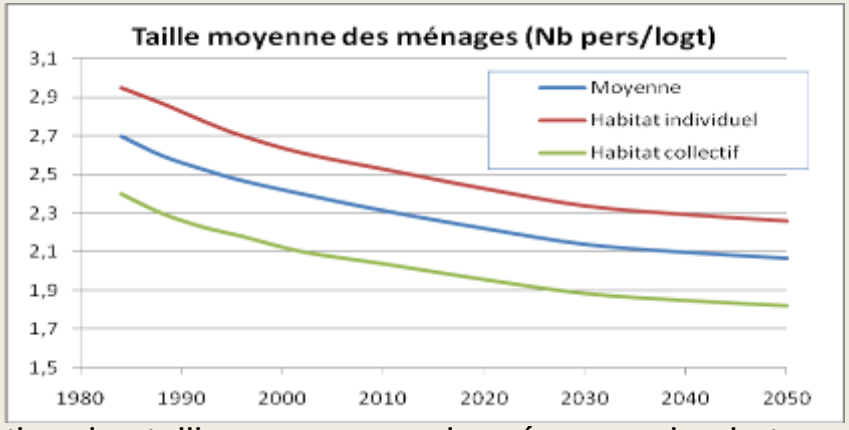


Projections de population à 2050 (nombre d'habitants et nombre de ménages)
Scénario central pour la population, scénario B pour la taille des ménages
Sources : Insee Première N° 1089 - Juillet 2006 et N° 1106 - Octobre 2006.

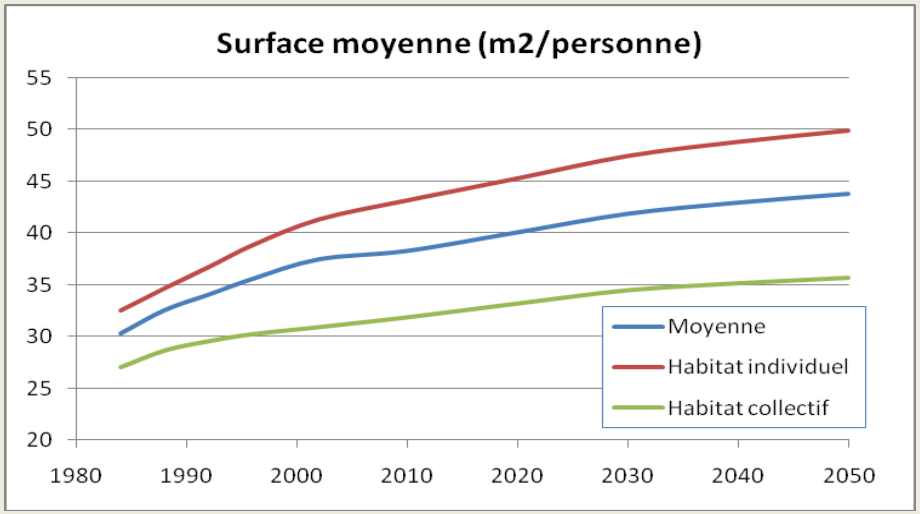
Projection de la taille des ménages selon deux hypothèses
Source valeurs 1990-2030 : INSEE Première 1106, d'après : recensements de la population 1982 à 1999, enquête annuelle de recensement 2005 et projection, Insee.
Projections 2040-2050 : étude CLIP (extrapolation par approximation polynomiale de la dynamique2005-2030)

	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

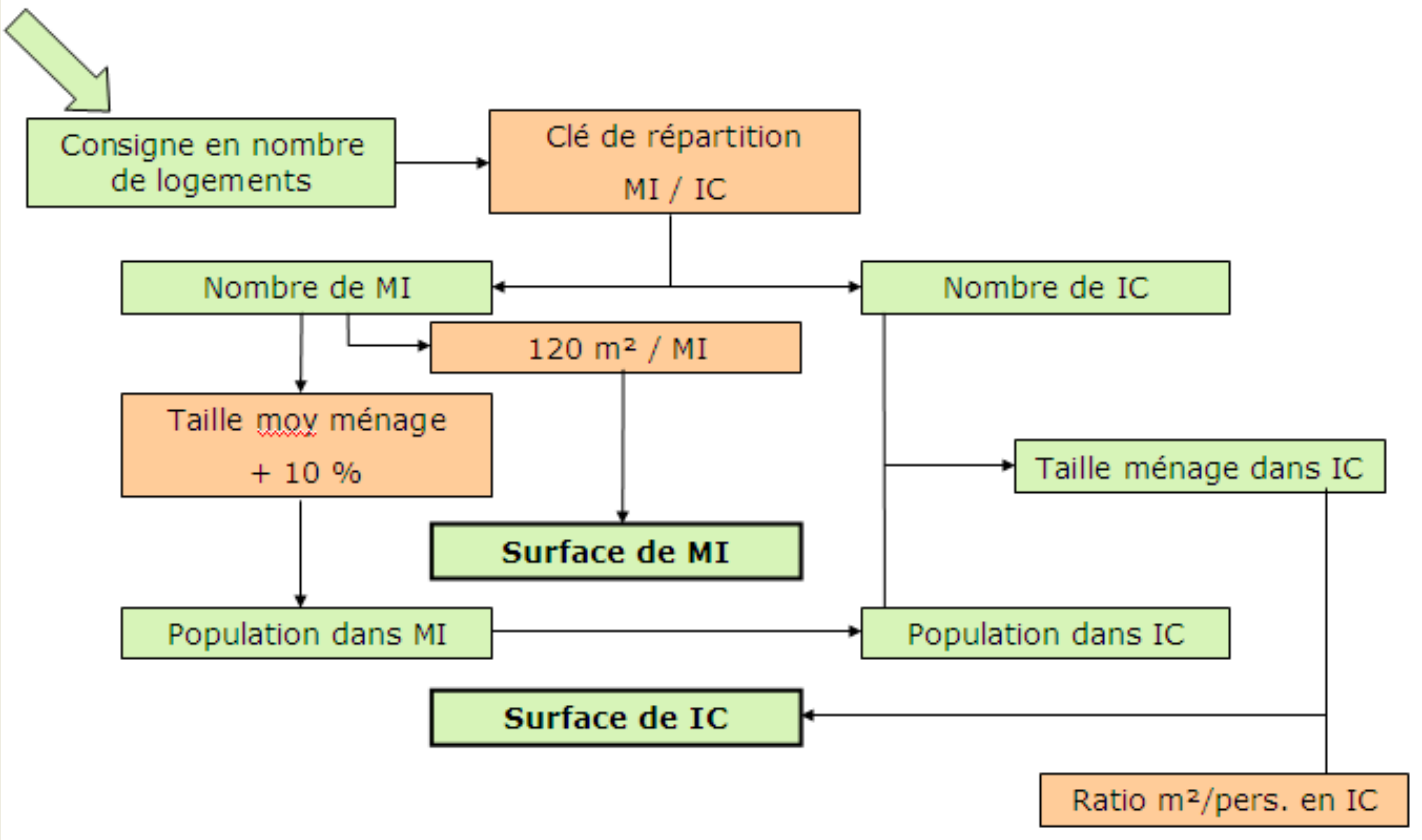


Projection des tailles moyennes de ménage selon le type de logement



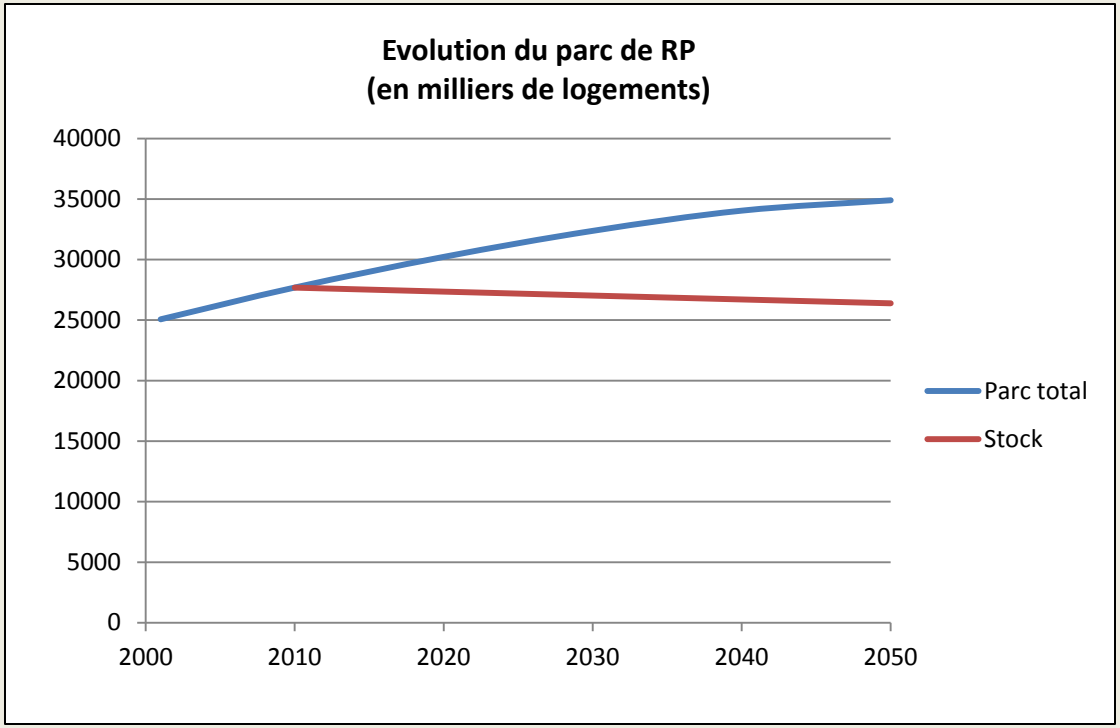
Projection des surfaces habitables en mètres carrés par personne

Modèle dynamique de parc RP

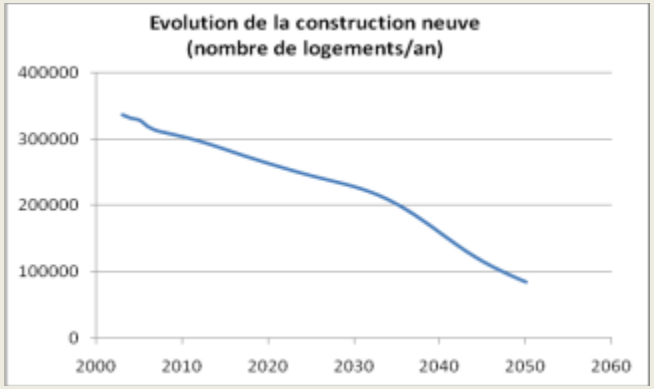


- Besoins de logements = croissance du nombre de ménages
- Détermination d'un taux de sortie (destruction et changement d'affectation)
- Constructions neuves = accroissement du Nb de ménages + sorties

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)

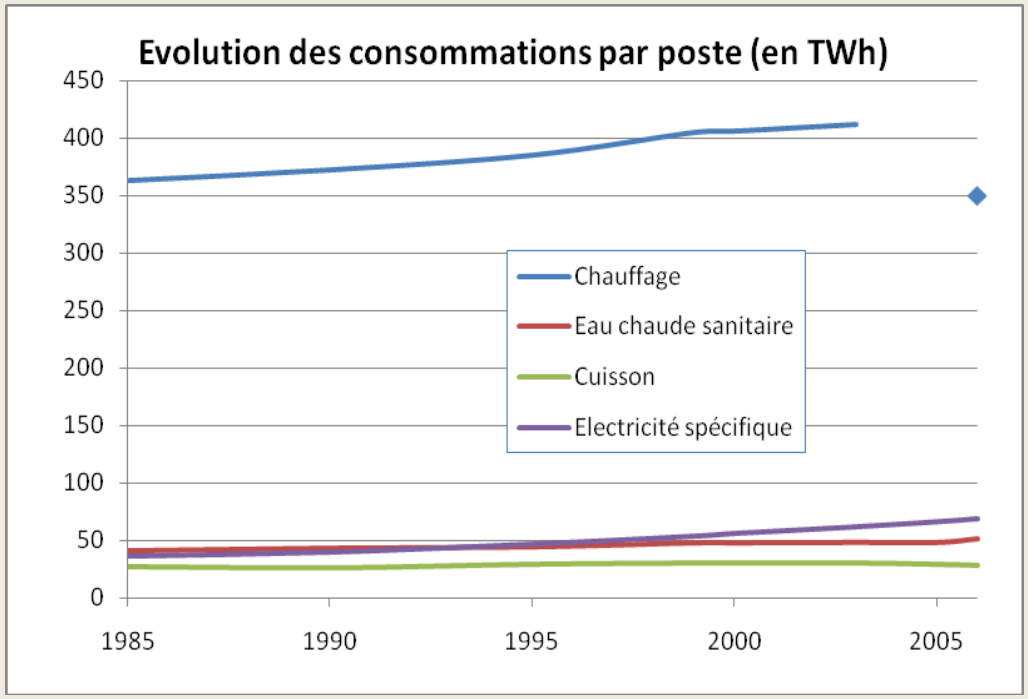
Part du neuf construit dans l'intervalle 2012-2050 en 2050 : 25 % du parc de 2050 (en BBC…)
Logements en BEPOS construits dans l'intervalle 2020-2050 : 5,6 millions de logements, soit 16% du parc en 2050

Le secteur résidentiel : situation énergétique en 2005

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

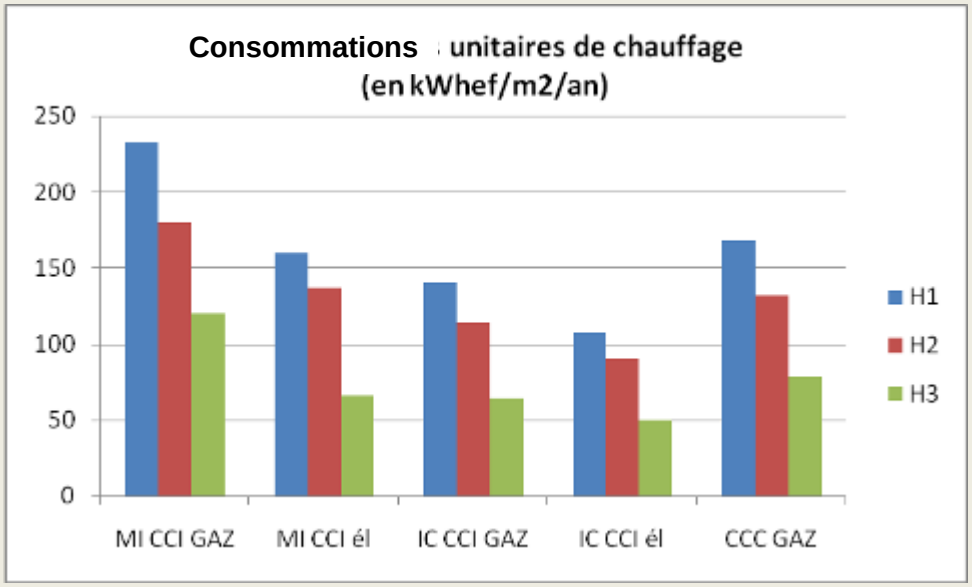
Sources : DGEMP 2003 et calage EDF / GDF SUEZ à partir des données CEREN

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)

Typologie de logements et consommations unitaires de chauffage



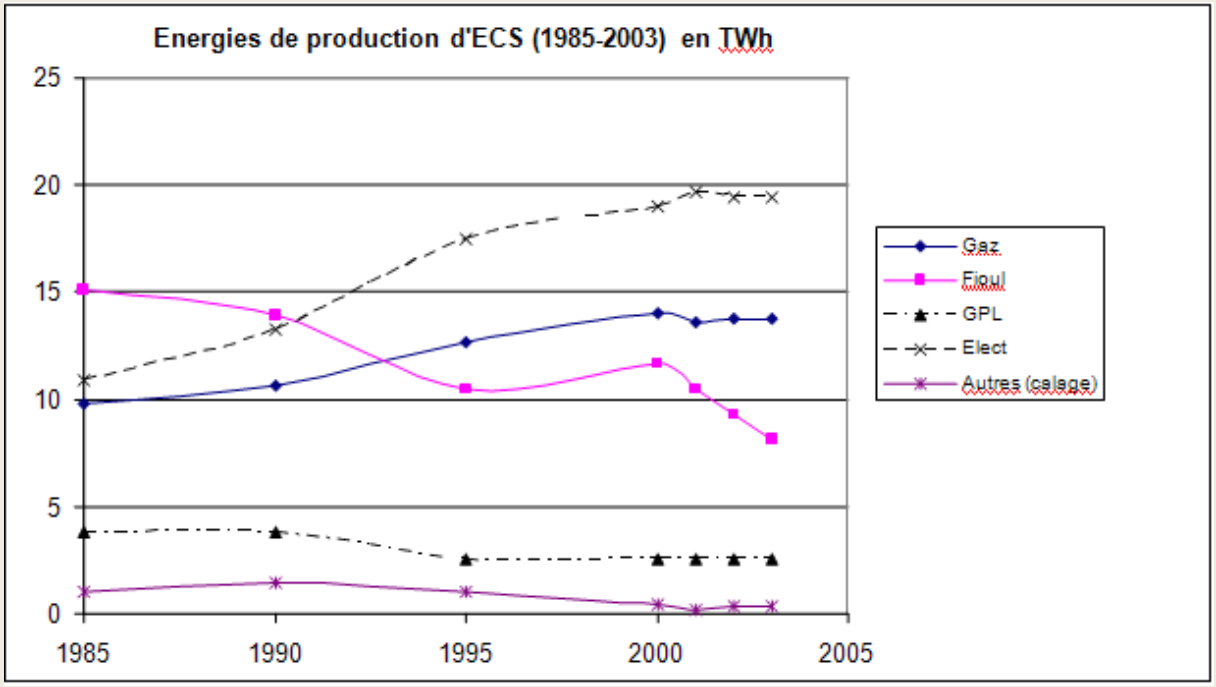
Consommations unitaires (par m² SHAB) moyennes de chauffage en 2005 selon la zone climatique, la typologie, et l'équipement de chauffage

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

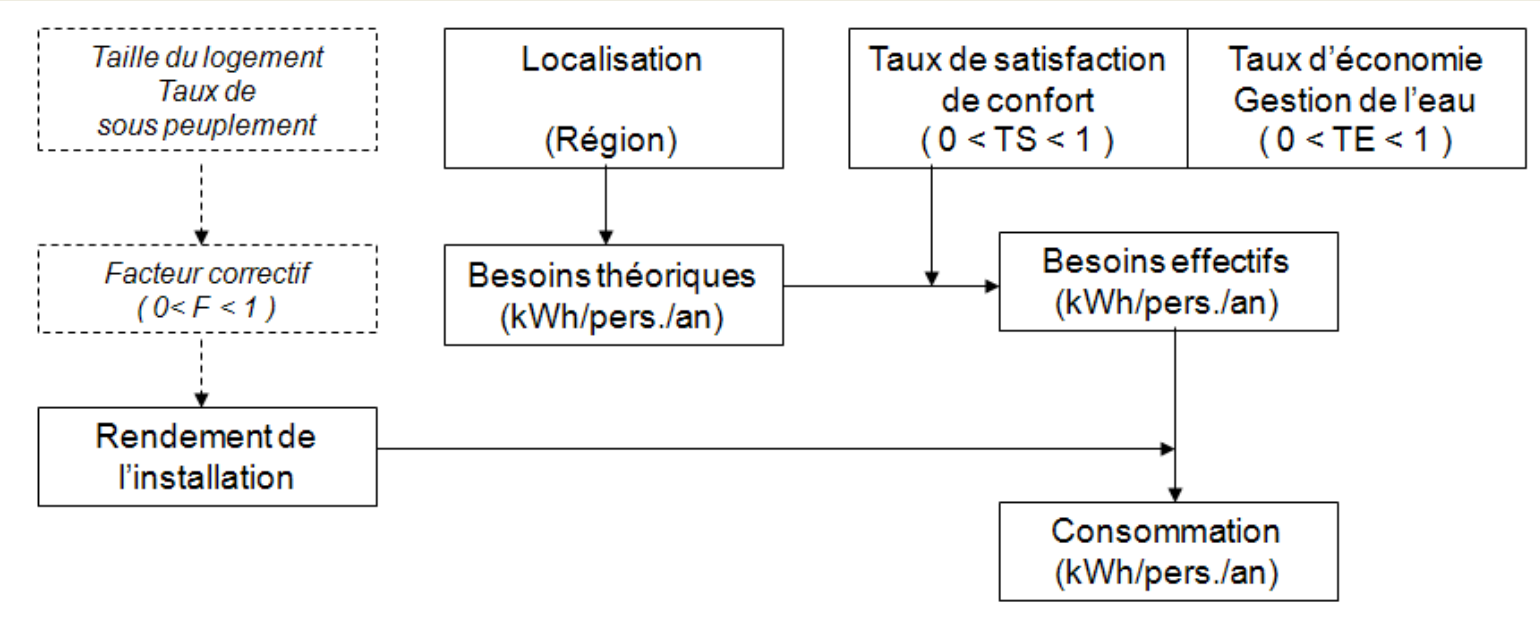
Consommations ECS 1985-2003 : données DGEMP-Observatoire de l'énergie, 05/12/2005

Besoins et consommations énergétiques (ECS)

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

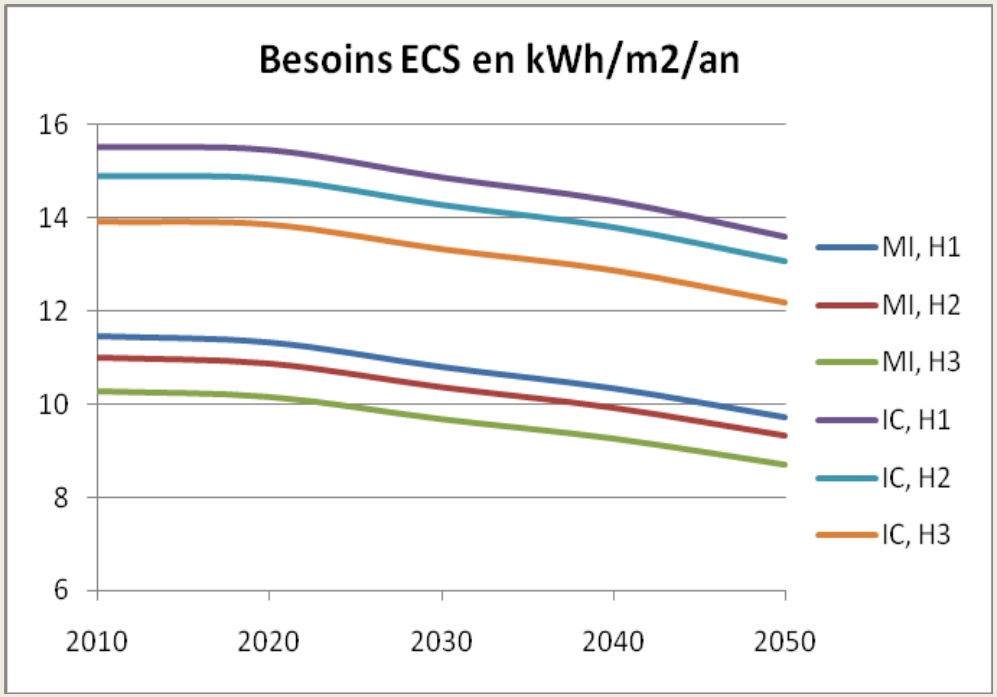
Zone climatique	Te ref	l/pers/jour	T ECS	Besoins /an (kWh)
H1	10,5	45	50	693
H2	12	45	50	666
H3	14,5	45	50	622

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

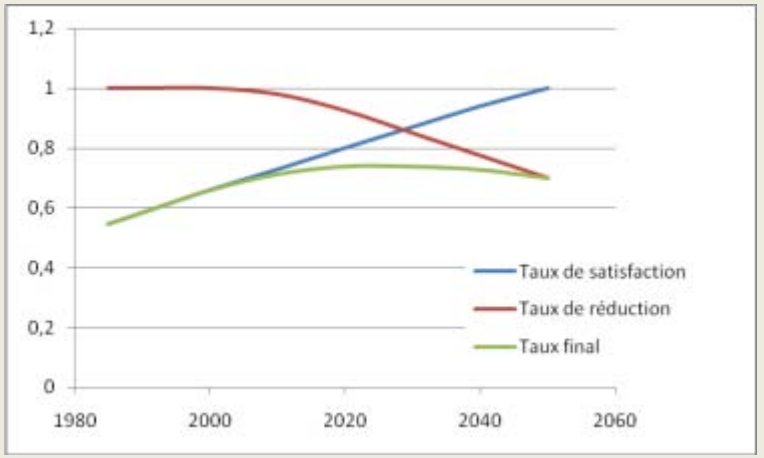


Evolution des besoins en ECS

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)



En MI (maison individuelle), les besoins par m^2 sont plus faibles (plus de m^2 par personne)



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

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.

Le secteur résidentiel: objectif de prospective « Facteur 4 »

- 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)

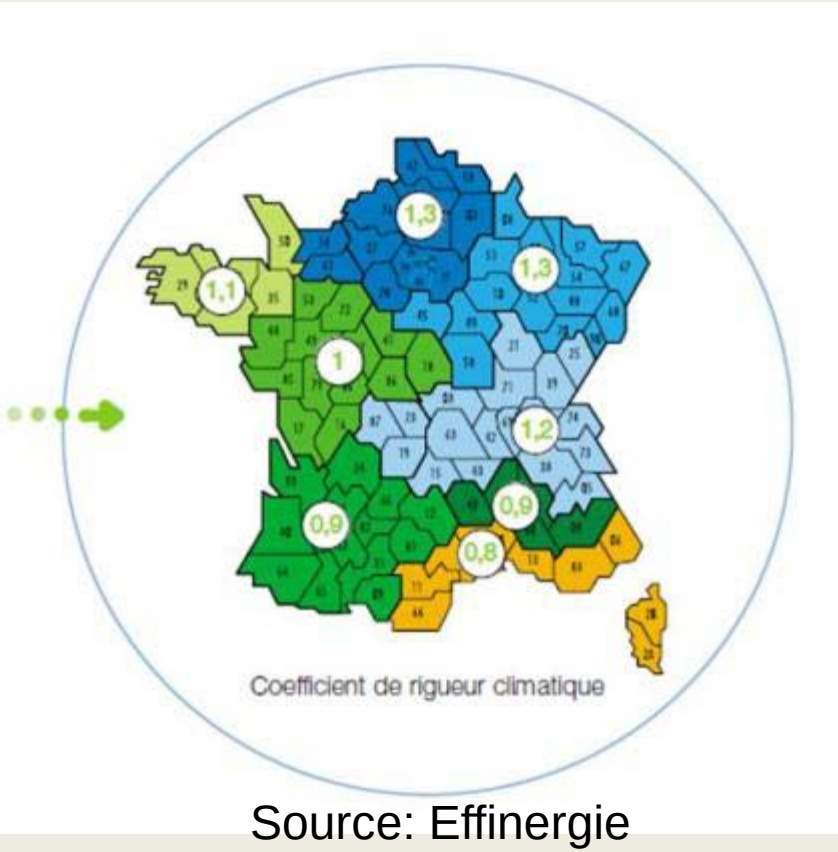
- Neuf, cf. PLG1: rupture technologique (niveau RT 2005 : Cepmax = 80 à 250 kWhEP/m2/an (m2 SHON)
  - BBC dès 2012 (50 kWhep/m2 SHON en moyenne, chauffage + eau chaude + climatisation + ventilation + éclairage + auxiliaires, soit 5 postes de la RT)
  - BEPOS dès 2020 (compensation annuelle des 5 postes 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

Définitions BBC et BEPOS

- Deux labels BBC :
  - un BBC à 50 x (a+b) kWh-ep/m² pour les bâtiments sans compensation PV,
  - un BBC avec compensation PV, fixant une limite avant compensation de 60 à 65 x (a+b) kWh-ep/m²

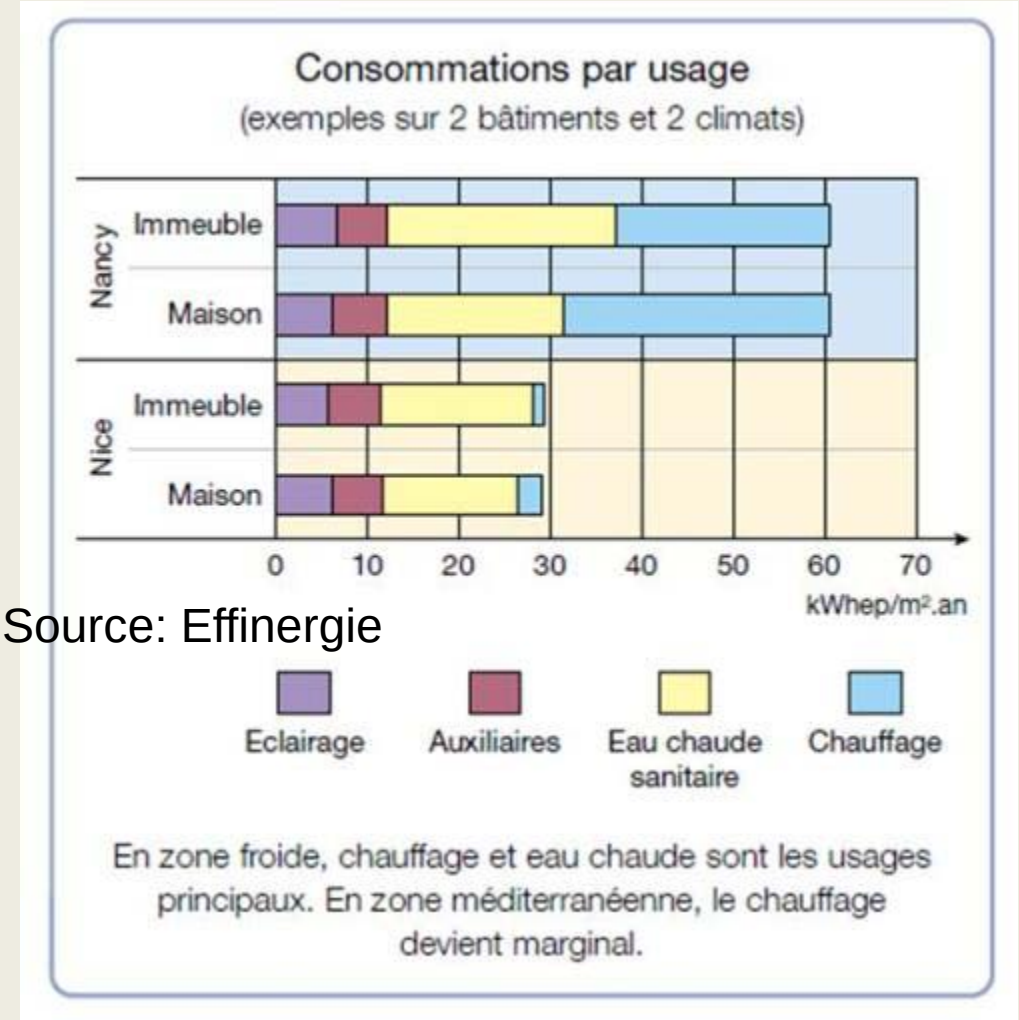
  (coefficients a et b: fonction des zones climatiques, corrigés des altitudes).

  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.....



Source: Effinergie

BBC : usages pris en compte (cf. RT)

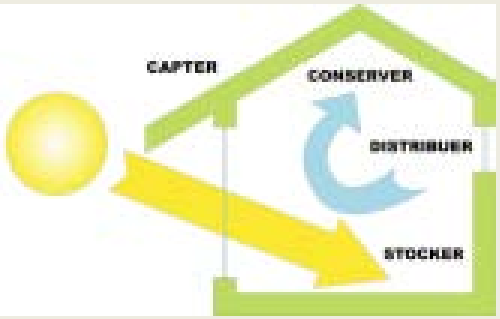


Source: Effinergie

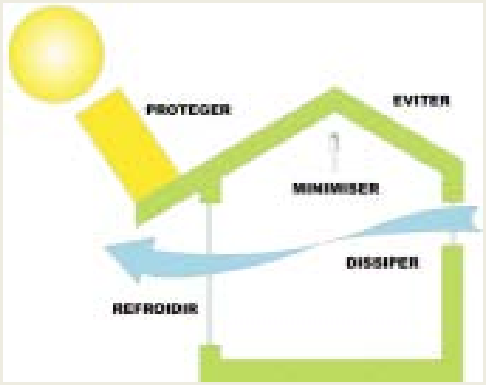
Chauffage
Eau chaude sanitaire
Eclairage
Ventilation
Auxiliaires
(Climatisation): importance du confort d'été

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

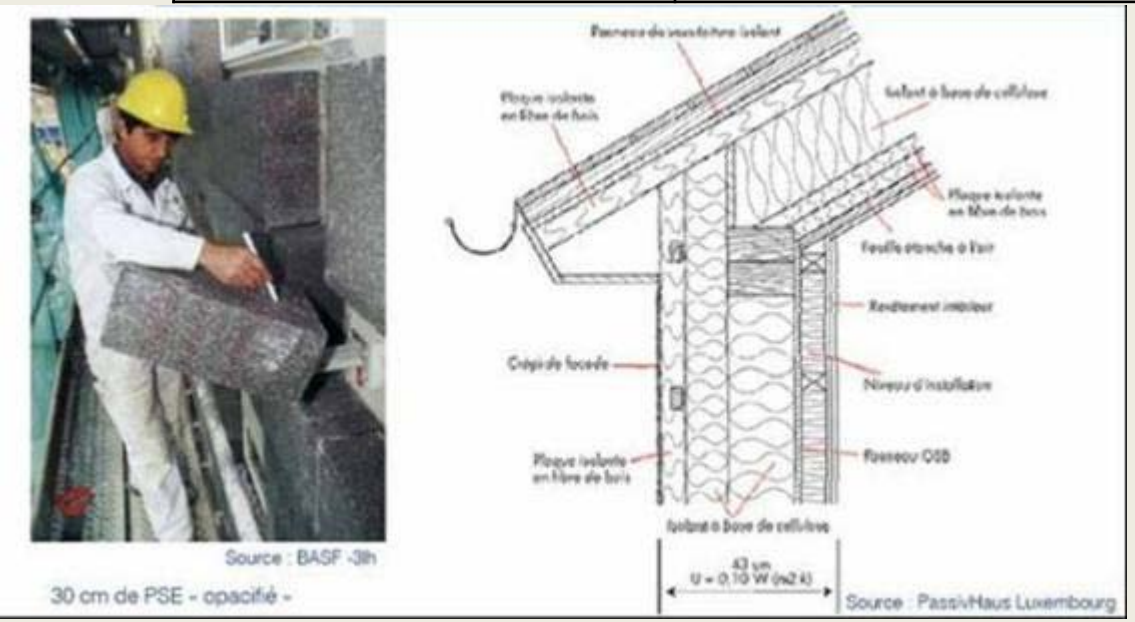


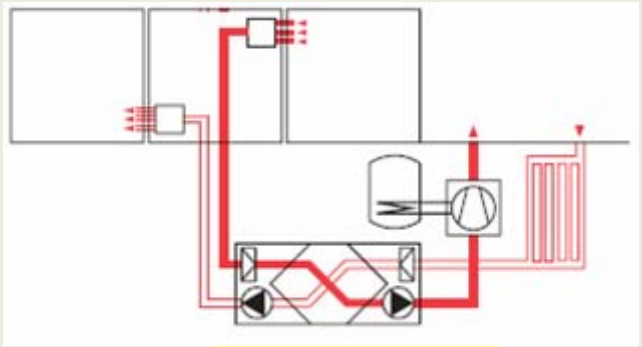
Isolation parois opaques : R (en m2.K/W)	Effinergie	RT 2005
Toit	6,5 à 10	4 à 6
Mur	3,2 à 5,5	2,2 à 3,2
Sol sur terre-plein	2,4 à 4	1,7 à 2,9
Sol sur vide sanitaire	3,4 à 5	2,4 à 4

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

Exigences et exemples de solutions

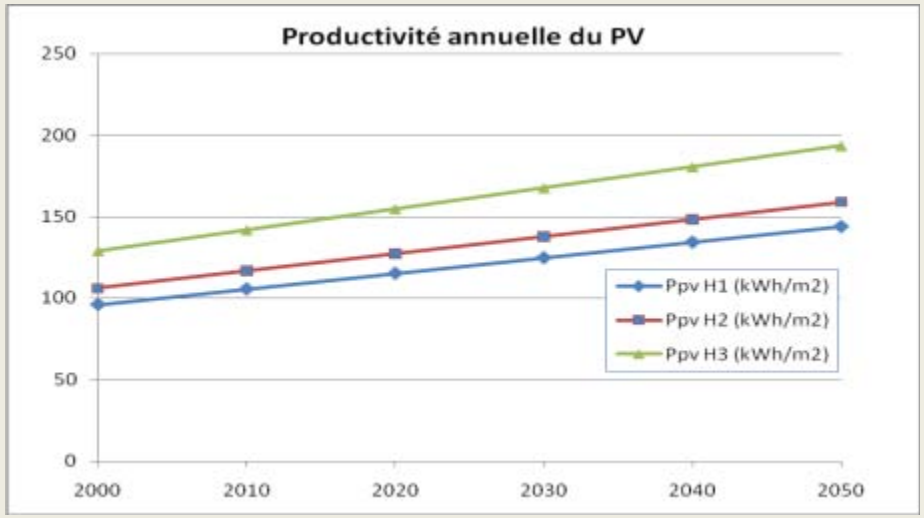
	Minergie®-S (Standard)
Conception architecturale	Forme, orientation, répartition des vitrages optimisée, ITE Compensation (volume double hauteur) de l'effet « thermos »
Enveloppe opaque	Umurs < 0.12 W/m²/K (20-35 centimètres d'isolation)
Vitrages	U < 0.75 W/m²/K (vitrage triple à basse émissivité)
Equipements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

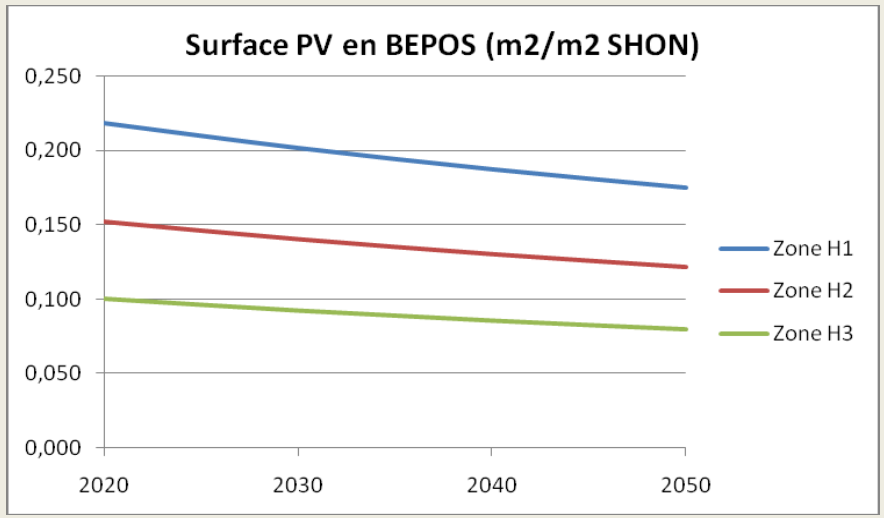




(document Minergie)

BEPOS : compensation PV intégrée au bâti





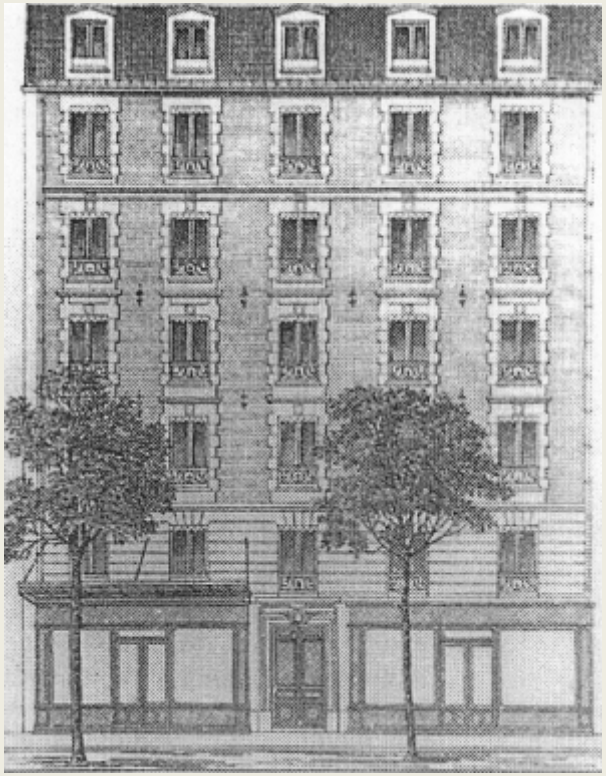


Quartier Vauban (Fribourg), arch: Disch

(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 m^2 SHON):
24,2 m^2 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)

De 410 à 120 kWh/m2/an

Enveloppe : U des parois (W/m2/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/m²K)	2,39	1,06

Ventilation

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

Résultats (kWh/m2/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 CO2

- 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

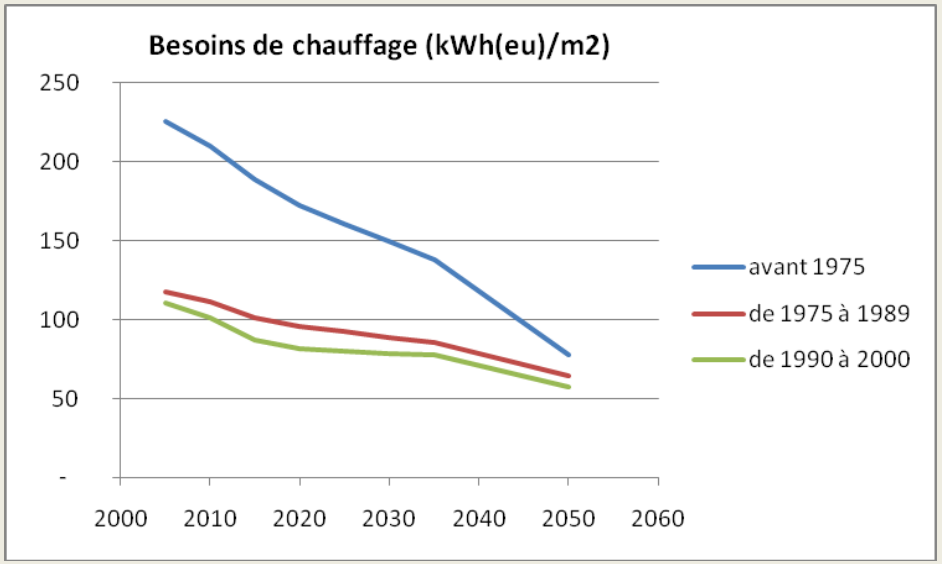




Réhabilitation du bâti:
Présentation des MTD retenues (meilleures technologies disponibles)

Parois extérieures opaques	Epaisseur isolant (m)	Conductivité (W/m.K)	Résistance thermique (m².K/W)
ITI Polystyrène	0,10	0,032	3,13
ITE Polystyrène extrudé + enduit	0,15	0,03	5,00
Toiture			
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
Planchers bas			
Sur local non chauffé Polyuréthane (cave, ou vide sanitaire accessible)	0,10	0,03	3,33
Terre battue ou existant vers Plancher chauffant basse temérature	0,08	0,032	2,50
Menuiseries/ Vitrages		Coefficient U (W/m².K)	
Vitrage à isolation renforcée (faible émissivité, argon) Menuiseries boi s (ou PVC)		1,5	0,67

Réhabilitation et décroissance des besoins de chauffage unitaires



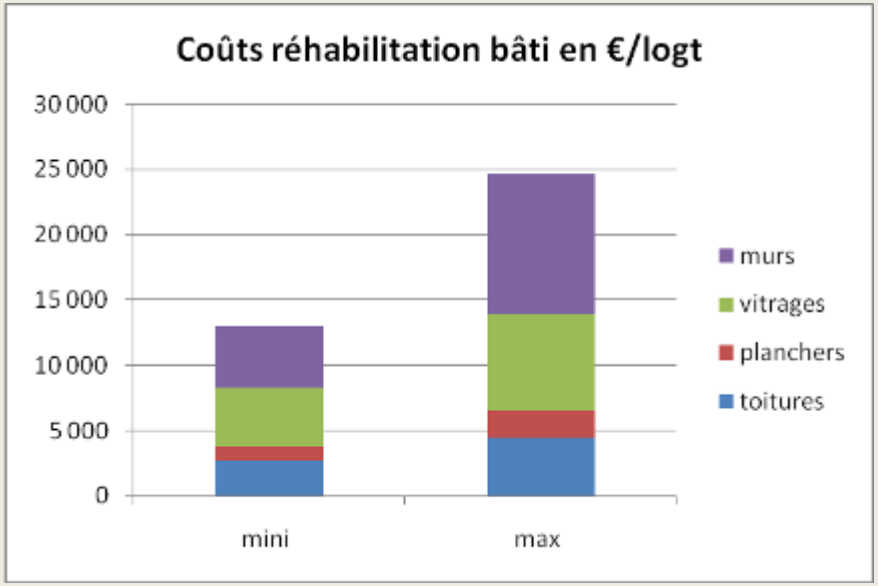
Décroissance des besoins de chauffage unitaires exprimés en énergie utile pour trois périodes de construction, par réhabilitation progressive du parc entre 2005 et 2050.

Evaluation des coûts hors équipement (cumul à 2050)

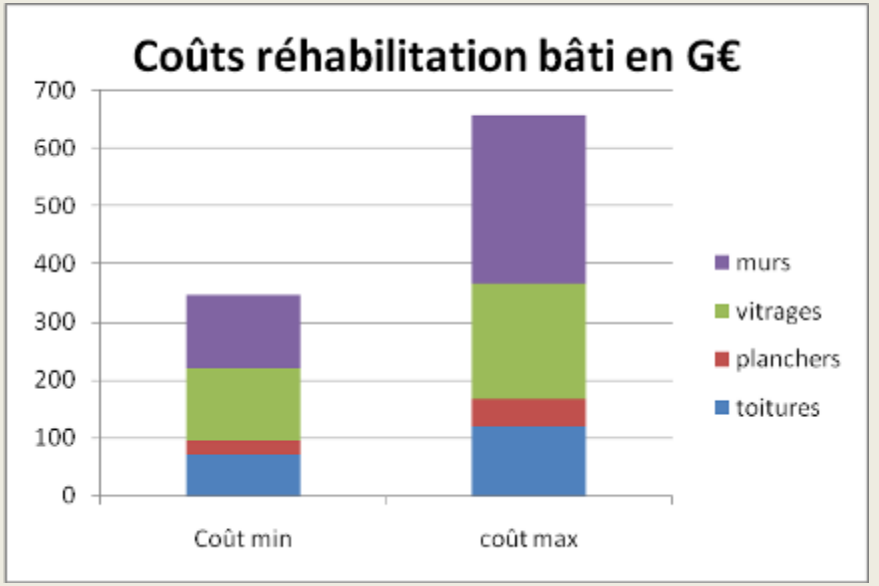
Estimation des coûts de réhabilitation selon le composant d'enveloppe
(Nombre de logements : base 2004 incluant les vacants)

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

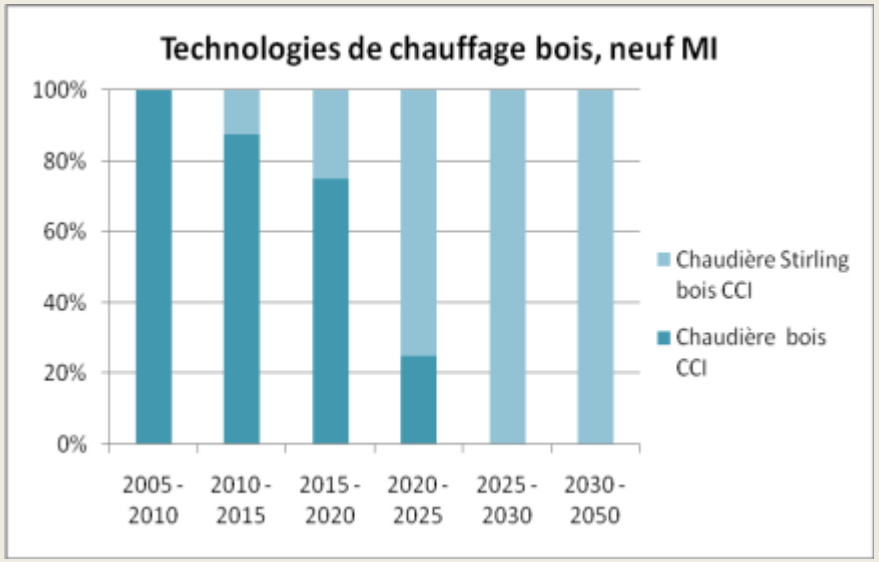
(en € HT par logement, prix 2005)

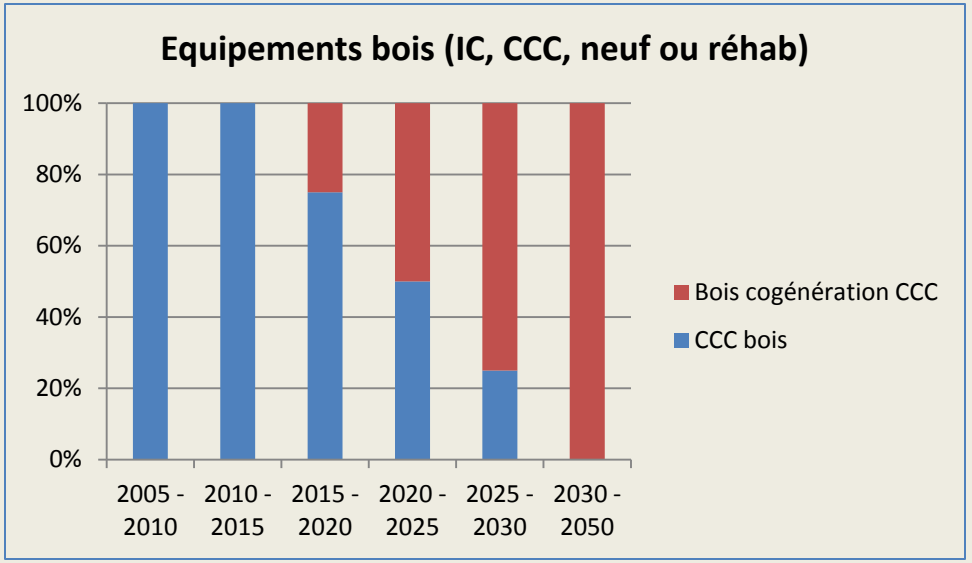


(en G€ HT pour l'ensemble du parc, prix 2005)



Technologies de chauffage / ECS BOIS

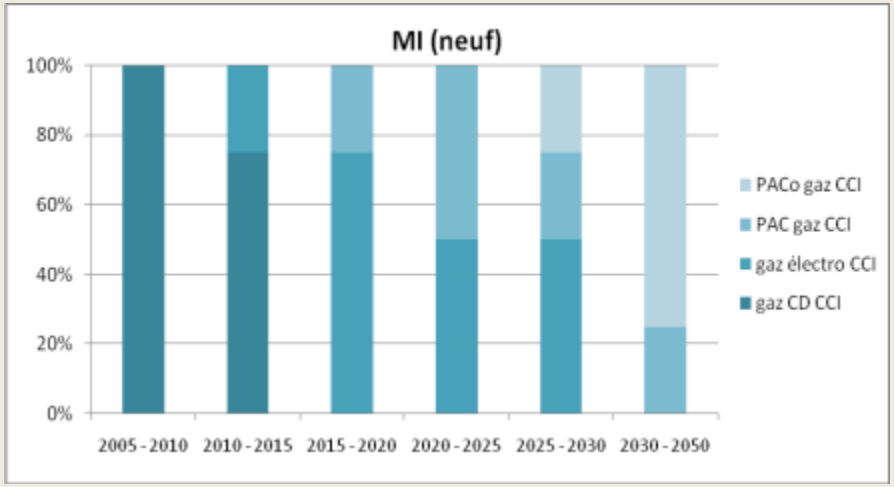


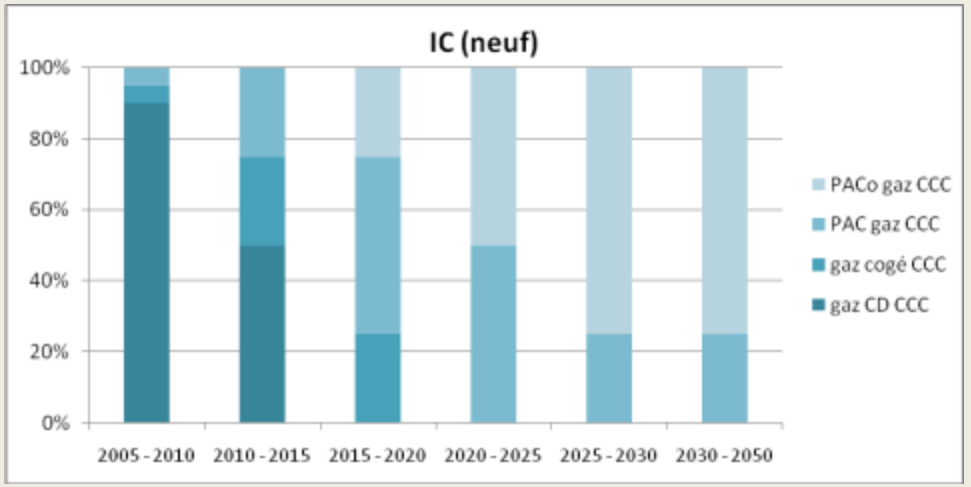


Rendements neuf	chauffage	ECS	Efficacité élect.
Chaudière bois MI CCI	0,75	0,7	
Chaudière Stirling bois MI CCI	0,65	0,6	0,1
Chaudière CCC bois	0,75	0,7	

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



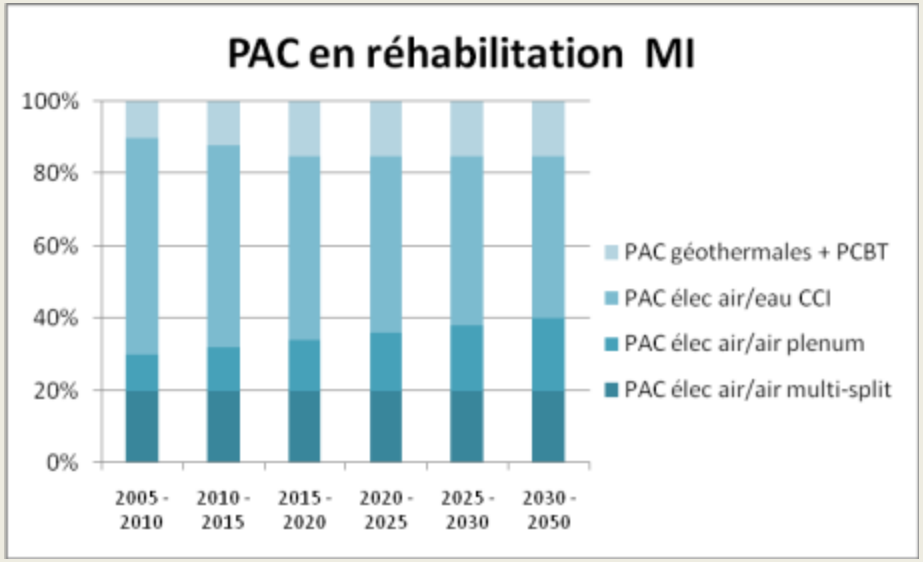


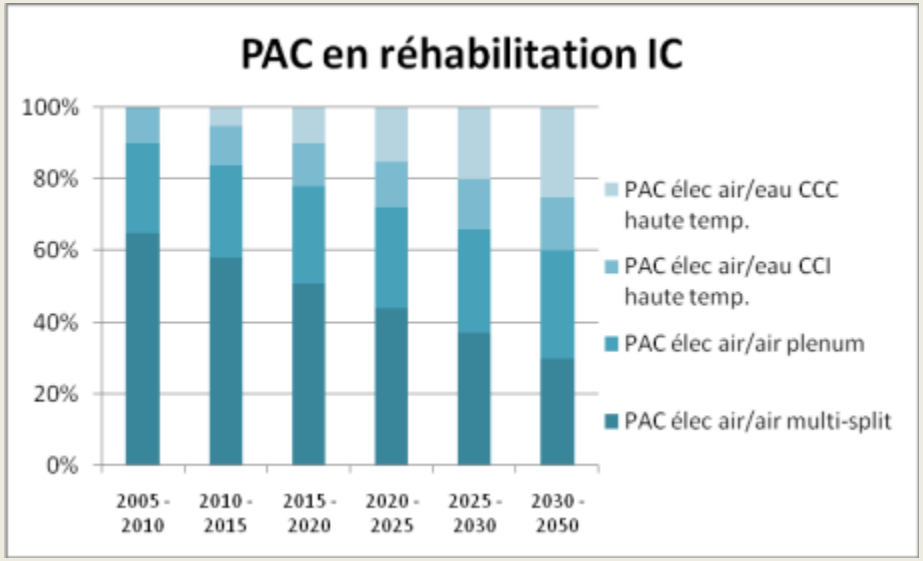
Rendement neuf MI	chauffage	ECS	Efficacité élec
gaz CD CCI	0,95	0,85	
gaz électro CCI	0,8	0,7	0,15
PAC gaz CCI	1,3 / 1,7	1	
PACo gaz CCI	0,5	0,4	0,45

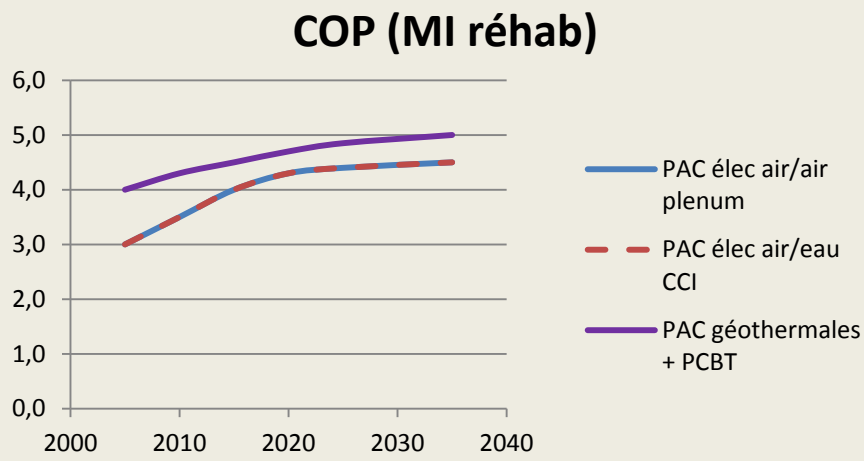
Rendement neuf IC	chauffage	ECS	Efficacité élec
gaz CD CCC	0,95	0,9	
gaz cogé CCC	0,65	0,6	0,30
PAC gaz CCC	1,3 / 1,7	1	
PACo gaz CCC	0,5	0,45	0,45

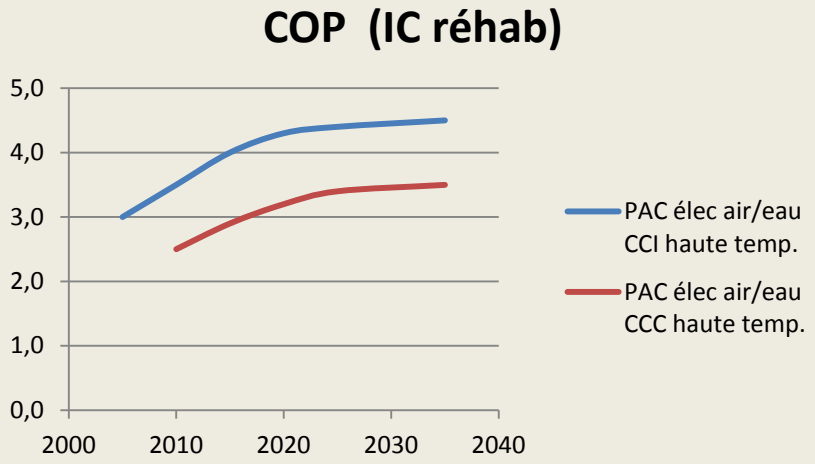
Dès 2015, les systèmes de micro-cogénération concernent 100% des logements neufs équipés au gaz.

Technologies de chauffage PAC Electriques (réhabilitation)

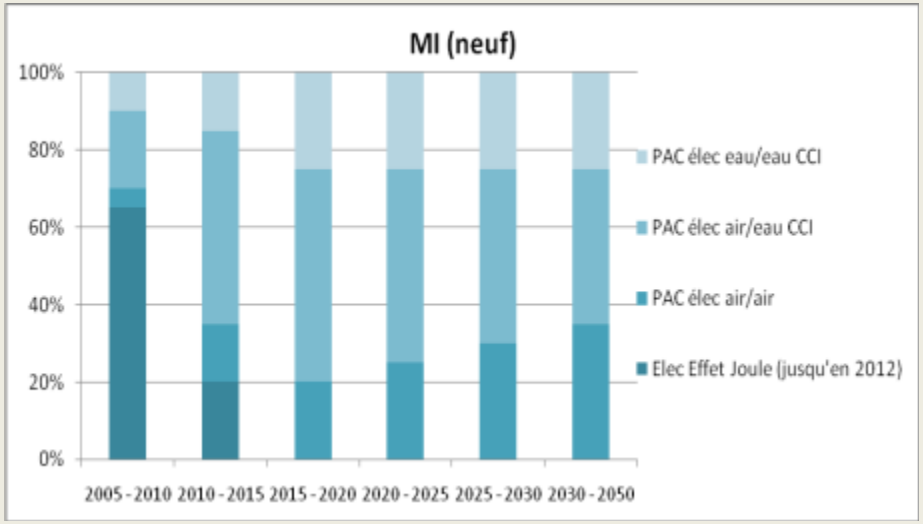


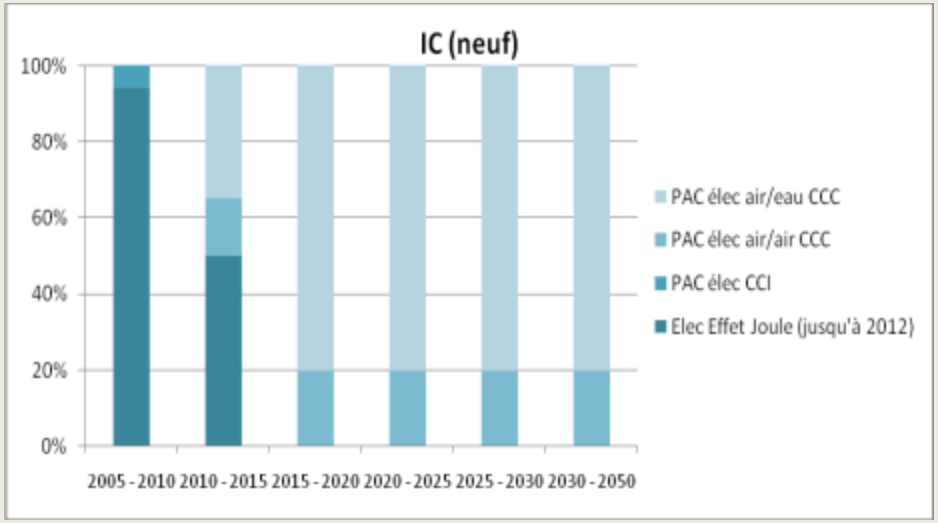


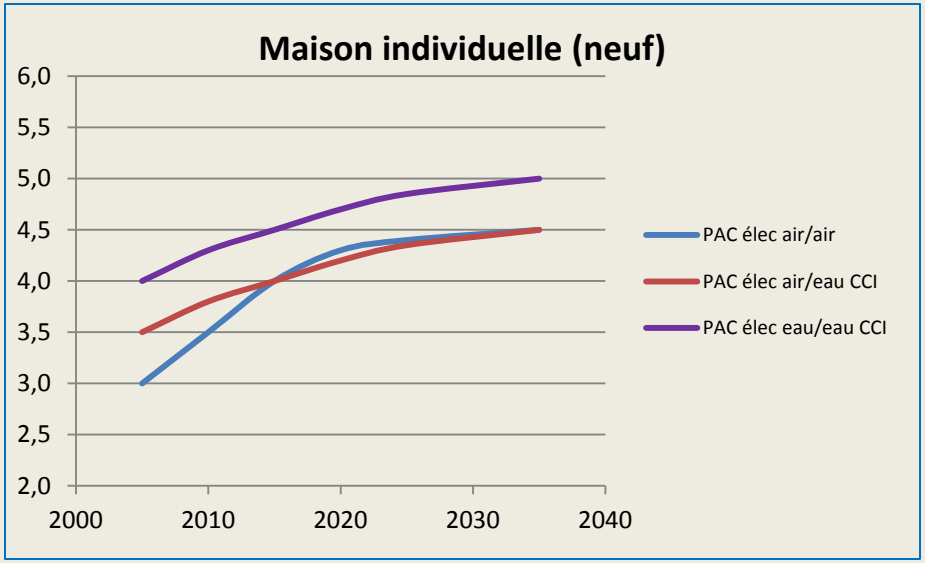


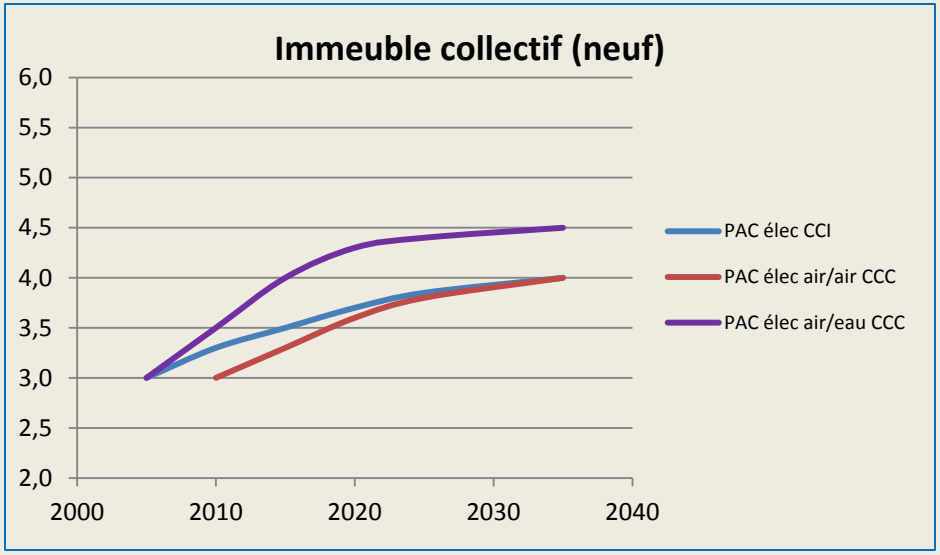


Pénétration des Technologies de pompes à chaleur électrique dans le neuf







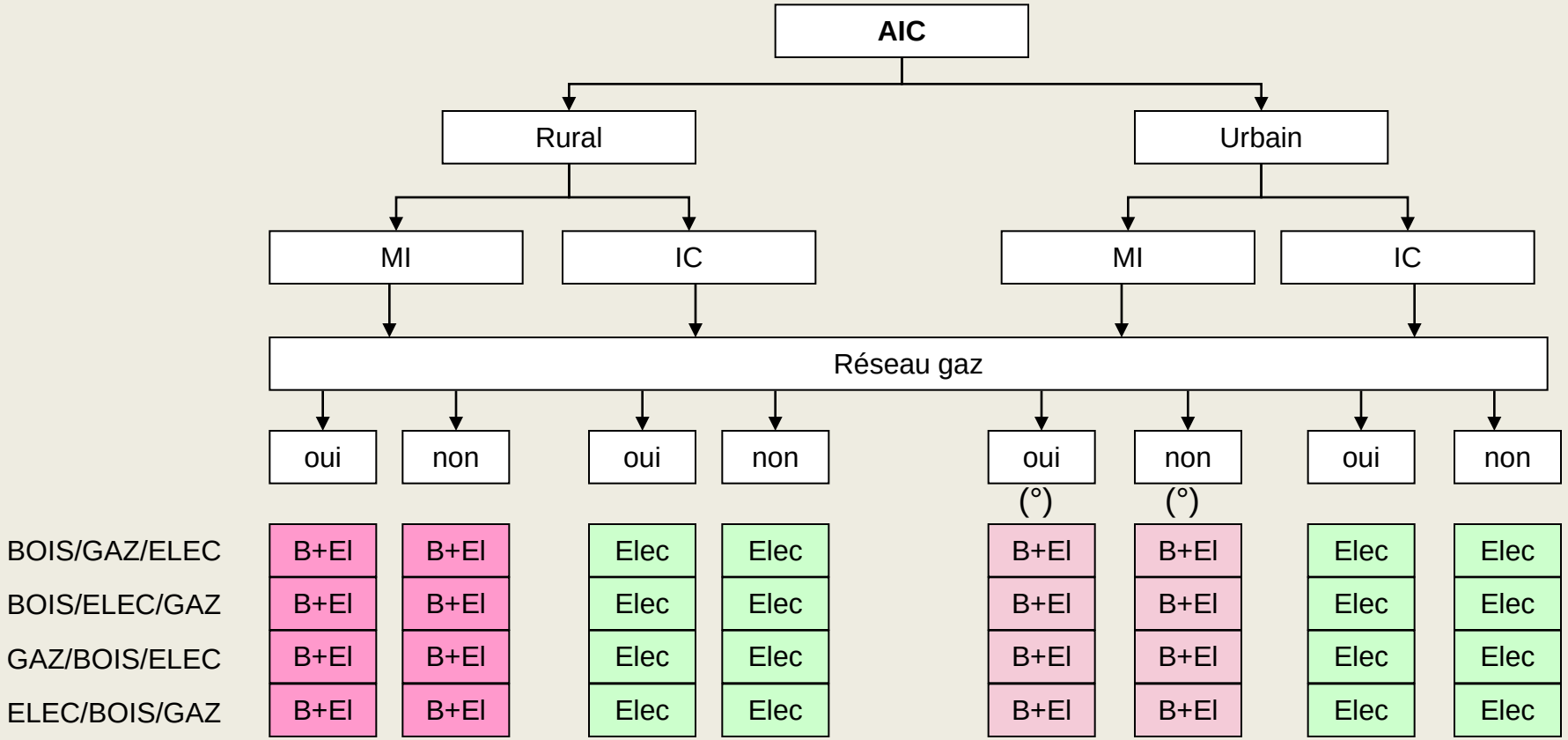


Les quatre scénarios énergétiques contrastés:

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

Arbre de décision: rénovation système AIC

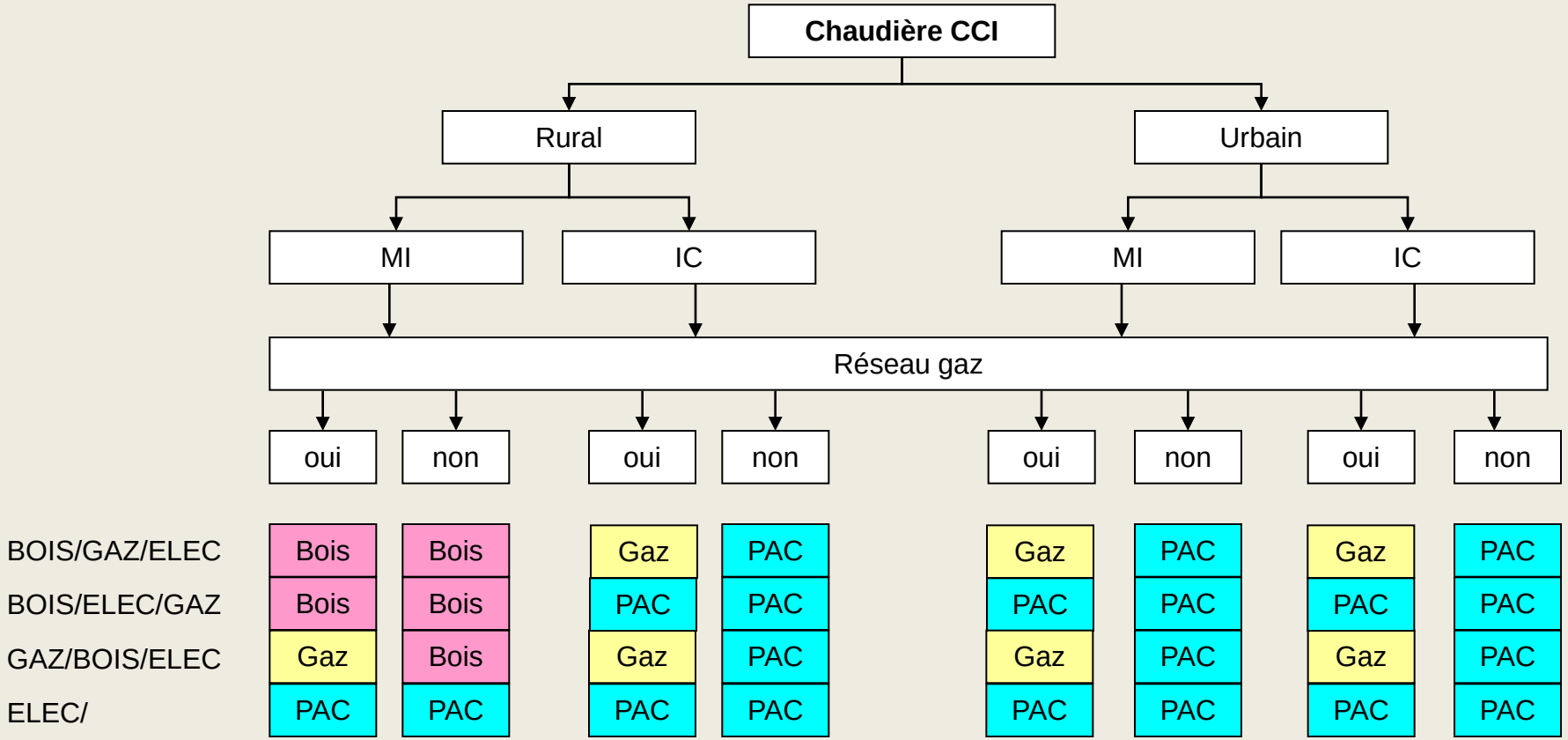
(appareil indépendant de chauffage)



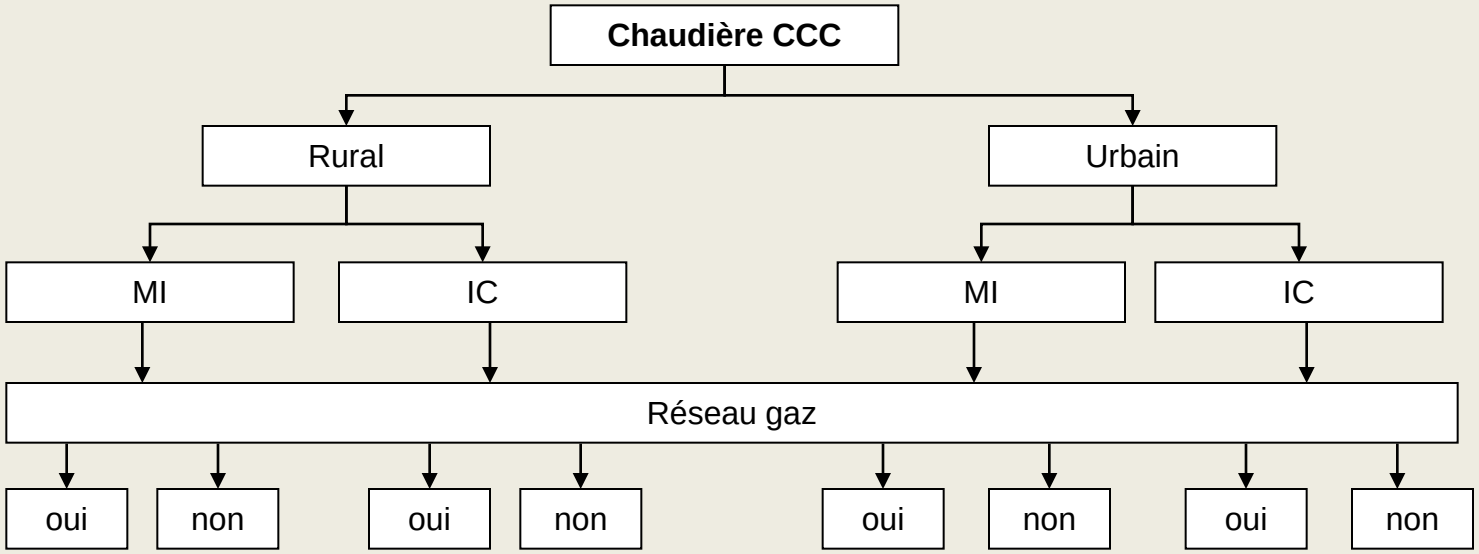
Deux solutions: Bois + élec ou Elec seul

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

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

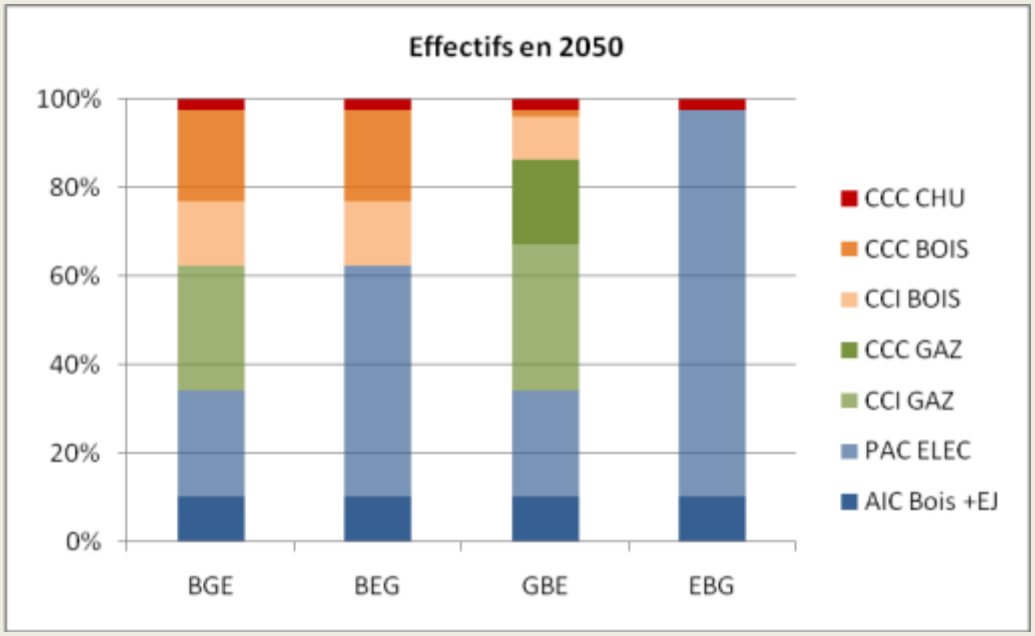


Arbre de décision: rénovation système CCC
(chauffage central collectif)



BOIS/GAZ/ELEC	Bois	Bois			Bois	Bois
BOIS/ELEC/GAZ	Bois	Bois			Bois	Bois
GAZ/BOIS/ELEC	Gaz	Bois			Gaz	Bois
ELEC/	PAC	PAC			PAC	PAC

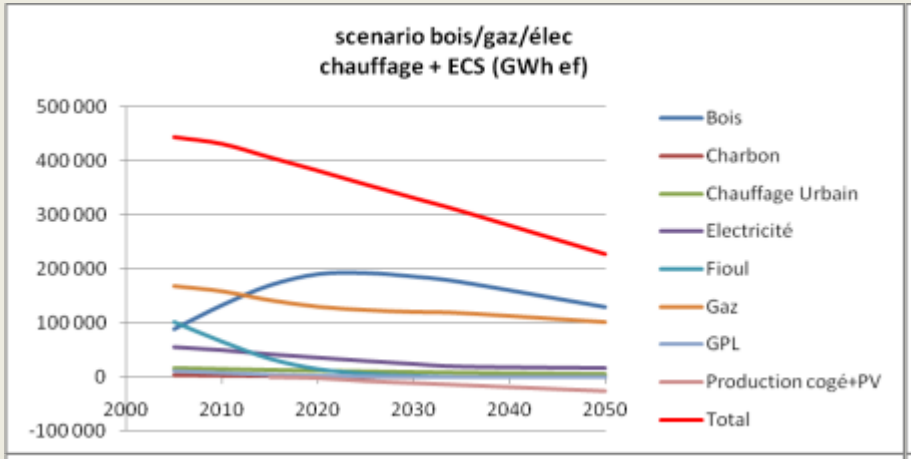
Effectifs de logements en 2050 selon les 4 scénarios

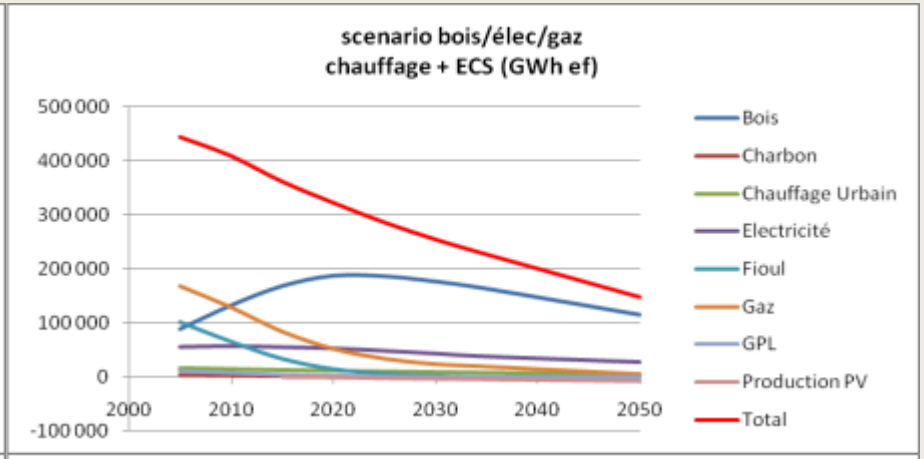


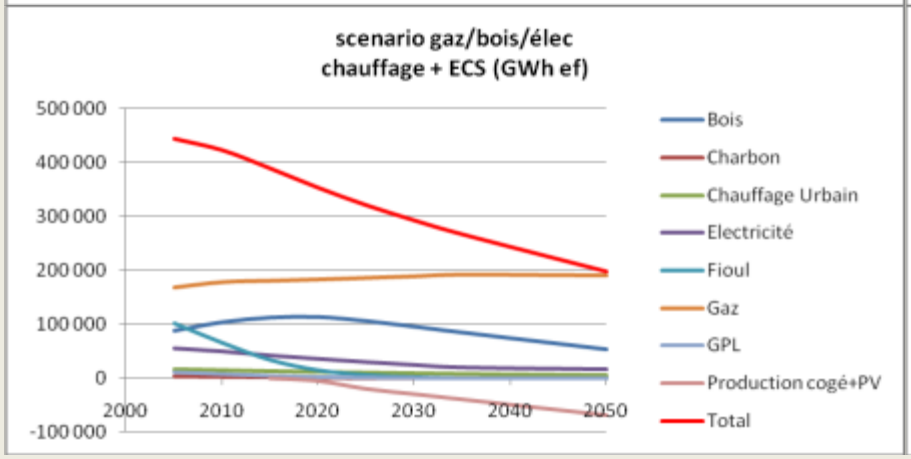
BGE (BOIS/GAZ/ELEC)
BEG (BOIS/ELEC/GAZ)
GBE (GAZ/BOIS/ELEC)
EBG (ELEC/BOIS/GAZ)

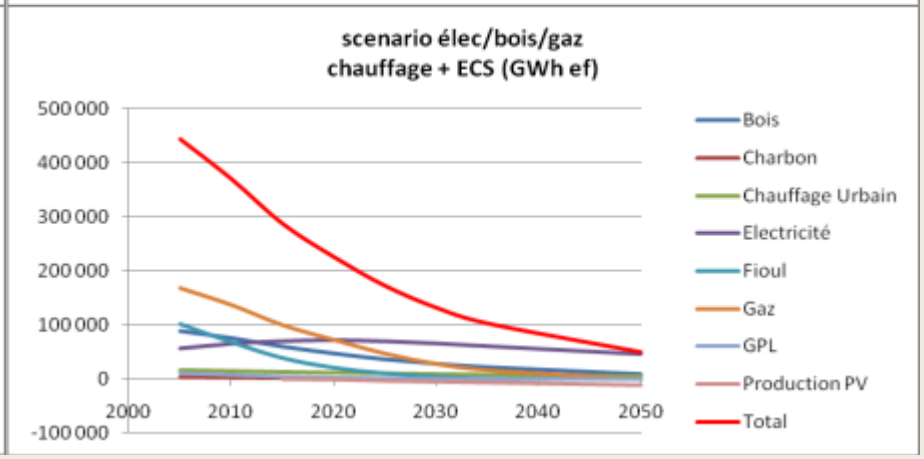
Répartition des effectifs de résidences principales selon les énergies de chauffage, pour les quatre scénarios

Résultats en énergie finale pour les 4 scénarios



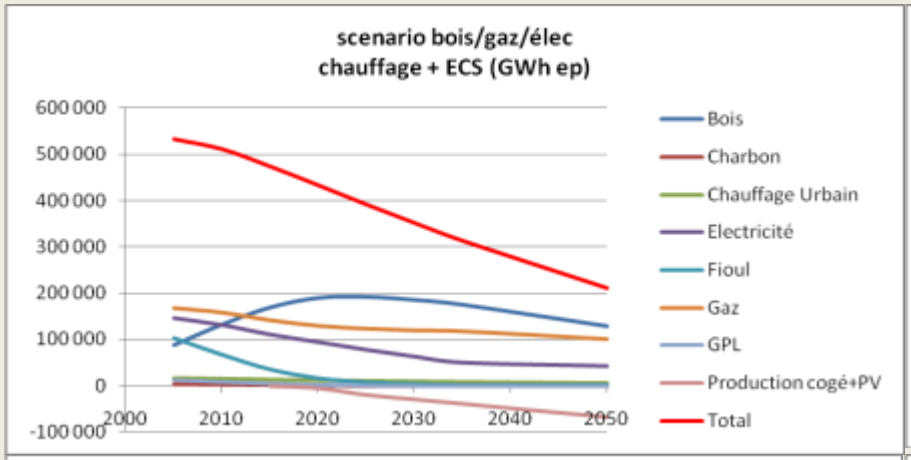


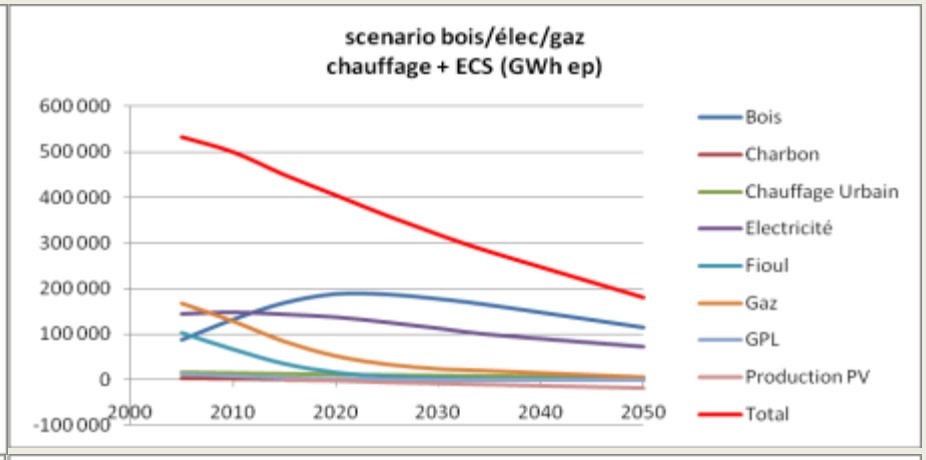


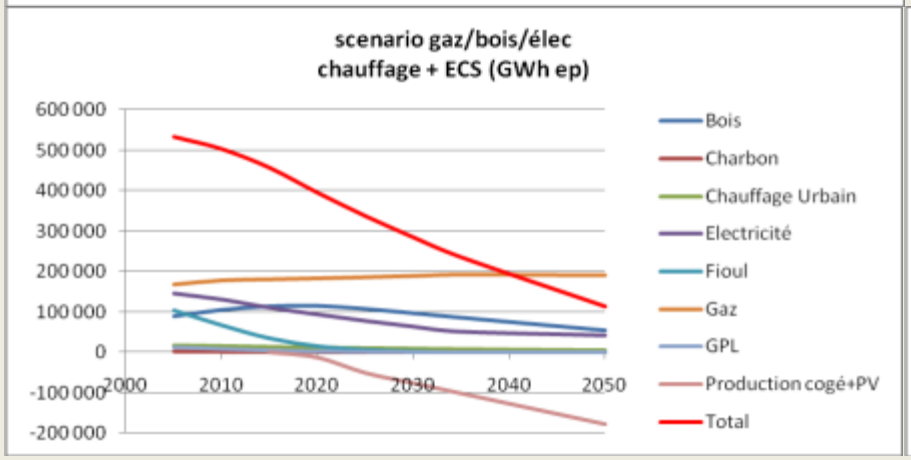


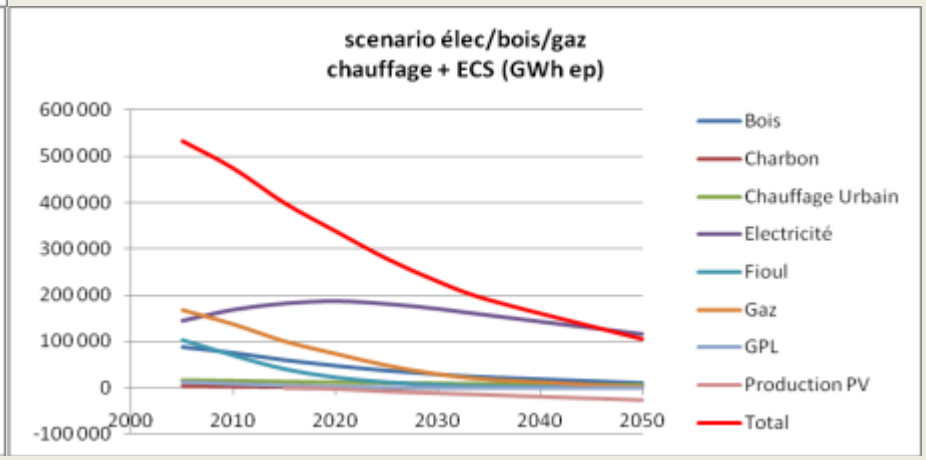
Facteur de réduction 2005/2050	BGE: 2	BEG: 3,0	GBE: 2,3	EBG: 8,8

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

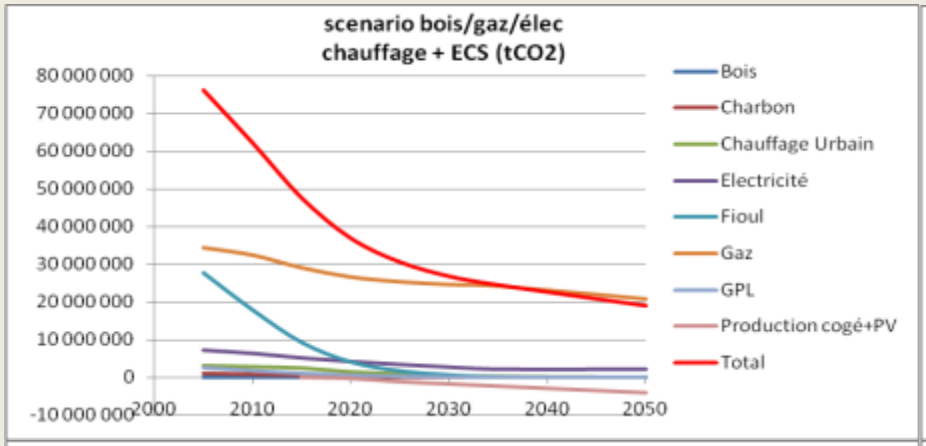
Conversion en CO_2 (émissions directes)

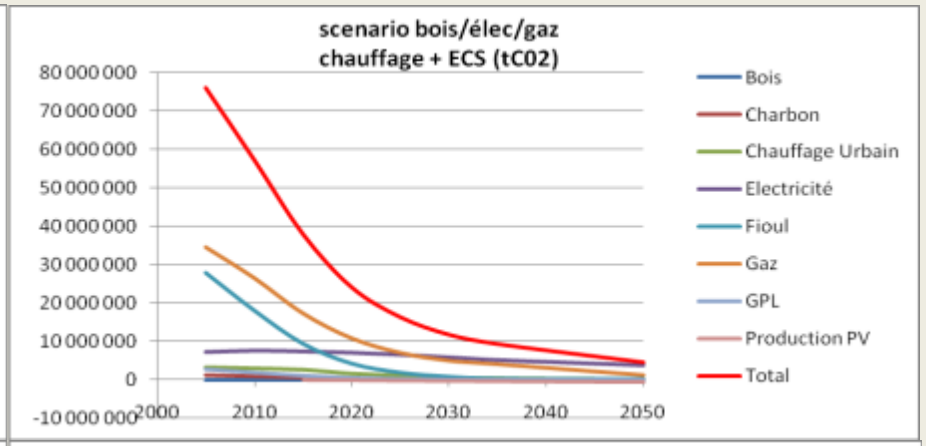
Energie de chauffage	$gCO_2/kWhef$
Charbon	355
Fuel	271
GPL	231
Gaz	205
Réseaux de chaleur urbains (2005/2050)	200 / 20
Bois	0
Electricité (chauffage / ECS)	180 / 40

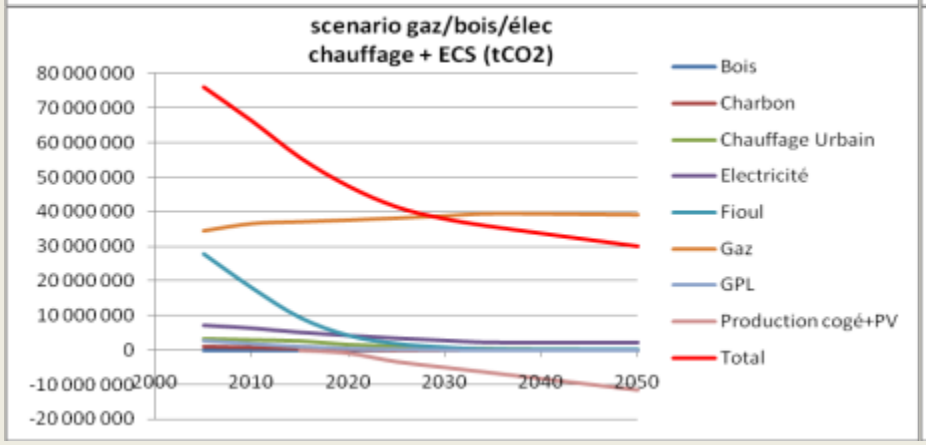
Source : CITEPA pour les fossiles, AMORCE pour les réseaux de chaleur , ADEME-EDF pour l'électricité.

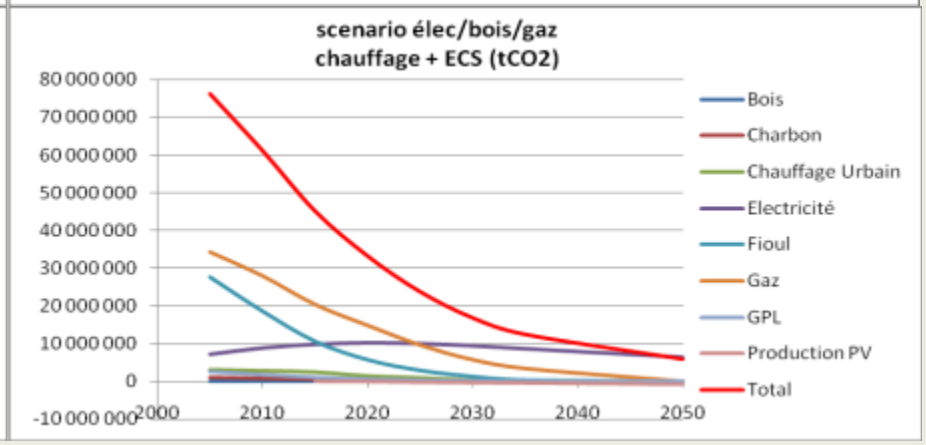
Deux corrections importantes :
- Prise en compte des émissions amont (ACV): + 30 g CO_2/kWh ef environ
- Effet des courbes de charge électricité / mix de production sur le contenu CO2 du kWhe

Résultats en émissions de CO2 pour les 4 scénarios







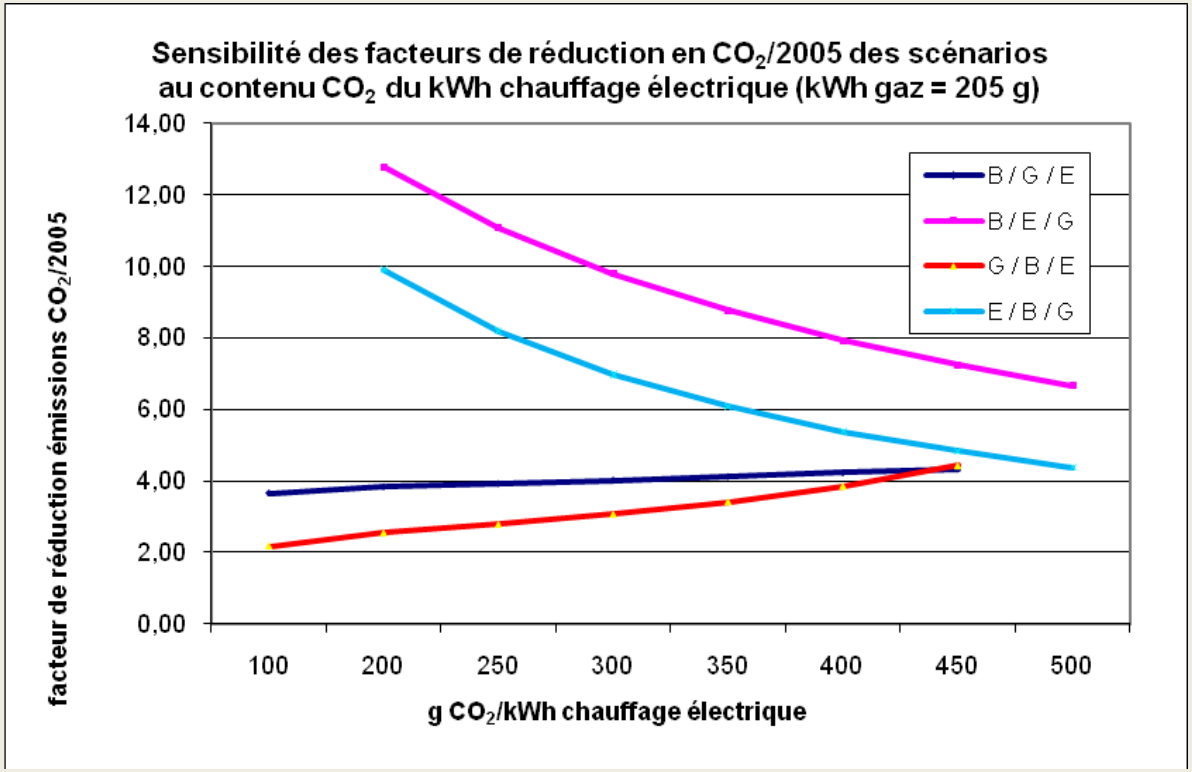


Facteur de réduction 2005/2050	BGE: 4	BEG: 16,7	GBE: 2,5	EBG: 12,8

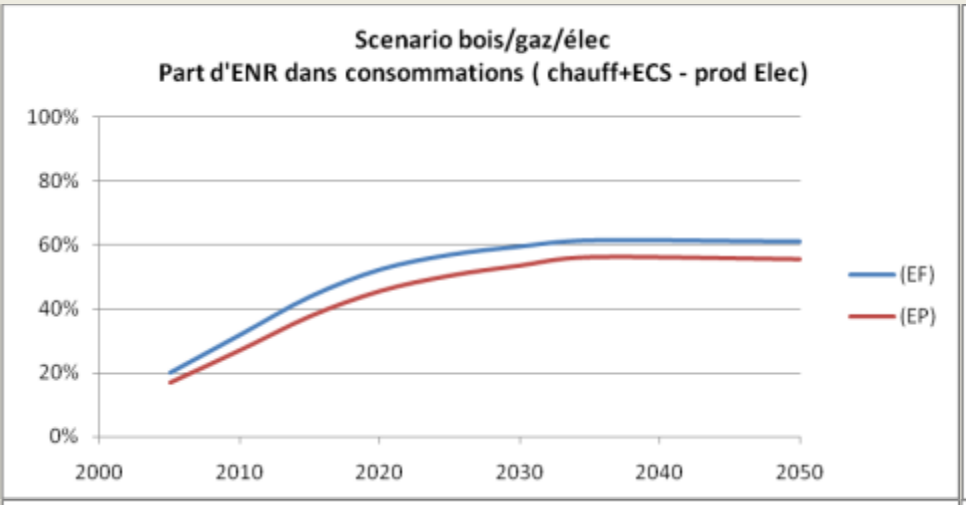
Pour l'électricité, les contenus CO2 adoptent les valeurs de la note ADEME EDF de 2005 (respectivement 40, 70 et 180 gCO_2/kWh électrique pour l'ECS, la production PV, le chauffage et la cogénération).

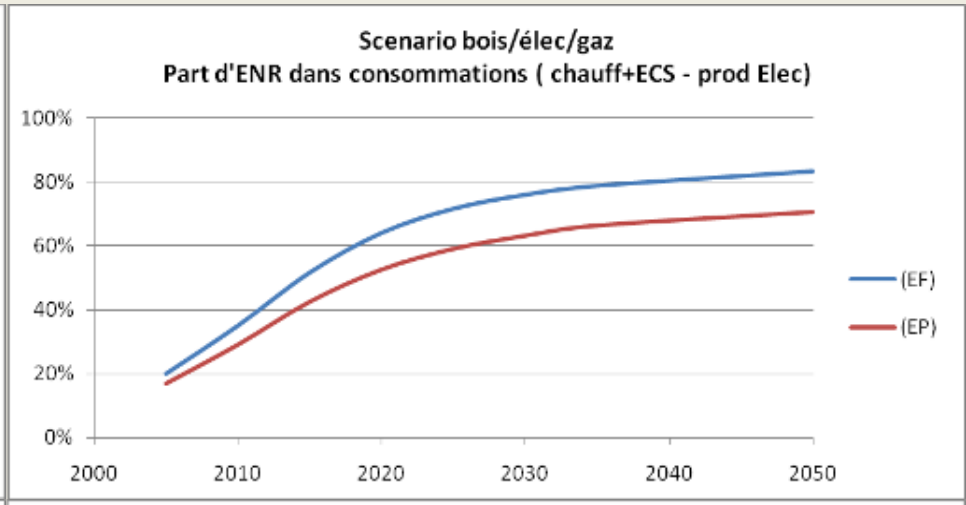
Etude de sensibilité au contenu CO_2 du kWh électrique

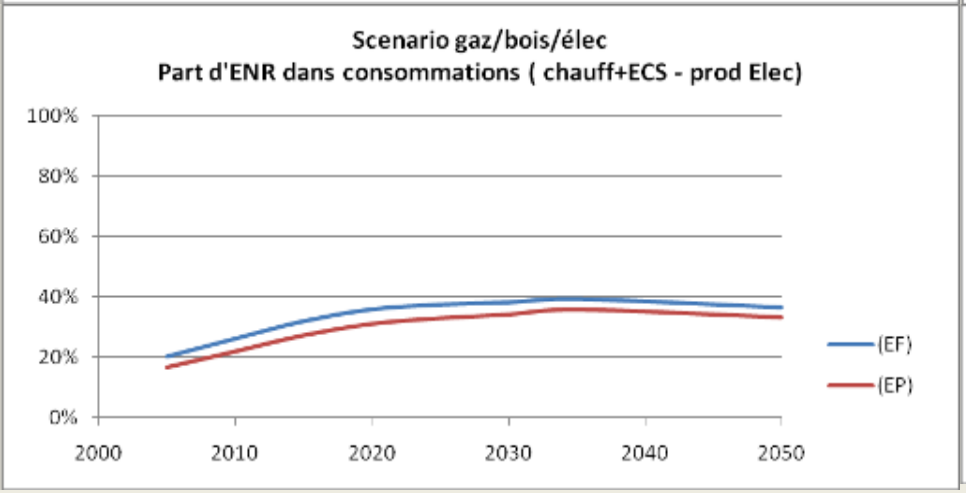
Sensibilité des facteurs de réduction en CO_2 obtenus en 2050 par rapport à la situation 2005

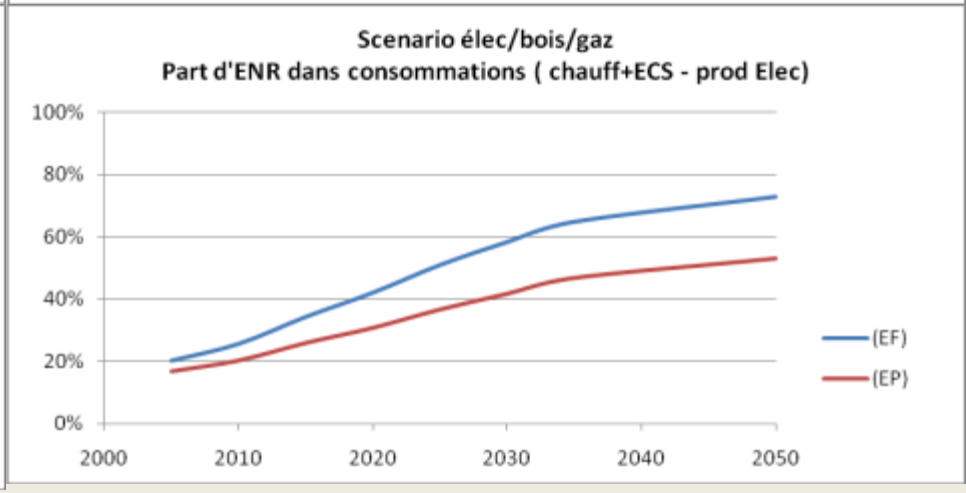


Parts d'EnR thermiques dans les consommations *(énergie finale et énergie primaire)*



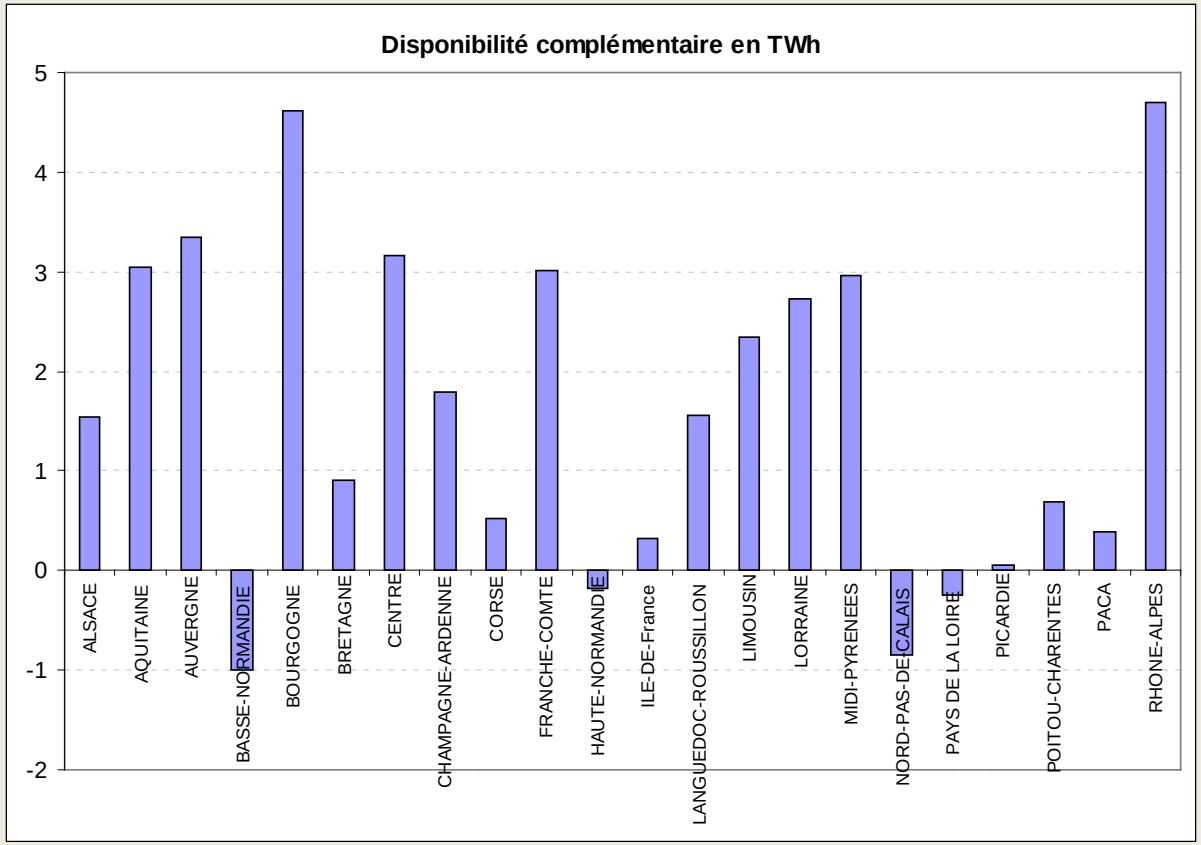






(Total Bois + Part EnR PAC + Solaire thermique) / (Total Chauffage ECS + Part EnR PAC + Solaire thermique), exprimée en GWh /an, en énergie finale puis en énergie primaire. La production électrique par cogénération gaz est déduite des consommations de chauffage + ECS

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

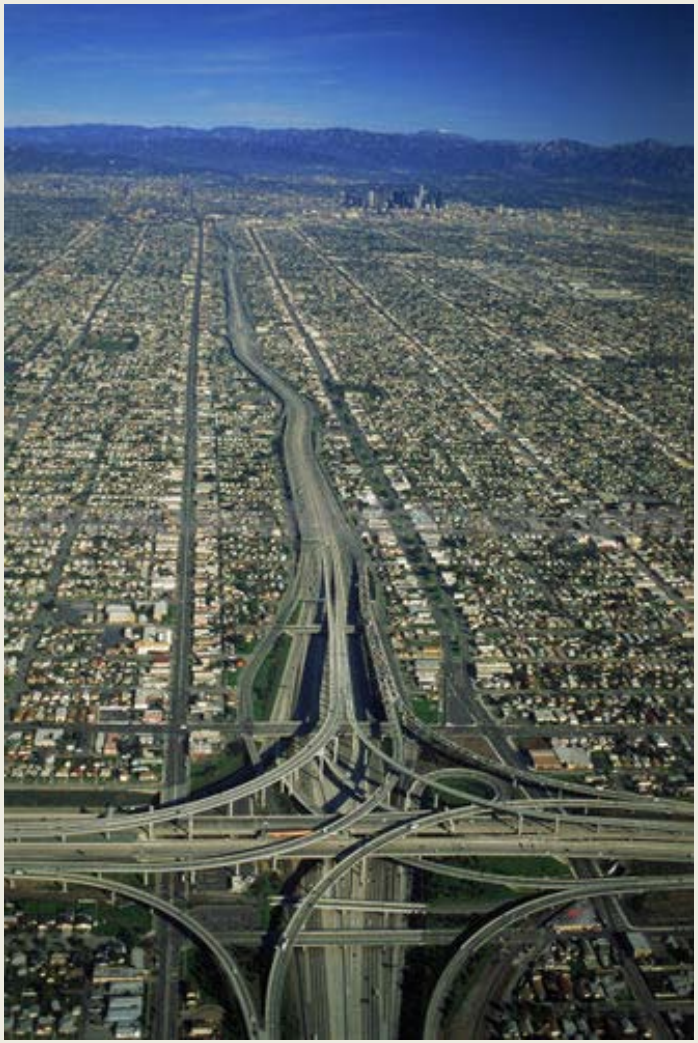
Potentiel de la géothermie profonde estimé à 0,75 Mtep en 2020 soit 9 TWh
Cf. Grenelle de l'environnement, Comité opérationnel n° 10, *Plan de développement des énergies renouvelables à haute qualité environnementale 2008 - 2012 – 2020*, Rapport 2008.



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

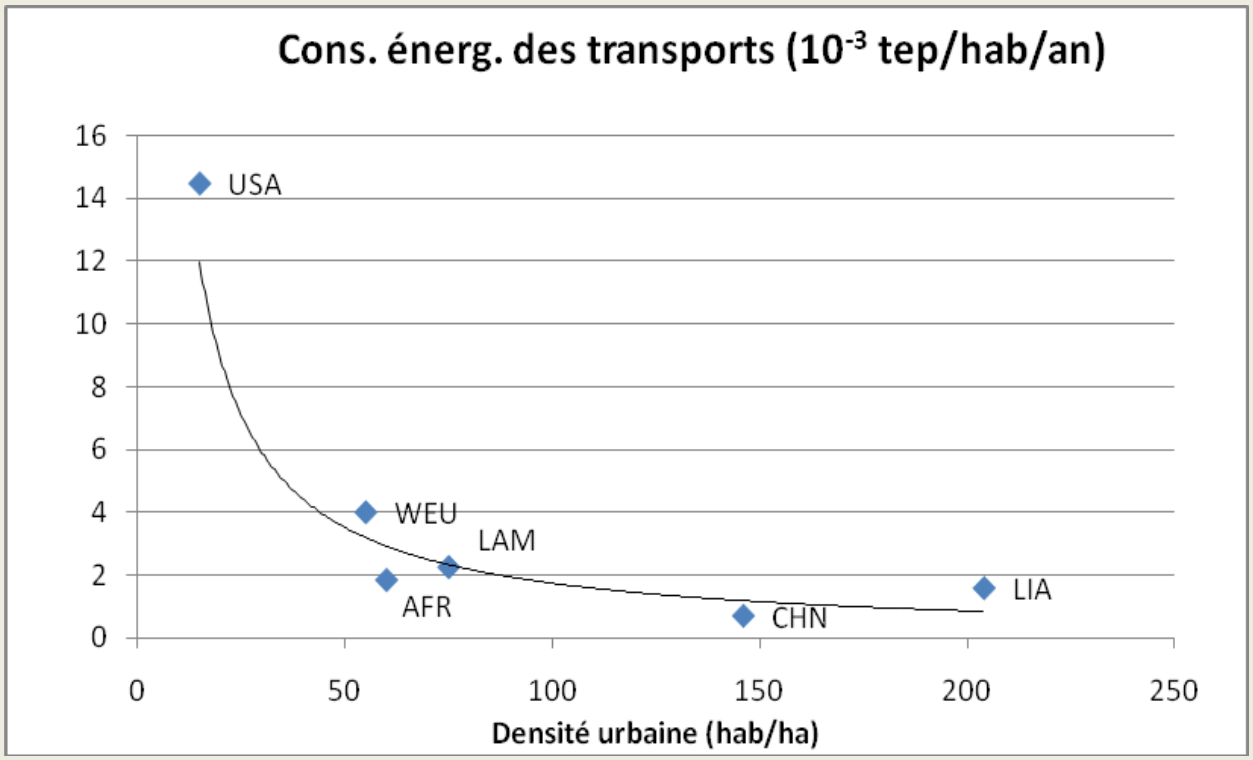




Casares, Andalousie : économie de moyens, mutualisation, économie circulaire, faible consommation de territoire

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

Corrélation consommation énergétique des transports et densité urbaine

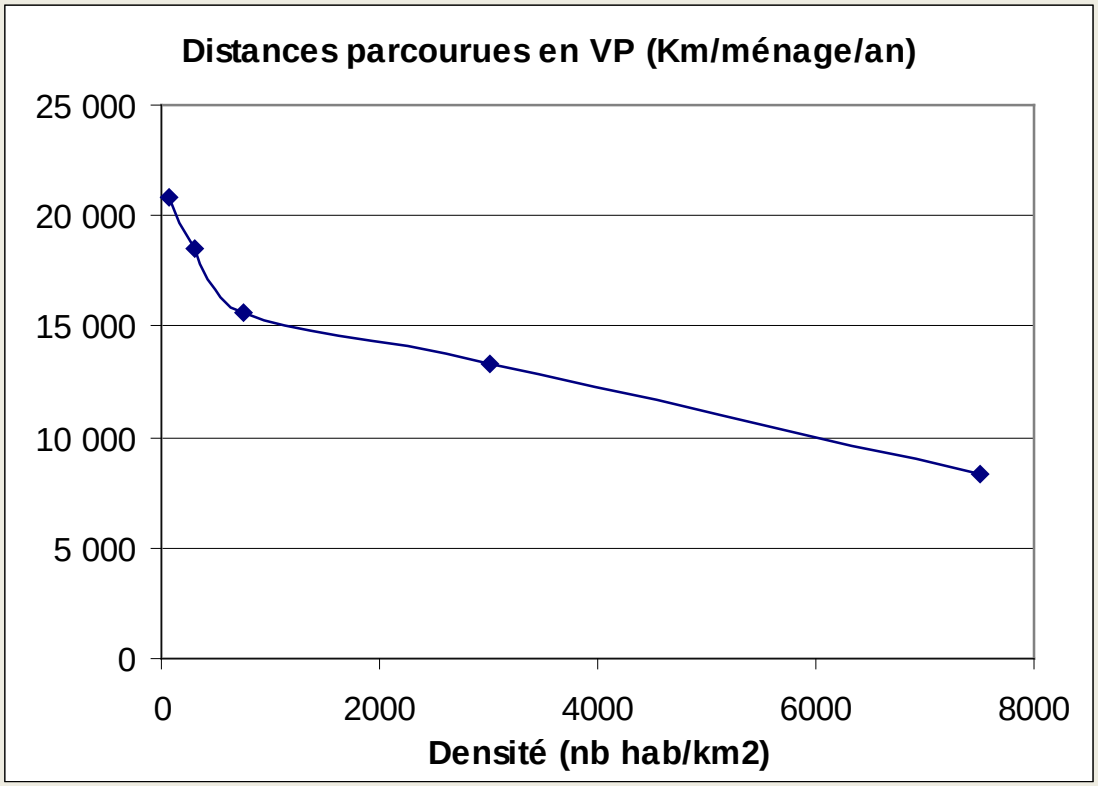


Courbe établie d'après Kenworthy, 2003, par grande zone géographique (données 1995).

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

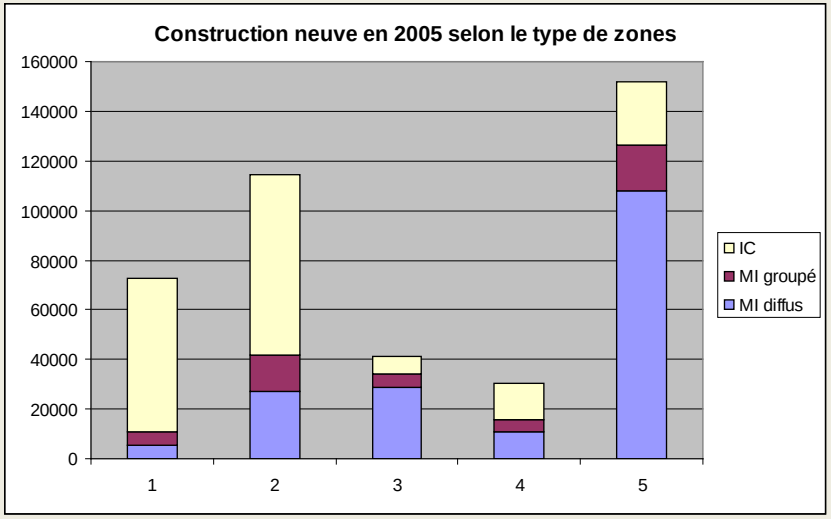


Source : L. Hivert, *Le parc automobile des ménages*, Enquête Parcauto 1998, (2000, cité par le LET, recherche ETHEL)

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

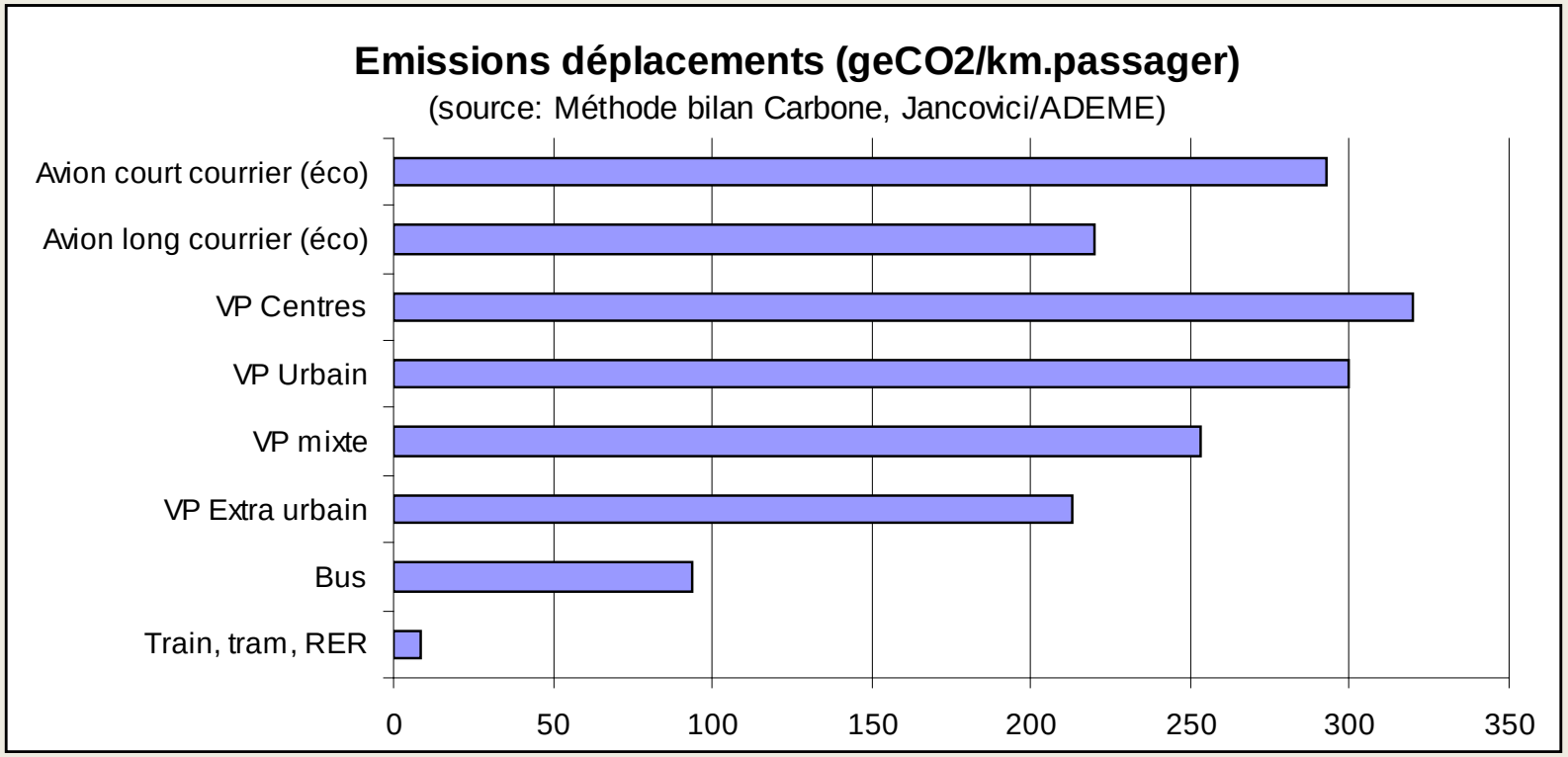
- 2005: 410.000 logements mis en chantier, dont 108.000 MI en rural et en diffus (soit 26%), ce qui contribue à la déconcentration de l'habitat
- En dix ans (de 1995 à 2005), alors que la population a crû de 4%, les terres urbanisées se sont étendues de + 17%, soit quatre fois plus vite ; elles ont doublé 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).



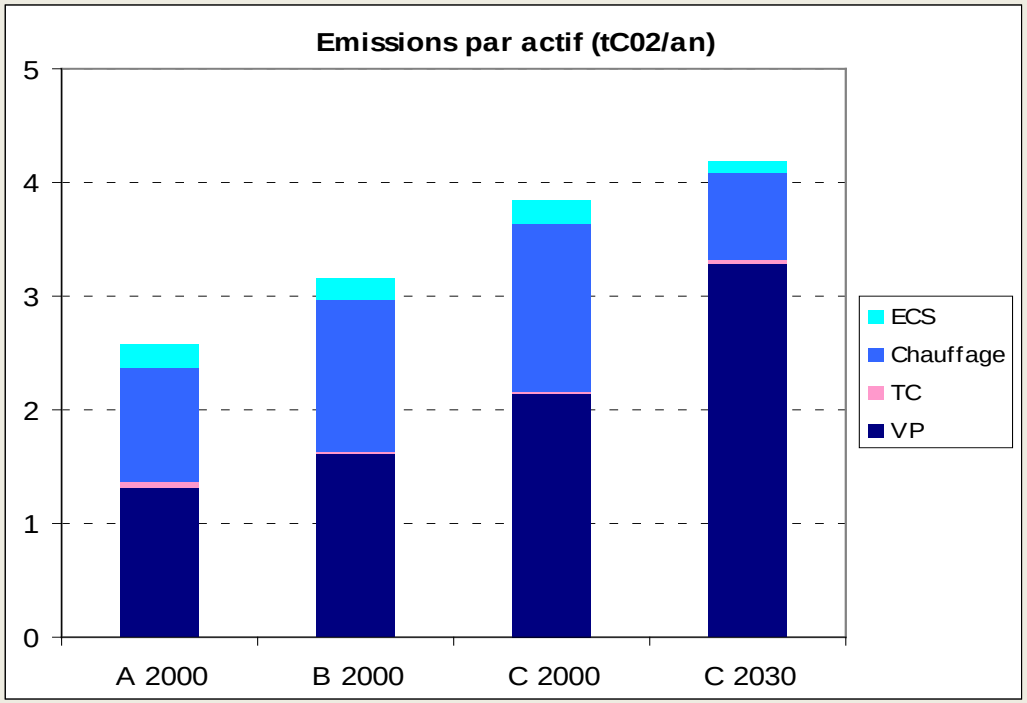
Zone 1, Aire urbaine (unités de plus de 30.000 hab, ville centre) ;
Zone 2 : Aire urbaine, périphérie ;
Zone 3 : Rurbain, communes non urbaines dt plus de 40% des résidents actifs travaillent en zones 1 ou 2;
Zone 4 : Agglomérations secondaires (entre 2500 et 30000 habitants)
Zone 5 : Espace rural.

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/m2 est annulé par une distance supplémentaire parcourue en VP de 18 km/jour
(VP : 330 j/an à 200 gCO2/km),
(logement : 100 m2 chauffés au gaz, à 205 gCO2/kWh)

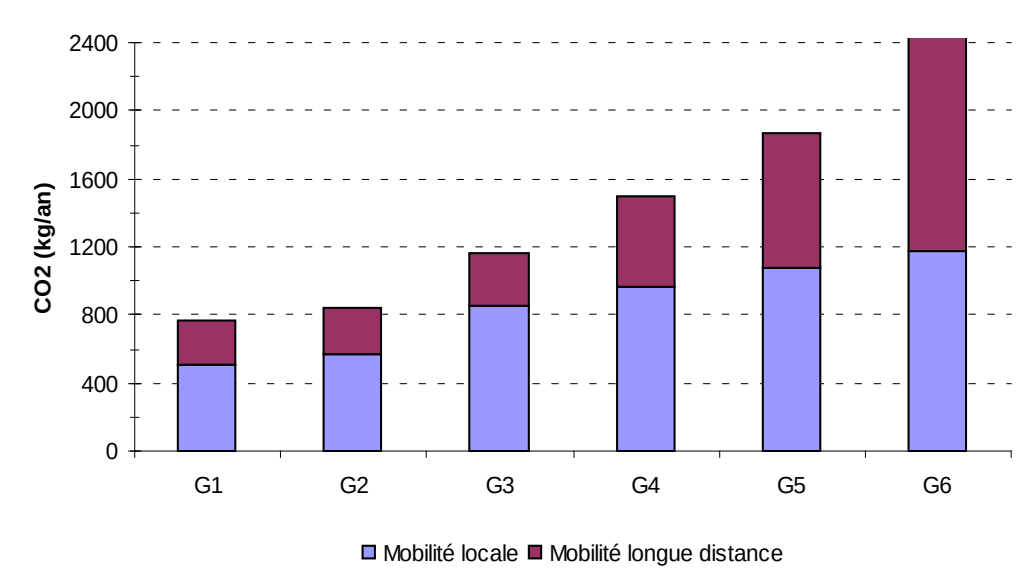
Répartition des actifs en 2000 : 8 millions en A, 8,1 millions en B, 10,5 millions en C
VP en 2030: 120 gCO2/km

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

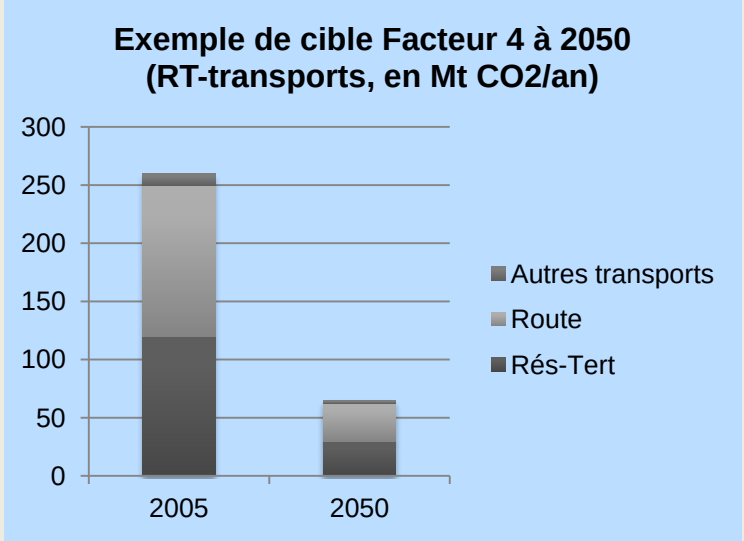
La controverse: faut-il opposer centre - périphérie en termes de mobilité locale?

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)

Les circuits courts des loisirs?



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

Conclusions

- 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)
- 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.