

Etude d'impact de l'enveloppe et du photovoltaïque dans le cadre du futur label « Energie Carbone »



Direction	Nathalie Tchang	Date	15/09/2016
Chef de projet	Laurent Mazié	Référence rapport	ET 16/136
		N°version	1
Chargés d'études			
Diffusion			

Membre fondateur de



Qualification



Membre des réseaux



# SOMMAIRE

1	Préambule.....	3
1.1	Contexte.....	3
1.2	Contenu de l'étude .....	7
1.3	Méthodologie.....	7
2	Synthèse.....	8
2.1	Détermination des prestations d'enveloppe minimales.....	8
2.2	Influence de la compacité sur le bilan environnemental.....	8
3	Hypothèses.....	9
3.1	Détermination des prestations d'enveloppe minimales.....	9
3.1.1	Caractéristiques générales du bâtiment.....	9
3.2	Influence de la compacité sur le bilan environnemental.....	11
3.2.1	Caractéristiques des bâtiments étudiés.....	11
3.2.2	Plans types de niveau.....	15
4	Résultats.....	17
4.1	Détermination des prestations d'enveloppe minimales.....	17
4.1.1	Chauffage gaz.....	17
4.1.2	Chauffage bois.....	19
4.2	Influence de la compacité sur le bilan environnemental.....	21
4.2.1	Résultats globaux.....	21
4.2.2	Détail des résultats par lot.....	23
5	Annexes.....	30

# 1 Préambule

## 1.1 Contexte

Le ministère de l'Ecologie a diffusé cet été un projet d'arrêté pour la mise en place d'un label environnemental pour les bâtiments neufs. Ce label est destiné à couvrir l'ensemble du cycle de vie du bâtiment. D'un point de vue énergétique, l'ensemble des postes de consommations est considéré avec un indicateur appelé « Bilan BEPOS ». Cette exigence énergétique se double d'une exigence sur les émissions de gaz à effet de serre à travers un indicateur appelé « Bilan CO2 ».

### Europe

#### Directive Performance Energétique des Bâtiments (2010/31/UE)



##### Donne une définition du nZEB (art.1)

- « Un bâtiment qui a des **performances très élevées** [...]. La **quantité quasi nulle ou très basse d'énergie requise** devrait être **couverte dans une très large mesure par de l'énergie produite à partir de sources renouvelables**, notamment l'énergie produite à partir de sources renouvelables sur place ou à proximité »

##### Mentionne 2 échéances clés pour la construction de nZEB (art.9)

- **Après 2018 pour les bâtiments publics** : « Les États membres veillent à ce qu'après le 31 décembre 2018, les nouveaux bâtiments occupés et possédés par les autorités publiques soient à consommation d'énergie quasi nulle. »
- **D'ici à fin 2020 pour tous les bâtiments** : « Les États membres veillent à ce que d'ici au 31 décembre 2020, tous les nouveaux bâtiments soient à consommation d'énergie quasi nulle »

### France

#### Loi Grenelle I (août 2009)



##### Introduit un objectif de bâtiment à énergie positive pour la fin 2020 (art. 4)

- « Tous les constructions neuves faisant l'objet d'une demande de permis de construire à compter de la fin 2020, présentent sauf exception, une consommation d'énergie primaire inférieure à la quantité d'énergie renouvelable produite dans ces constructions, notamment le bois énergie »



**Introduit la notion d'énergie positive et de haute performance environnementale pour les bâtiments publics**

« Toutes les nouvelles constructions sous maîtrise d'ouvrage de l'État, de ses établissements publics ou des collectivités territoriales font preuve d'exemplarité énergétique et environnementale et sont, chaque fois que possible, à énergie positive et à haute performance environnementale »

**Impose de définir l'exemplarité énergétique et environnementale et les bâtiments à énergie positive**

« Un décret en Conseil d'État définit les exigences auxquelles doit satisfaire un bâtiment à énergie positive, d'une part, et un bâtiment à haute performance environnementale, d'autre part. »

**Propose une bonification de gabarit pour les bâtiments faisant preuve d'exemplarité énergétique ou environnementale ou qui sont à énergie positive**



**Introduit l'obligation d'exigences multi critères sur l'ensemble du cycle de vie**

« Un décret en Conseil d'Etat détermine : pour les constructions nouvelles, en fonction des différentes catégories de bâtiments, leurs caractéristiques et leur performance énergétiques et environnementales, notamment au regard des émissions de gaz à effet de serre, de la consommation d'eau ainsi que de la production de déchets liées à leur édification, leur entretien, leur réhabilitation et leur démolition (...) »



**Avance à 2018 la prise en compte des GES dans la performance énergétique au périmètre du cycle de vie du bâtiment**

« Un décret en Conseil d'Etat détermine, à partir de 2018, pour les constructions nouvelles, le niveau d'émissions de gaz à effet de serre pris en considération dans la définition de leur performance énergétique et une méthode de calcul de ces émissions sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, adaptée à ces constructions nouvelles »

Ainsi, les pouvoirs publics ont pour objectif de publier un texte sur l'étiquetage environnemental afin :

- A court terme, de proposer des labels énergétiques et environnementaux pour :
  - o les démarches volontaires ;
  - o les collectivités locales qui souhaiteraient imposer des niveaux plus performants contre la délivrance de permis de construire ;
  - o réaliser une base de données et un retour d'expérience pour les étapes réglementaires ultérieures ;
  - o bénéficier de bonus de constructibilité.
- A moyen terme, de s'appuyer sur les retours d'expérience afin de fixer les seuils de la future réglementation énergétique 2018.

Les objectifs annoncés sont les suivants :

- Dynamiser l'ensemble de la filière tout en tenant compte du coût de la construction avec :
  - un **référentiel à plusieurs niveaux** adaptable à chacun
  - une politique de label volontaire associée à un **observatoire** pour **capitaliser**
- Développer et massifier les bâtiments à énergie positive en s'appuyant sur la dynamique des territoires

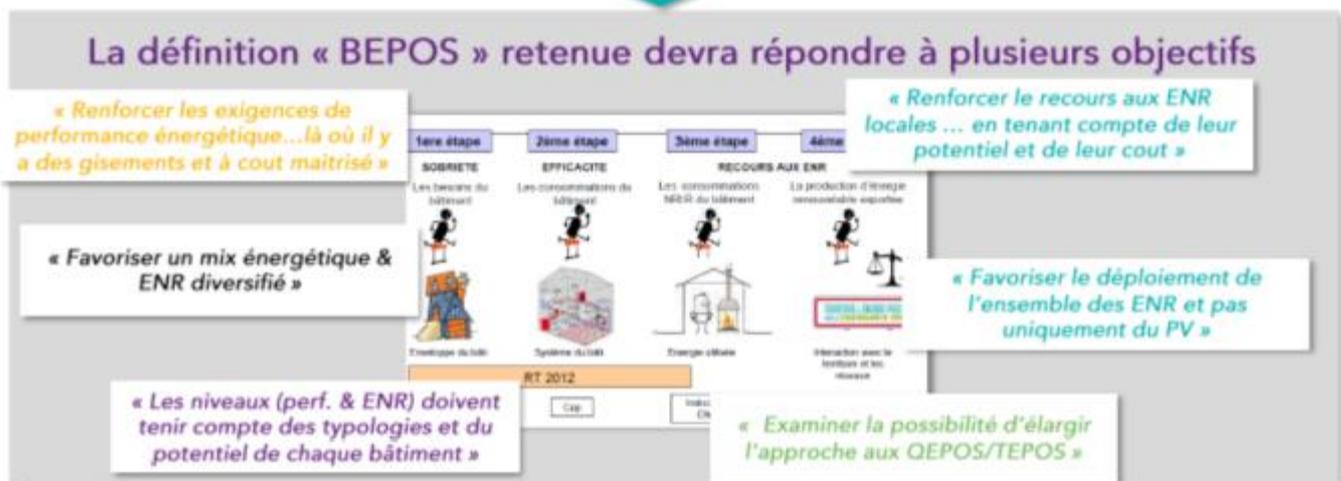
• **Les grands principes**

Le futur étiquetage environnemental devra s'appuyer sur plusieurs principes :

- 1 – Répondre à l'objectif énergétique « BEPOS », en renforçant l'incitation à recourir à des énergies renouvelables
- 2 – Intégrer la notion de performance environnementale à travers un calcul d'Analyse du cycle de vie et un indicateur CO2 (exploitation / construction).



➔ Vers une évaluation multi critères des performances d'un bâtiment sur l'ensemble de son cycle de vie



- **Un indicateur BEPOS unique :**

- Unique, simple d'approche pour les acteurs
- Qui permet de valoriser les efforts en matière de sobriété et d'efficacité énergétique, d'utilisation des énergies renouvelables, en dissociant la production consommée par le bâtiment de la production exportée sur le réseau
- Elargi à l'ensemble des consommations du bâtiment, dans un souci de pédagogie

**Bilan =  $\Sigma$**



**Indicateurs informatifs :**

- Consommation non renouvelable :



- Production d'énergie exportée :



\* Les Indicateurs RT 2012 : Bbio, Cep, cep hors production restent inchangés

:

- **La fixation d'exigences graduées avec :**

- des niveaux de recours aux ENR échelonnés
- un(des) premier(s) niveau(s) accessible(s) à tous les systèmes énergétiques sans recours systématique au PV, un (des) niveau(x) faisant appel à une production d'électricité renouvelable

- **Un BEPOS contextualisé avec :**

- une exigence mutualisable entre bâtiments à l'échelle du PC ou d'une opération d'aménagement
- une prescription locale de la production d'électricité renouvelable : les niveaux faisant appel à une production d'électricité renouvelable sont pilotés par les collectivités locales

Les exigences pour la partie environnementale s'appuieront sur les principes suivants :

**Un indicateur des émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie**

- Calcul ACV multicritère du bâtiment selon référentiel
- Tous les indicateurs sont calculés et capitalisés
- Les exigences portent uniquement sur l'indicateur GES
- Différents niveaux d'exigences

## • Le calage des futures exigences

Les futures exigences seront déterminées en fonction :

- Du REX HQE Performance sur la partie ACV
- Des travaux du GT applicateurs

Dans ce cadre, la première partie de cette étude sera destinée à évaluer les prestations minimales d'enveloppe d'un immeuble collectif, en zone H1a, en chauffage collectif gaz puis en chauffage collectif bois, pour les niveaux de performance énergétique suivants :

- BBC 2005,
- RT2012,
- Effinergie+,
- PEBN 1 à 4.

A noter que pour le niveau RT2012 et les niveaux PEBN 1 et 2, l'étude sera faite à la fois sur une base de 57,5 kWhep/m<sup>2</sup>.an (en vigueur jusqu'à fin 2017) et sur une base de 50 kWhep/m<sup>2</sup>.an (en vigueur à partir de 2018) afin d'en mesurer les enjeux sur l'enveloppe des bâtiments.

La seconde partie de cette étude s'intéressera à la sensibilité du Bilan CO<sub>2</sub> en fonction de la compacité du bâtiment, à prestations thermiques identiques. Pour ce faire, différents bâtiments de logement seront modélisés, avec, du moins compact au plus compact :

- Un immeuble de 4 logements en R+1,
- Un immeuble de 9 logements en R+2,
- Un immeuble de 15 logements en R+2,
- Un immeuble de 20 logements en R+3,
- Un immeuble de 36 logements en R+5,
- Un immeuble de 80 logements en R+7.

## 1.2 Contenu de l'étude

Cette étude est divisée en 3 parties distinctes :

- Une synthèse donne tout d'abord les principales conclusions de chaque partie de l'étude,
- Dans le chapitre suivant, les hypothèses prises en compte dans l'étude sont étayées,
- Enfin, le dernier chapitre est consacré à la description détaillée des résultats de l'étude.

**Enfin, sont annexés les résultats détaillés pour l'ensemble des simulations réalisées.**

## 1.3 Méthodologie

Le logiciel Elodie a été utilisé pour le calcul des impacts environnementaux.

Le logiciel ClimaWin v4.3 du 30 juin 2016 utilisant la v7.2.0.0 du moteur de calcul a été utilisé pour les calculs énergétiques.

Les résultats du bilan CO<sub>2</sub> sont calculés selon la méthodologie adoptée lors du GT applicateurs BEPOS CO<sub>2</sub>.

## 2 Synthèse

Les principaux enseignements de l'étude sont :

### 2.1 Détermination des prestations d'enveloppe minimales

- **Chauffage gaz :**

Performances thermiques du bâti bien plus faibles en « RT2012 base 57,5 kWhep » qu'en BBC 2005

Performances thermiques du bâti très élevées quelque soit le niveau de label « Energie Carbone en base 50 kWhep » visé, pour le niveau 2 en base 57,5 kWhep ainsi que pour les niveaux « RT2012 base 50 kWhep » et « Effinergie+ »

- **Chauffage bois :**

Performances thermiques du bâti très faibles quelque soit le niveau de label « Energie Carbone » visé ainsi qu'en BBC 2005 et « RT2012 base 57,5 kWhep »

Performances thermiques du bâti relativement élevées pour les niveaux « RT2012 base 50 kWhep » et « Effinergie+ »

	BBC2005	RT2012 base 57,5	RT2012 base 50	Effinergie+	PEBN 1 base 57,5	PEBN 2 base 57,5	PEBN 1 base 50	PEBN 2 base 50	PEBN 3	PEBN 4
Chauffage gaz	+	-	+	+	=	+	+	+	+	+
Chauffage bois	-	-	=	+	-	-	-	-	-	-

Légende :

- : performances bâti faibles

= : performances bâti moyennes

+ : performances bâti élevées

### 2.2 Influence de la compacité sur le bilan environnemental

- Gain sur le bilan CO<sub>2</sub> (hors lots VRD et infrastructures) supérieur à 30% en augmentant la compacité d'un facteur 3
- Gain sur les autres indicateurs environnementaux du même ordre : de 16% pour les déchets dangereux à 39% pour la formation d'ozone photochimique

## 3 Hypothèses

### 3.1 Détermination des prestations d'enveloppe minimales

Ce présent paragraphe est destiné à donner l'ensemble des hypothèses considérées pour la première partie de cette étude. Il explicite les caractéristiques générales du bâtiment étudié dans le cadre de la détermination des prestations thermiques d'enveloppe minimales selon les niveaux de performance énergétique visés.

#### 3.1.1 Caractéristiques générales du bâtiment

Description générale		
		
Typologie du bâtiment		Immeuble collectif
Nombre d'étages		R+5
Unités d'analyse		
SHAB	m <sup>2</sup>	5819
Nombre logements		104
S <sub>RT</sub>	m <sup>2</sup>	7462
SHON (BBC 2005)	m <sup>2</sup>	6982*
Contexte		
Zone climatique		H1a
Altitude	mètres	<= 400 mètres
Descriptions et commentaires		
Nombre de niveaux de parking		2
Type de parking		souterrain
Hauteur sous plafond		2,50
Système constructif		Voile béton + ITI

\* Pour le label BBC 2005, il est considéré dans cette étude la définition de la SHON prévalant à son lancement, c'est-à-dire une surface égale à 1,2 x SHAB.

Les hypothèses en matière de systèmes énergétiques sont les suivantes :

<b>Prestations thermiques</b>			
<b>Chauffage</b>	Génération	Chaudière collective gaz P=160 kW Rendement 100% = 96.8% Rendement 30% = 108%	Chaudière collective bois P=160 kW Rendement 100% = 102.7% Rendement 30% =101.9% Appoint par chaudière gaz
	Emission	Radiateurs bitube Variation temporelle = 0,27°C	
	Distribution	Réseau bouclé Calorifuge : Umoyen = 0.3 W/m.K Circulateurs à vitesse variable	
<b>ECS</b>	Génération	Chaudière collective gaz	Chaudière collective bois
	Emission	Robinetterie : mitigeurs économiques Appareils sanitaires : baignoires standard	
	Distribution	Réseau bouclé Calorifuge : Umoyen = 0.3 W/m.K	
<b>Ventilation</b>		VMC hygroB Etanchéité des réseaux : classe A Pabs=8,7 W/logement	

S'il est impossible, avec les meilleures prestations d'enveloppe disponibles, d'atteindre le niveau de performance énergétique requis avec les prestations décrites ci-dessus, il sera précisé dans les tableaux de résultats en §4 les prestations additionnelles permettant d'atteindre le niveau requis (exemple : solaire thermique).

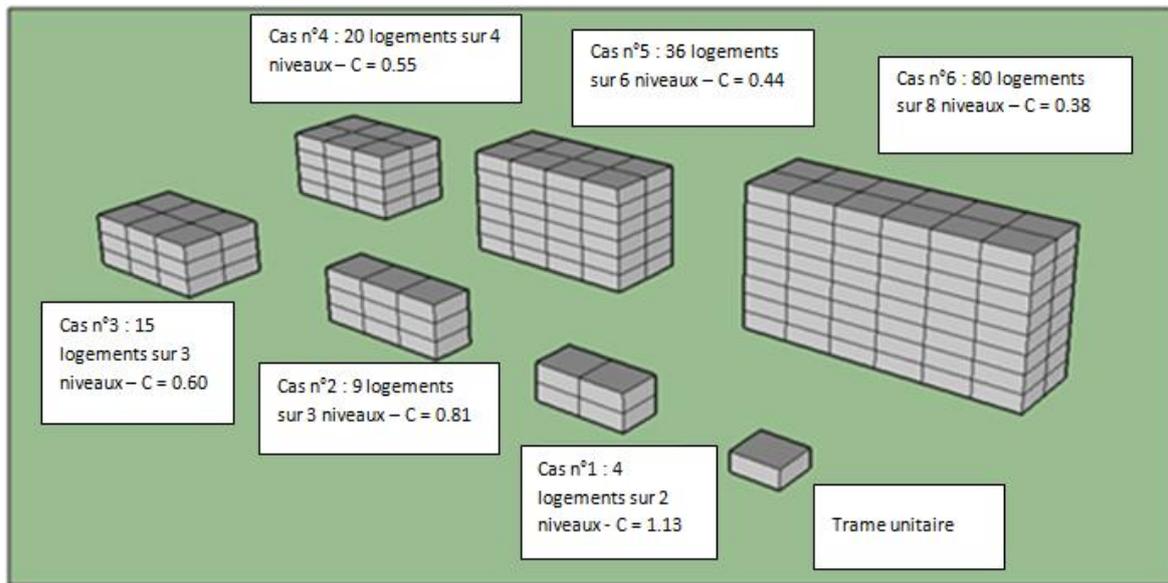
Les hypothèses d'enveloppe seront détaillées dans le §4 Résultats, en fonction des niveaux de performance énergétique visés.

## 3.2 Influence de la compacité sur le bilan environnemental

Ce présent paragraphe est destiné à donner l'ensemble des hypothèses considérées pour la seconde partie de cette étude, c'est-à-dire l'influence de la compacité sur le bilan CO2.

### 3.2.1 Caractéristiques des bâtiments étudiés

Dans le but d'étudier le lien entre compacité et bilan CO2, nous avons analysé 6 cas d'études. Le schéma suivant illustre les 6 cas modélisés :



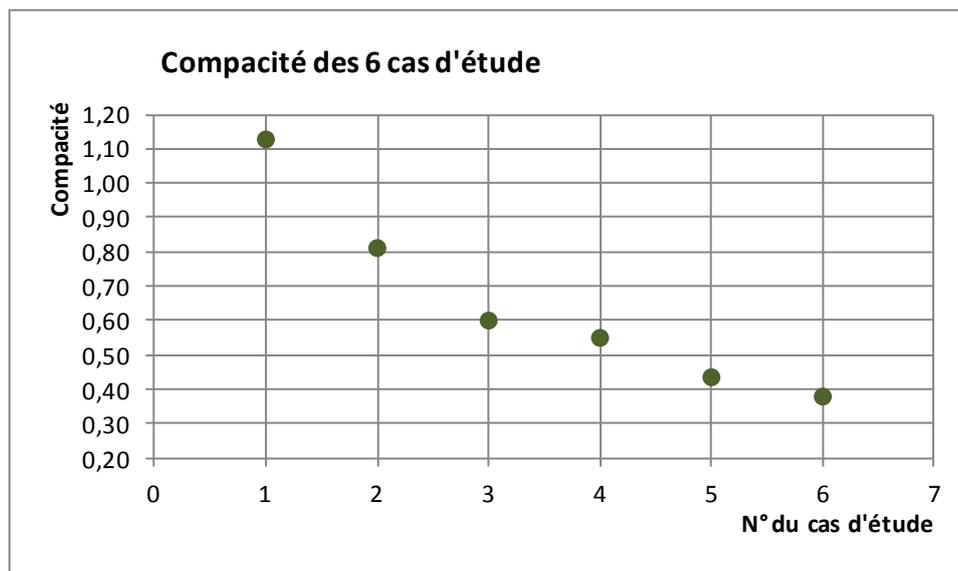
- Composition des étages type – Typologie des logements :

Cas d'étude	Composition d'un étage type			Nbr lgt/niv.	Nbr niv.	Nbr. Tot. Logt
	Logement type T2	Logement type T3	Logement type T4			
Cas n°1	1	1	-	2	2	4
Cas n°2	1	2	-	3	3	9
Cas n°3	1	4	-	5	3	15
Cas n°4	2	3	-	5	4	20
Cas n°5	3	1	2	6	6	36
Cas n°6	4	6	-	10	8	80

- Caractéristiques des cas étudiés :

Cas d'étude	S. déperditive en m <sup>2</sup>	Surface habitable en m <sup>2</sup>	Surface de plancher en m <sup>2</sup>	Volume habitable en m <sup>3</sup>	Compacité (Sdéperd/volume habitable)
Cas n°1	520,9	170,2	215,8	462,2	1,13
Cas n°2	910,2	413,2	505,7	1122,1	0,81
Cas n°3	1478,5	907,0	1061,6	2463,3	0,60
Cas n°4	1728,4	1157,1	1401,5	3142,6	0,55
Cas n°5	2796,3	2364,2	2834,6	6421,1	0,44
Cas n°6	4759,3	4621,3	5744,4	12551,4	0,38

Le graphique ci-dessous présente l'évolution de la compacité en fonction des cas d'étude :



- Niveau souterrain : Les 6 bâtiments ont été modélisés avec un niveau de sous-sol.
- Surface de vitrage : Pour chacun des cas étudiés, nous avons considéré une surface de vitrage équivalente à 1/3 de la surface de façade.
- Ascenseur et cage d'escalier : Les cas n°1, 2 et 3, de maximum R+2, n'ont pas d'ascenseur. Le cas n° 6 a une cage d'escalier et un ascenseur doublé.

Les 6 cas étudiés sont supposés isolés par l'intérieur avec des niveaux d'isolation identiques. Les hypothèses de modélisation sont les suivantes :

Nom parois	Caractéristique	Description
Mur ext. Type 1	Béton ITI	Finition ext. Enduit Béton 20 cm Isolation int. 12 cm BA13 1,3 cm Finition int. peinture
Mur int. Type 1	Béton non isolé	Finition peinture BA13 1,3 cm Béton 20 cm BA13 1,3 cm Finition peinture
Mur int. Type 2	Béton isolé	Finition peinture BA13 1,3 cm Béton 20 cm Isolation int. 08 cm BA13 1,3 cm Finition peinture
Cloison int. Type 1	Cloison peinte	Finition peinture Cloison 07 cm Finition peinture
Plancher bas Type 1	PB Béton isolé en sous face sur pièces à vivre	Finition sol souple 02 cm Chape béton 05 cm Dalle béton 20 cm Isolation 16 cm
Plancher bas Type 2	PB Béton isolé en sous face sur pièces d'eau	Finition carrelage 02 cm Chape béton 05 cm Dalle béton 20 cm Isolation 16 cm
Plancher bas Type 3	PB Béton isolé en sous face sur circulations communes	Finition sol souple 02 cm Chape béton 05 cm Dalle béton 20 cm Isolation 16 cm
Plancher int. Type 1	PI Béton sur pièces à vivre	Finition sol souple 02 cm Chape béton 05 cm Dalle béton 20 cm BA13 1,3 cm Finition peinture
Plancher int. Type 2	PI Béton sur pièces d'eau	Finition carrelage 02 cm Chape béton 05 cm Dalle béton 20 cm BA13 1,3 cm Finition peinture
Plancher int. Type 3	PI Béton sur circulations communes	Finition sol souple 02 cm Chape béton 05 cm Dalle béton 20 cm BA13 1,3 cm Finition peinture
Toiture terrasse	Béton isolé ext.	Finition ext. Gravier 04 cm Etanchéité Isolation 16 cm Dalle béton 20 cm BA 13 1,3 cm Finition peinture
Mur enterré sous-sol	Béton	Etanchéité Béton 30 cm
Poteaux sous-sol	Béton	30 cm X 30 cm
Radier	Béton	Béton 20 cm

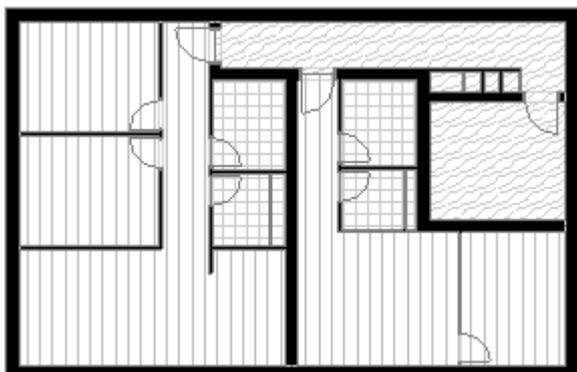
Les systèmes énergétiques suivants ont été considérés :

Description		
Chauffage/ECS	Générateurs	Chaudières gaz individuelles
	Emetteurs	Radiateurs
Ventilation	Simple flux hygro B	

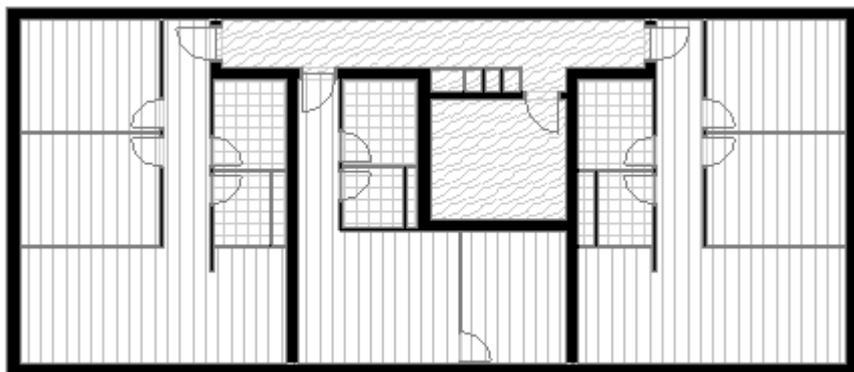
### 3.2.2 Plans types de niveau

Sont présentés ci-dessous les plans de niveau de chaque bâtiment étudié. Chaque bâtiment contient en plus un niveau de parking en sous-sol de même emprise au sol que les niveaux supérieurs.

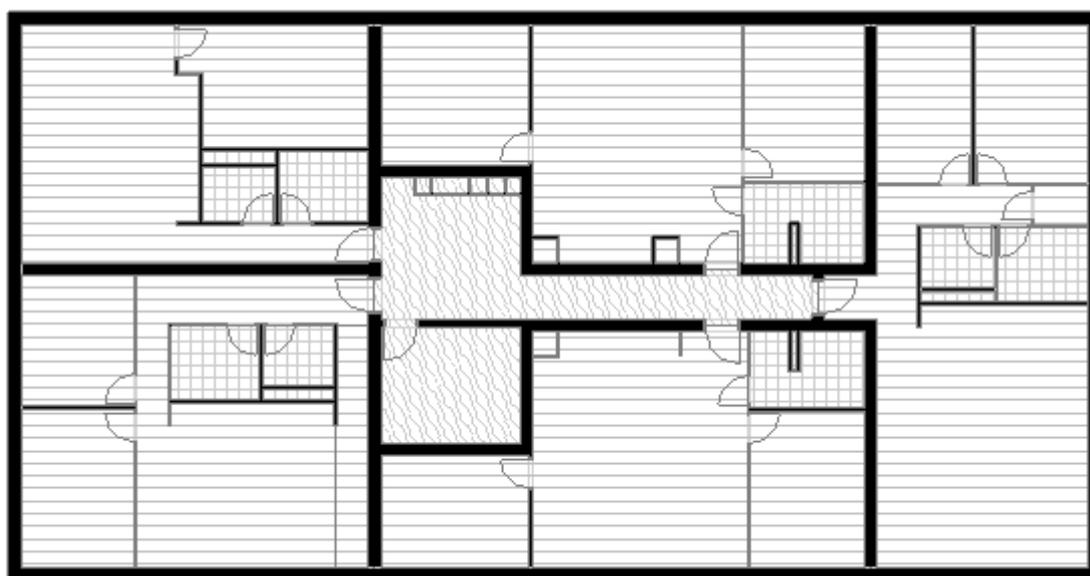
- Cas n°1



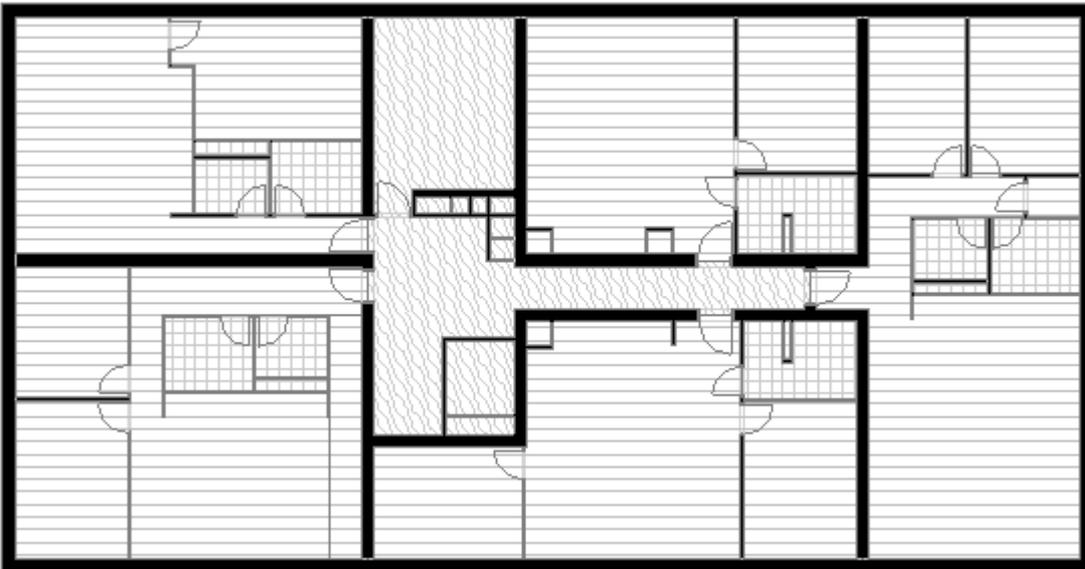
- Cas n°2



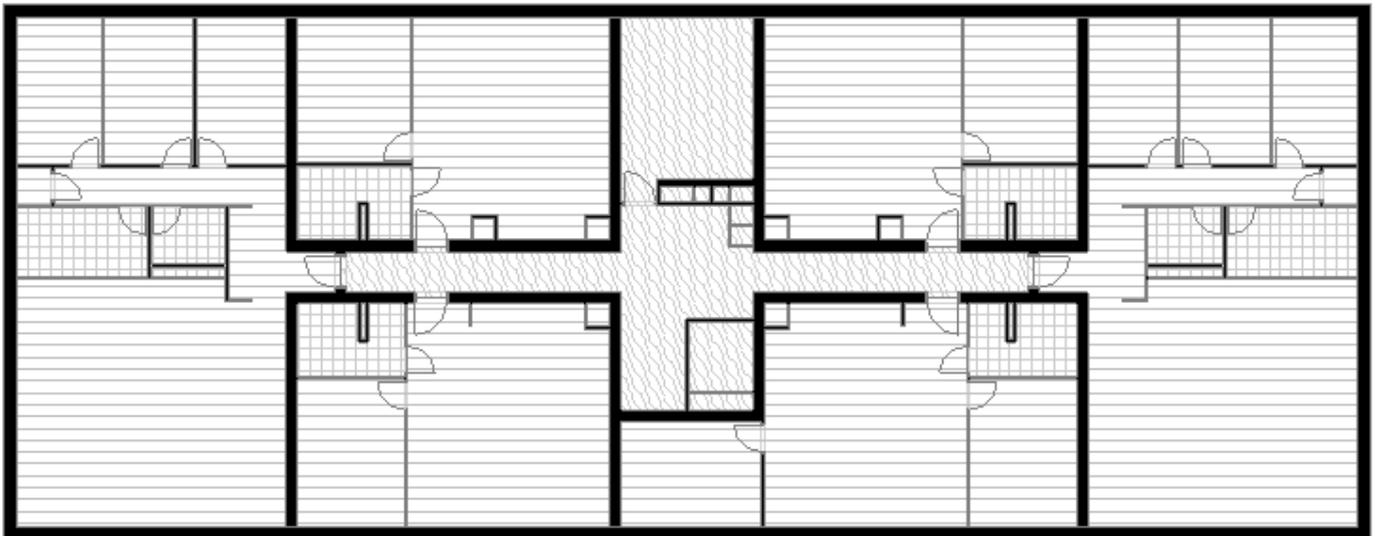
- Cas n°3



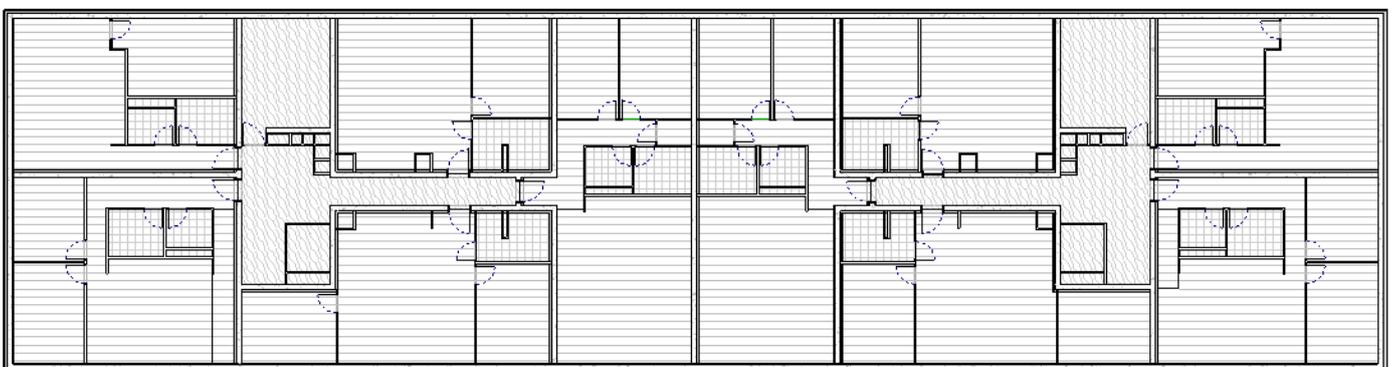
- Cas n°4



- Cas n°5



- Cas n°6\*



\* Attention, ce dernier cas n'est pas illustré à la même échelle que les cas précédents : la largeur du bâtiment est en fait égale à la largeur du cas n°5 et la longueur plus importante

## 4 Résultats

### 4.1 Détermination des prestations d'enveloppe minimales

#### 4.1.1 Chauffage gaz

		BBC2005	RT2012 base 57,5	RT2012 base 50	Effinergie+	PEBN 1 base 57,5	PEBN 2 base 57,5	PEBN 1 base 50	PEBN 2 base 50	PEBN 3	PEBN 4
Parois opaques ( $m^2.K/W$ )	Murs extérieurs	R=4	R=3	R=5	R=6	R=3	R=5	R=6	R=5	R=6	R=6
	Toiture	R=8	R=4	R=10	R=10	R=5	R=10	R=10	R=8	R=10	R=10
	Plancher bas	R=5	R=2,5	R=5	R=5	R=2,5	R=5	R=5	R=5	R=5	R=5
Parois vitrées ( $W.m^2/K$ )	Fenêtres	Uw=1,4 Sw=0,4	Uw=1,4 Sw=0,4	Uw=1,4 Sw=0,4	Uw=1,1 Sw=0,38	Uw=1,4 Sw=0,4	Uw=1,4 Sw=0,4	Uw=1,1 Sw=0,38	Uw=1,1 Sw=0,38	Uw=1,1 Sw=0,38	Uw=1,1 Sw=0,38
	Plancher bas	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
Ponts thermiques ( $W.m.K$ )	Plancher intermédiaire	0,15 (partie courante) 0,3 (balcons)	0,15 (partie courante) 0,87 (balcons)	0,15 (partie courante) 0,3 (balcons)	0,15 (partie courante) 0,3 (balcons)						
	Plancher haut	0,3 (rupteurs)	0,84	0,3 (rupteurs)	0,3 (rupteurs)	0,84	0,3 (rupteurs)	0,3 (rupteurs)	0,3 (rupteurs)	0,3 (rupteurs)	0,3 (rupteurs)
	Perméabilité à l'air ( $m^3/h.m^2$ )	1	1	0,6	0,6	1	0,6	0,6	0,8	0,6	0,6
Solaire thermique	-	-	-	104 m <sup>2</sup>	-	-	-	-	104 m <sup>2</sup>	104 m <sup>2</sup>	104 m <sup>2</sup>
Photovoltaïque	-	-	-	-	-	-	-	-	-	450 m <sup>2</sup> (33% surface toiture)	700 m <sup>2</sup> (50% surface toiture)
Bbio (points)			66,4	42,8	37,1	58,2	42,8	37,1	45,4	37,1	37,1
Bbiomax (points)			72	72	57,6	72	72	72	72	72	72
Cep chauffage ( $kWhep.m^2.an$ )		20,2	26,6	15	11,7	21,5	15	12,3	15,2	11,7	11,7
Cep ECS ( $kWhep.m^2.an$ )		31,5	38,2	38,3	29,1	38,2	38,3	38,4	29,1	29,1	29,1
Cep éclairage ( $kWhep.m^2.an$ )		6,8	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
Cep ventilateurs ( $kWhep.m^2.an$ )		5,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Cep auxiliaires ( $kWhep.m^2.an$ )		0,6	1,8	1,6	1,5	1,7	1,6	1,5	1,6	1,5	1,5
Cep ( $kWhep.m^2.an$ )		64,9	71,4	61,7	49,1	68,3	61,7	59,0	52,7	49,1	49,1
Cepmax ( $kWhep.m^2.an$ )		65,0	71,8	62,5	50,0	68,7	62,5	59,4	53,1	50,0	50,0
Prod photovoltaïque		-	-	-	-	-	-	-	-	20,3	30,8
Bilan <sub>en</sub> ( $kWhep.m^2.an$ )						138,3	131,7	129,0	122,7	98,8	88,3
Bilan <sub>en,max</sub> ( $kWhep.m^2.an$ )						138,7	132,5	129,4	123,1	100,0	0

Différentes observations ressortent de ces résultats :

- Les performances thermiques du bâti sont beaucoup plus faibles en « RT2012 base 57,5 kWhep » (en vigueur actuellement et jusqu'à fin 2017) qu'en BBC 2005. Cela est principalement dû à deux facteurs conjugués :
  - Le rapport  $S_{RT}/SHAB$  est plus élevé en RT2012 (ici 1,28) que le rapport SHON/SHAB pour le label BBC 2005 qui avait été fixé de manière conventionnelle à 1,2 lors de son lancement afin d'éviter d'impacter les prestations thermiques à cause d'un mauvais calcul de la SHON ou à cause d'un rapport SHON/SHAB

trop élevé (cas des maisons avec combles aménageables mais non aménagés par exemple). A noter que le ratio calculé ici de 1,28 pour le rapport  $S_{RT}/SHAB$  se situe plutôt dans la fourchette basse : le plus souvent, ce ratio est supérieur à 1.3, ce qui conduit à des prestations thermiques encore moins élevées.

- Des coefficients de modulation supplémentaires par rapport au label BBC 2005 ont été fixés en RT2012 pour la détermination du Cepmax, en particulier le coefficient  $M_{c\ surf}$  qui module l'exigence en fonction de la surface moyenne des logements. Cette modulation conduit ici à augmenter le Cepmax de près de 7 kWhep/m<sup>2</sup>.an en raison de la faible surface moyenne des logements.
- Les performances thermiques du bâti sont relativement moyennes pour le niveau 1 du label Energie Carbone « en base 57,5 kWhep » mais restent cependant inférieures au niveau de performance thermique du label BBC 2005.
- Pour tous les autres niveaux de performances visés, l'enveloppe doit être très performante ; dès le niveau 2 du label Energie Carbone « en base 50 kWhep » ainsi que pour le niveau Effinergie +, il est nécessaire de mettre en œuvre, en plus d'une enveloppe très performante, du solaire thermique afin de parvenir aux exigences visées. C'est d'ailleurs pour cette raison que les prestations d'enveloppe décrites dans le tableau ci-dessus sont moins performantes pour le niveau 2 du label Energie Carbone « en base 50 kWhep » que pour son niveau 1.
- Le niveau 3 du label Energie Carbone est atteignable en combinant enveloppe très performante et une surface de photovoltaïque (450 m<sup>2</sup>) correspondant à environ un tiers de la surface de toiture.
- Le niveau 4 n'est pas atteignable. Nous nous sommes ici volontairement limités à une surface de photovoltaïque (PV) correspondant à 50% de la surface de toiture par réalisme. Cependant, même avec une toiture intégralement couverte en PV, ce niveau serait très loin de pouvoir être atteint.

## 4.1.2 Chauffage bois

		BBC2005	RT2012 base 57,5	RT2012 base 50	Effnergie+	PEBN 1 base 57,5	PEBN 2 base 57,5	PEBN 1 base 50	PEBN 2 base 50	PEBN 3	PEBN 4
Parois opaques (m <sup>2</sup> .K/W)	Murs extérieurs	R=2,5	R=2,5	R=4	R=4	R=2,5	R=2,5	R=2,5	R=2,5	R=2,5	R=2,5
	Toiture	R=3	R=3	R=8	R=8	R=3	R=3	R=3	R=3	R=3	R=3
	Plancher bas	R=2,5	R=2,5	R=4	R=4	R=2,5	R=2,5	R=2,5	R=2,5	R=2,5	R=2,5
Parois vitrées (W.m <sup>2</sup> /K)	Fenêtres	Uw=1,6 Sw=0,4	Uw=1,6 Sw=0,4	Uw=1,4 Sw=0,4	Uw=1,4 Sw=0,4	Uw=1,6 Sw=0,4					
Ponts thermiques (W.m.K)	Plancher bas	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23
	Plancher intermédiaire	0,87	0,15 (partie courante) (pas de traitement)	0,15 (partie courante) 0,87 (balcons)							
	Plancher haut	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84	0,84
Perméabilité à l'air (m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> )		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Solaire thermique		-	-	-	104 m <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-
Photovoltaïque		-	-	-	-	-	-	-	-	-	700 m <sup>2</sup> (50% surface toiture)
Bbio (points)			71,9	58,2	52,7	71,9	71,9	71,9	71,9	71,9	71,9
Bbiomax (points)			72	72	72	72	72	72	72	72	72
Cep chauffage (kWhep.m <sup>2</sup> .an)		23,5	32,0	24,8	22,5	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4	7,4
Cep ECS (kWhep.m <sup>2</sup> .an)		23,6	43,9	44,0	30,4	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
Cep éclairage (kWhep.m <sup>2</sup> .an)		6,7	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1
Cep ventilateurs (kWhep.m <sup>2</sup> .an)		5,8	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7	2,7
Cep auxiliaires (kWhep.m <sup>2</sup> .an)		1,0	1,9	1,7	1,7	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
Cep (kWhep.m <sup>2</sup> .an)		60,6	84,6	77,3	61,4	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8
Cepmax (kWhep.m <sup>2</sup> .an)		65,0	89,1	77,5	62,0	68,7	62,5	59,4	53,1	50,0	50,0
Prod photovoltaïque		-	-	-	-	-	-	-	-	-	30,8
Bilan <sub>ep</sub> (kWhep.m <sup>2</sup> .an)						96,8	96,8	96,8	96,8	96,8	66,0
Bilan <sub>ep max</sub> (kWhep.m <sup>2</sup> .an)						138,7	132,5	129,4	123,1	100,0	0

Les principaux enseignements des résultats pour le cas du chauffage au bois sont :

- Les performances thermiques du bâti sont particulièrement faibles pour l'ensemble des niveaux visés, excepté les niveaux « RT2012 base 50 kWhep » et « Effnergie+ ». Des causes variées expliquent ce phénomène :
  - Pour le cas du label BBC 2005, c'est le coefficient de conversion d'énergie finale en énergie primaire égal à 0,6 qui en est la principale explication. Seuls les gardes-fous d'isolation prévalant en RT 2005 permettent de maintenir une performance minimale.
  - Pour le cas du niveau RT2012 pré-2018, le coefficient  $M_{c_{GES}}$  égal à 0,3 permet d'augmenter le Cepmax de près de 25% par rapport au cas du chauffage au gaz, diminuant du même coup les performances thermiques requises pour l'enveloppe du bâtiment. Le facteur limitant est ici le Bbiomax.
  - Pour l'ensemble des niveaux du label Energie Carbone, l'impact de l'enveloppe n'a que très peu d'influence en raison du facteur de conversion d'énergie finale en énergie primaire non renouvelable égal à 0. A noter que les consommations de chauffage et d'ECS correspondent ici aux consommations de

l'appoint au gaz. Si aucun appoint n'avait été considéré dans l'étude, les consommations de chauffage et d'ECS auraient alors été nulles de même que l'influence de la performance de l'enveloppe sur les résultats. En conséquence, le niveau 3 du label Energie Carbone est atteint avec les performances d'enveloppe les plus faibles nécessaires au respect du Bbiomax, et sans même devoir recourir au PV.

- Pour les niveaux « RT2012 base 50 kWhep » et « Effinergie+ », les performances thermiques du bâti sont relativement élevées. En effet, le niveau du Cepmax est alors moindre, compensant le coefficient  $M_{c_{GES}}$  pour le niveau RT2012 post-2017 et allant au-delà pour le niveau « Effinergie + ». Il est d'ailleurs indispensable, pour le niveau « Effinergie + », de mettre en place du solaire thermique, une enveloppe très performante ne suffisant pas à elle seule à respecter les seuils fixés.
- Le niveau 4 du label Energie Carbone n'est pas atteignable ; de plus, compte tenu du facteur de conversion d'énergie finale en énergie primaire non renouvelable égal à 0, aucune incitation à renforcer la performance de l'enveloppe du bâtiment n'est offerte.

## 4.2 Influence de la compacité sur le bilan environnemental



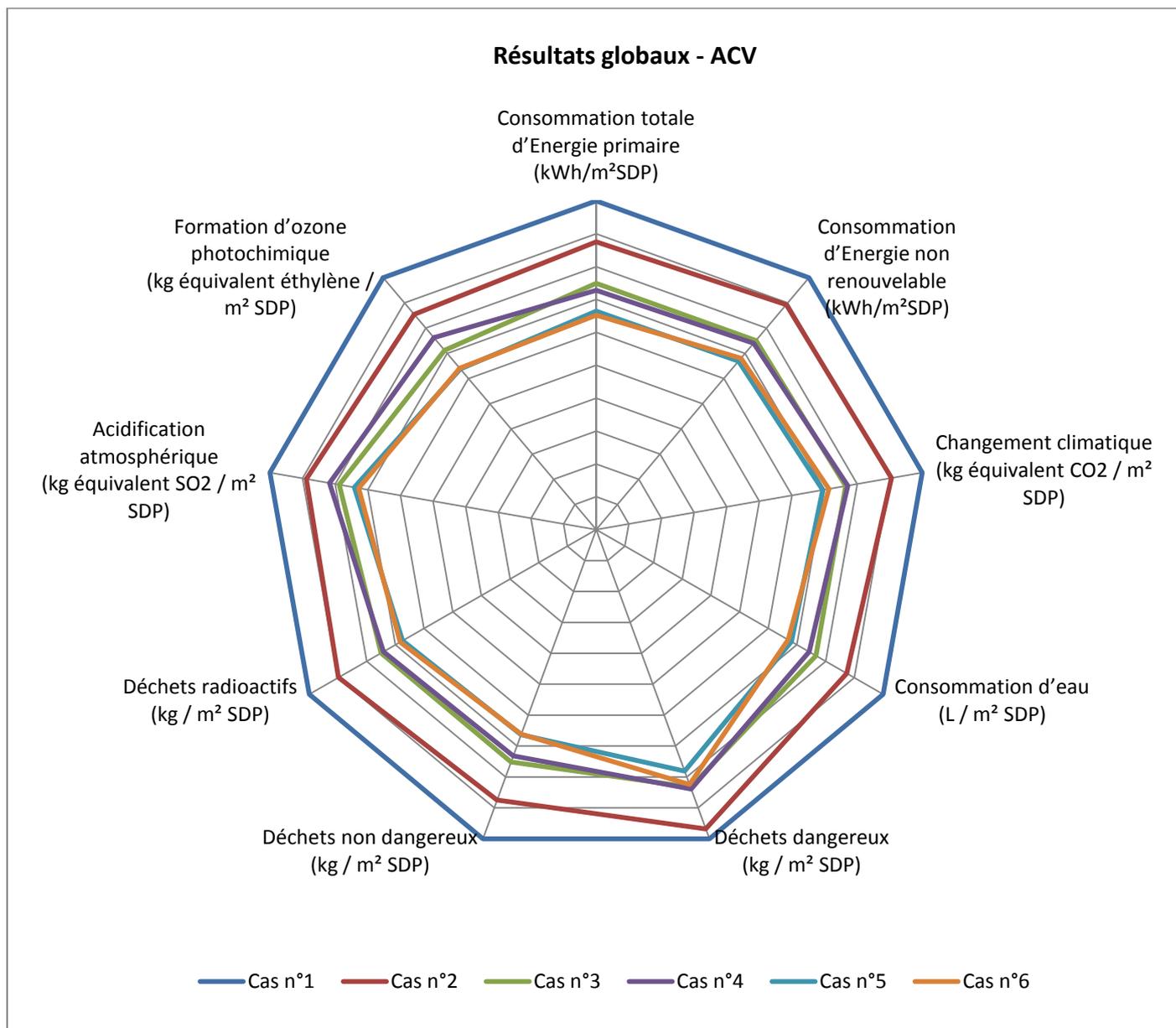
Ces résultats sont destinés à comparer les émissions de CO2 en fonction de la compacité d'un bâtiment à niveau d'isolation identique, ils ne présagent pas du respect du Bilanmax et/ou de la RT2012 pour chacun des cas. En pratique, les cas les moins compacts auront besoin d'une enveloppe plus performante que les cas les plus compacts. Ainsi, pour un même niveau de performance énergétique, la sensibilité de l'impact CO2 en fonction de la compacité serait un peu plus accentuée.

### 4.2.1 Résultats globaux

Les résultats globaux de l'étude selon l'ensemble des indicateurs environnementaux sont détaillés dans le tableau ci-dessous :

	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3	Cas n°4	Cas n°5	Cas n°6	% de réduction cas 6 / cas 1
Consommation totale d'Énergie primaire (kWh/m <sup>2</sup> SDP)	2622,7	2239,1	1920,6	1844,2	1670,4	1627,0	38,0%
Consommation d'Énergie non renouvelable (kWh/m <sup>2</sup> SDP)	3197,2	2793,9	2356,8	2298,8	2067,1	2085,7	34,8%
Changement climatique (kg équivalent CO2 / m <sup>2</sup> SDP)	719,9	630,1	532,0	527,7	470,3	477,5	33,7%
Consommation d'eau (L / m <sup>2</sup> SDP)	3817,3	3244,5	2850,4	2729,8	2480,9	2418,8	36,6%
Déchets dangereux (kg / m <sup>2</sup> SDP)	83,4	80,9	70,5	71,0	66,4	69,8	16,3%
Déchets non dangereux (kg / m <sup>2</sup> SDP)	1207,2	1001,0	858,0	815,5	725,2	709,7	41,2%
Déchets radioactifs (kg / m <sup>2</sup> SDP)	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	36,7%
Acidification atmosphérique (kg équivalent SO2 / m <sup>2</sup> SDP)	2,6	2,2	1,9	2,0	1,7	1,7	33,8%
Formation d'ozone photochimique (kg équivalent éthylène / m <sup>2</sup> SDP)	0,4	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	38,8%

Ils sont illustrés dans le graphique ci-dessous en base 1 pour le cas n°1 correspondant au cas d'étude le moins compact. Ainsi, pour un cas donné, plus le point se situe à l'intérieur de l'image, plus l'impact de l'indicateur considéré est faible par rapport au même indicateur du cas n°1. En d'autres termes, plus le point est central, plus le gain est important par rapport au cas n°1 pour l'indicateur environnemental donné :



Tous les indicateurs varient de façon importante et montrent que globalement, l'impact environnemental est diminué d'environ 1/3 entre le cas n°1 (cas d'étude le moins compact) et le cas n°6 (cas d'étude le plus compact). Ainsi, augmenter la compacité d'un projet permet de réduire l'impact environnemental ACV de celui-ci, et ce de manière significative.

Plus précisément, on remarque que :

- La variation la plus faible est une diminution de 16,3 % des déchets dangereux,
- La variation la plus forte est une diminution de 38,8 % de la formation d'ozone photochimique.

En ce qui concerne l'impact sur les émissions de gaz à effet de serre, on note une diminution de 33,7 % du critère « changement climatique ».

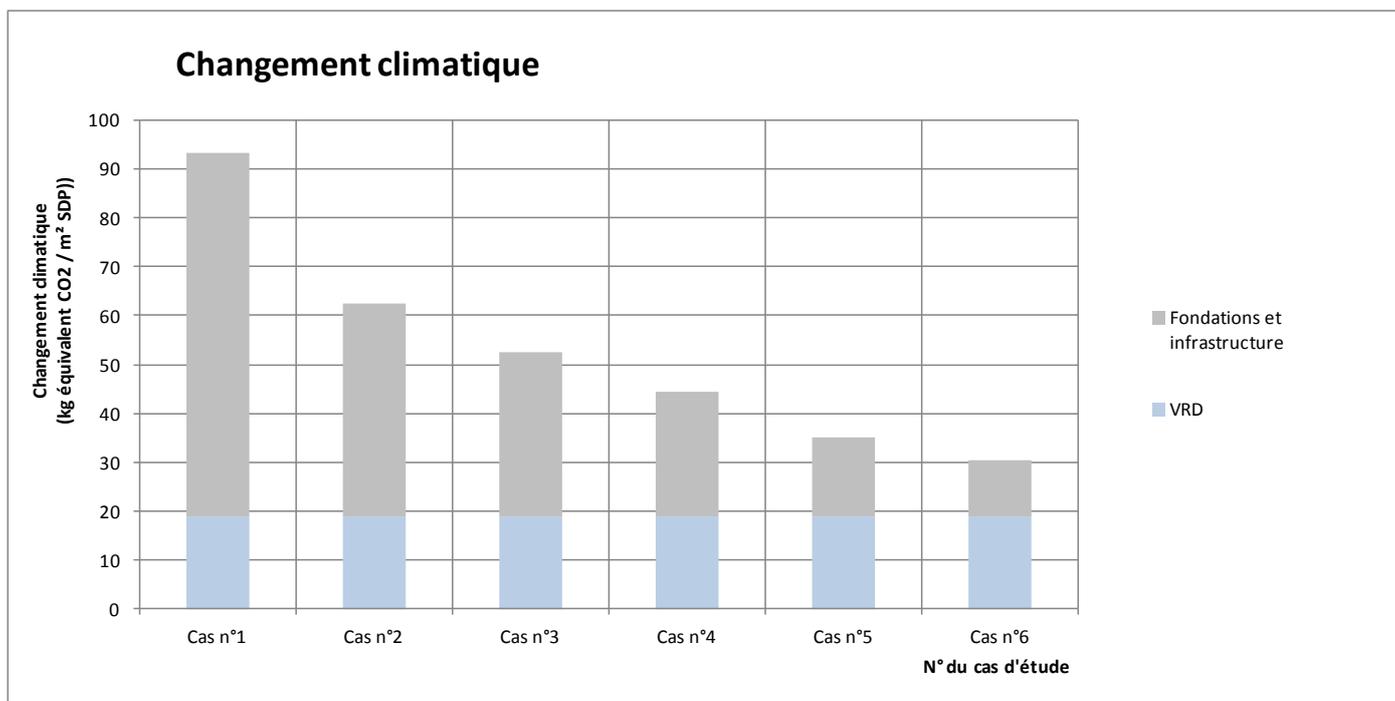
## 4.2.2 Détail des résultats par lot

Nous nous intéressons dans cette partie au détail des résultats par lot pour l'ensemble des cas étudiés. Ceci afin de visualiser s'il y a des lots qui sont plus impactés par la compacité que d'autres.

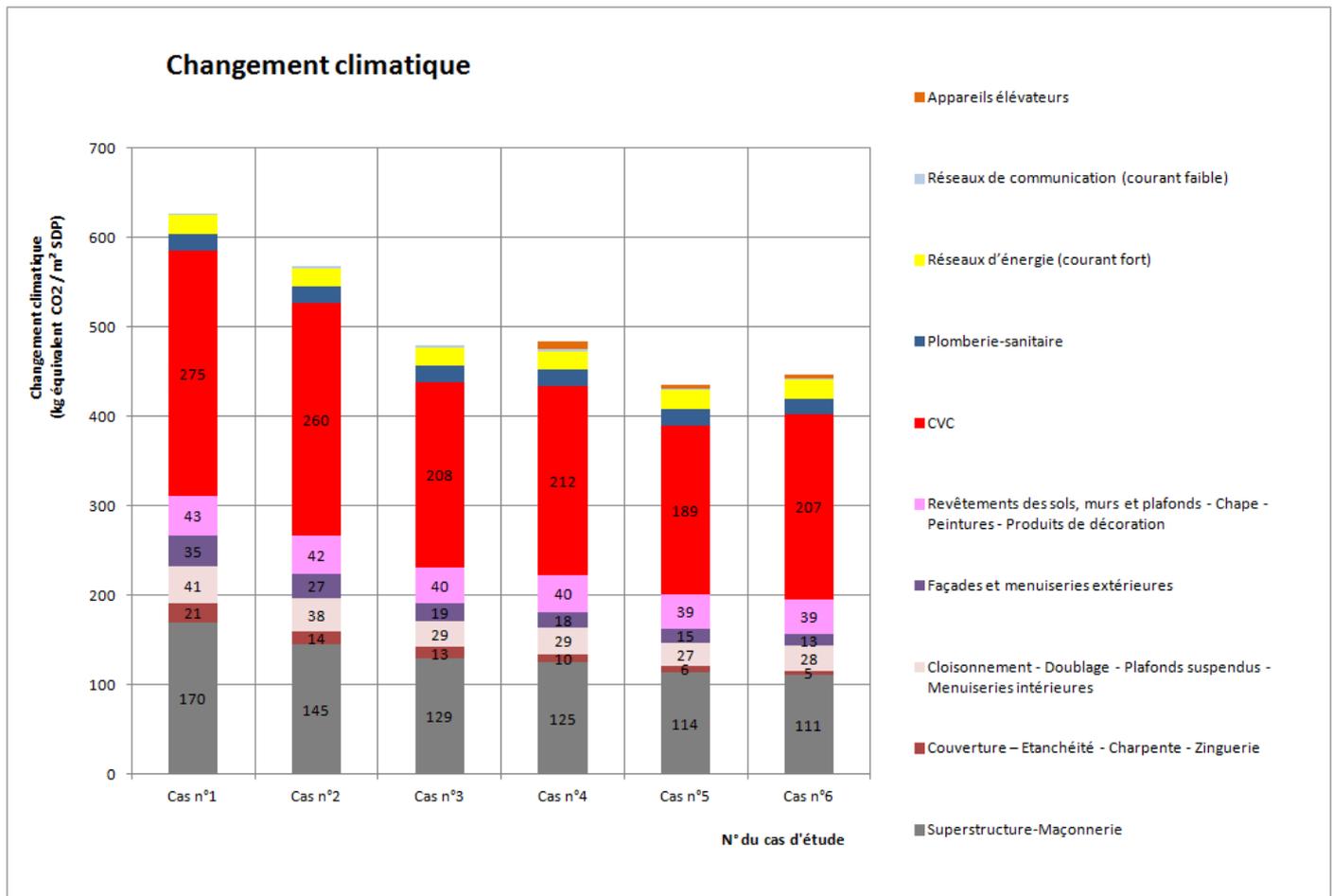
De façon à ne pas fausser l'interprétation des résultats de l'étude, nous avons extrait de cette comparaison l'impact des lots VRD et Fondations et infrastructure (lots 1 et 2), pour les raisons suivantes :

- En l'absence d'éléments sur la parcelle considérée dans le cadre de l'étude, le lot VRD a été saisi de manière simplifiée, c'est-à-dire qu'un ratio par m<sup>2</sup> de surface de plancher a été pris pour son impact environnemental. Par conséquent, l'impact du lot VRD est constant quelque soit le cas étudié. D'autre part, l'impact du lot VRD est de manière générale décorrélié de la compacité d'un bâtiment et dépend d'autres facteurs.
- L'impact du lot Fondations et infrastructure semble également faussé : il est en effet réduit de 85 % entre le cas n°6 et le cas n°1. Cela correspond au fait que la surface de parking par surface de plancher de logement diminue largement au fur et à mesure que le nombre de niveaux du bâtiment augmente. Ces résultats s'appuient sur une hypothèse simplifiée d'un niveau de parking par bâtiment de même emprise au sol que les niveaux supérieurs du bâtiment, ne correspondant pas nécessairement à ce qui serait réalisé en pratique.

Pour information, voici l'impact cumulé de ces lots en équivalent CO<sub>2</sub> pour l'ensemble des cas étudiés :



#### 4.2.2.1 Résultats détaillés – changement climatique



Certains lots sont relativement constants quelque soit la compacité du bâtiment. C'est le cas par exemple du lot revêtements de sols, murs et plafonds et des lots 10 à 12 puisque ces derniers sont calculés en méthode simplifiée, c'est-à-dire avec un impact ne dépendant que de la surface de plancher du bâtiment.

Au contraire, l'impact CO2 des autres lots varie de façon parfois importante en fonction de la compacité du bâtiment, de 45% pour le lot CVC à 320% pour le lot couverture :

- Lot CVC : l'impact CO2 passe de 275 kg pour le cas 1 à 189 kg pour le cas 5 et remonte à 207 kg pour le dernier cas. Les différences observées proviennent uniquement du rapport entre le nombre de logements et la surface de plancher du bâtiment correspondant. En effet, il a été considéré :
  - 1 chaudière gaz individuelle par logement,
  - 1 radiateur pour 2 logements : en effet, l'unique fiche disponible sur les radiateurs à eau chaude est un radiateur d'une puissance unitaire de 5,5 kW,
  - 1 installation de VMC hygroréglable avec un débit moyenné à 40 m<sup>3</sup>/h par logement.

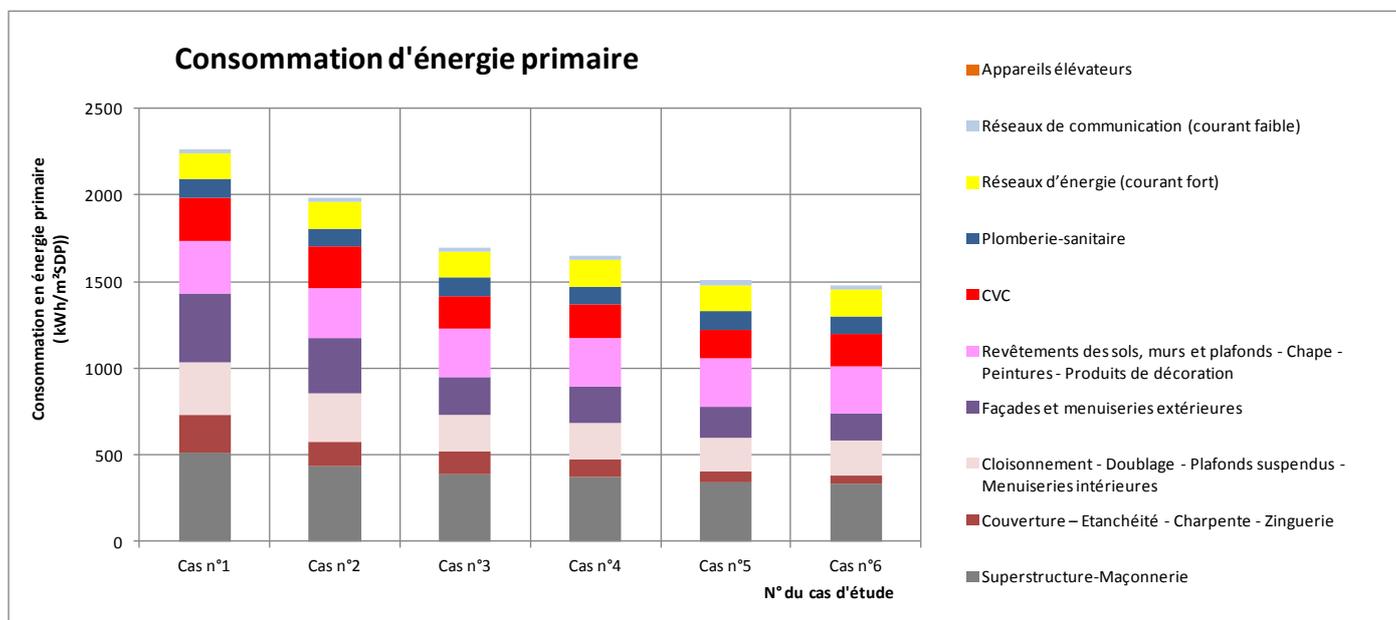
Ainsi, plus le rapport entre le nombre de logements et la surface de plancher est faible, moins l'impact CO2 de ce lot est important, ce qui explique les différences observées.

- Lot Superstructure : l'impact CO2 diminue de plus de 50% entre le 1<sup>er</sup> et le dernier cas, en lien direct avec la compacité du bâtiment et donc du rapport entre le volume de béton et la SDP du bâtiment.
- Lot Cloisonnement – Doublage : on note une diminution de plus de 50% entre le 1<sup>er</sup> cas et le cas n°5. A noter que le cas n°6 est très légèrement plus défavorable avec une valeur de 27,8 kg CO2 contre 26,6 pour le cas n°5.

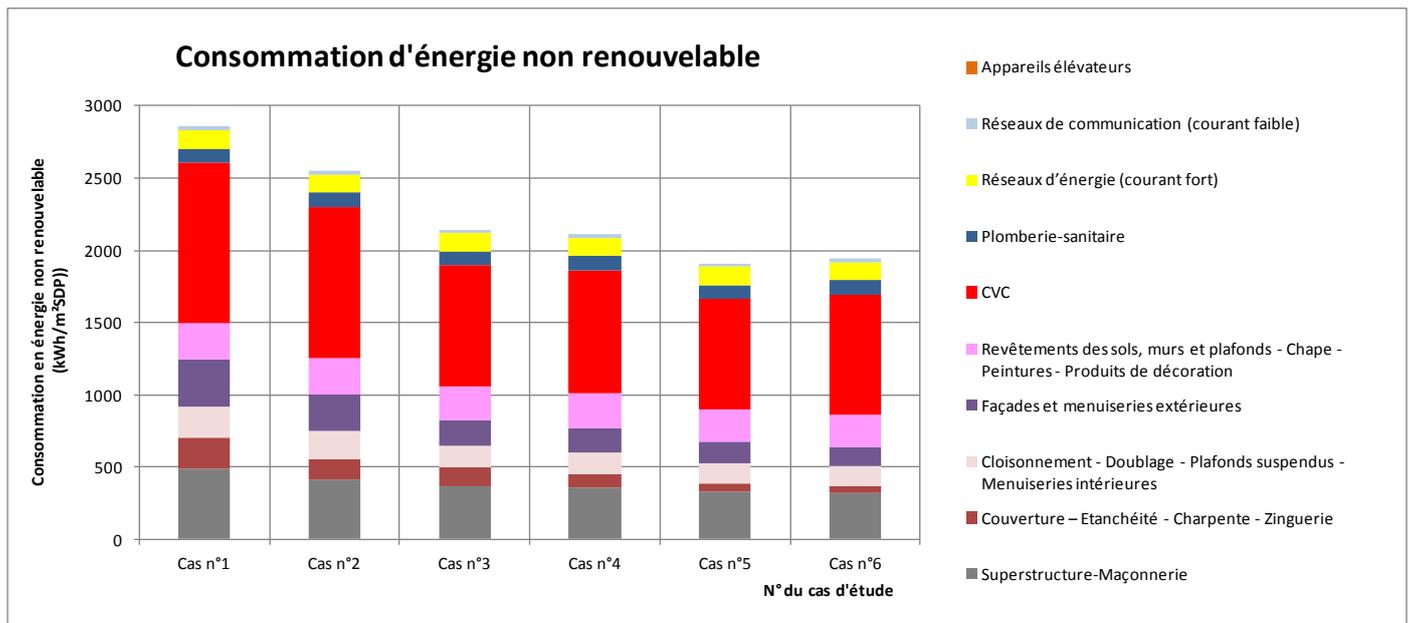
- Lot Façades et menuiseries extérieures : on observe une diminution de près de 170% entre le 1<sup>er</sup> et le dernier cas, du à une surface de façades décroissant avec la compacité.
- Lot Couverture – Etanchéité : l'impact CO2 diminue d'un facteur 4,5 entre le 1<sup>er</sup> et le dernier cas ; plus le nombre de niveaux du bâtiment augmente, moins le rapport entre la surface de toiture et la SDP est importante.

Pour information, la répartition des impacts environnementaux par lot est donnée dans les chapitres suivants :

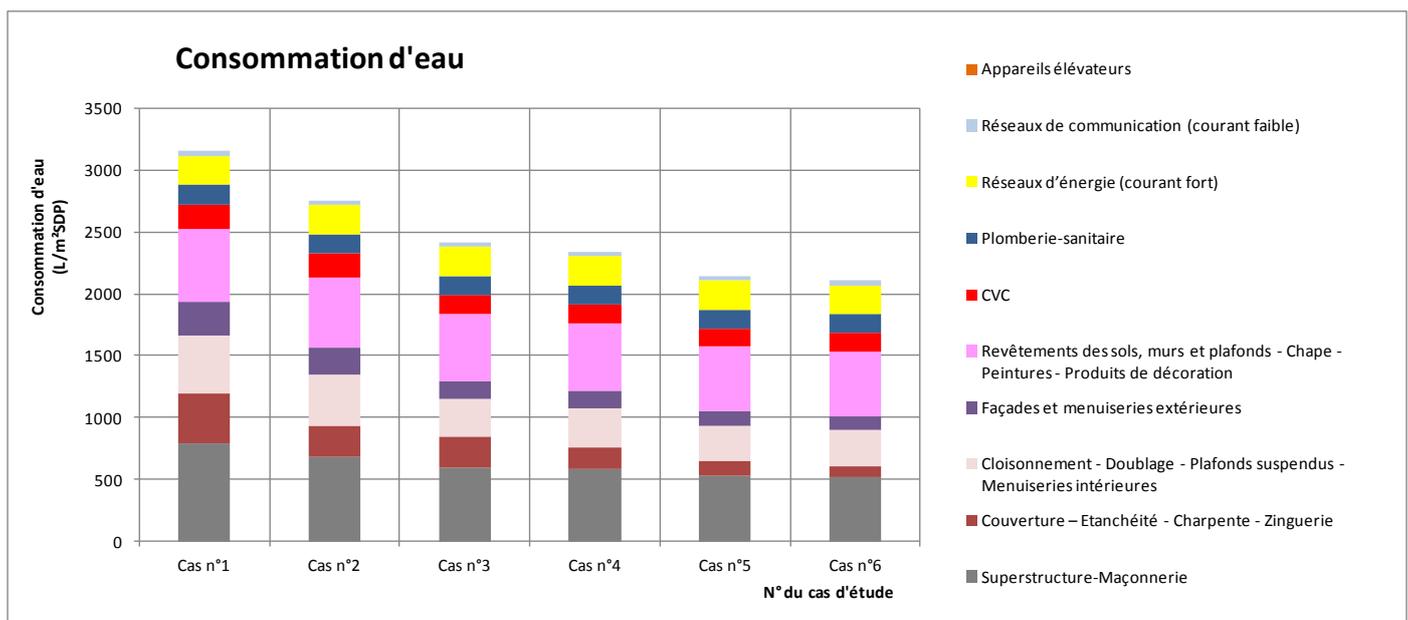
#### 4.2.2.2 Résultats détaillés – Consommation d'énergie primaire



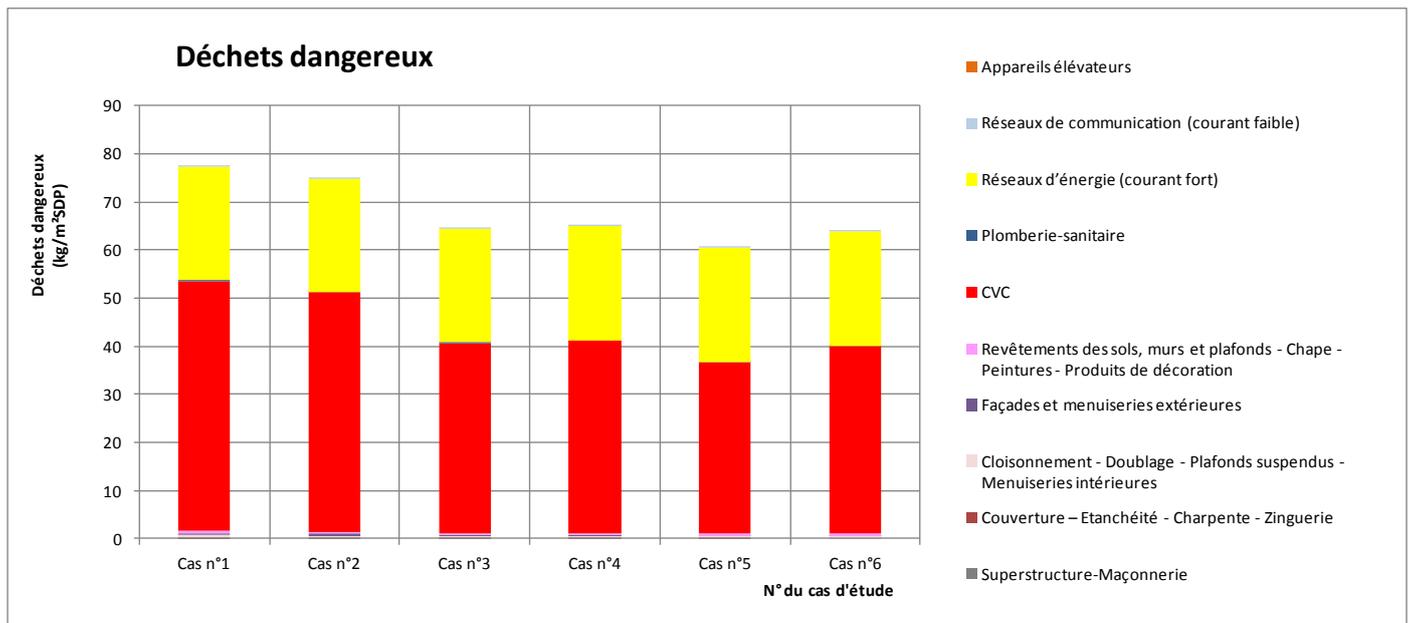
#### 4.2.2.3 Résultats détaillés – Consommation en énergie non renouvelable



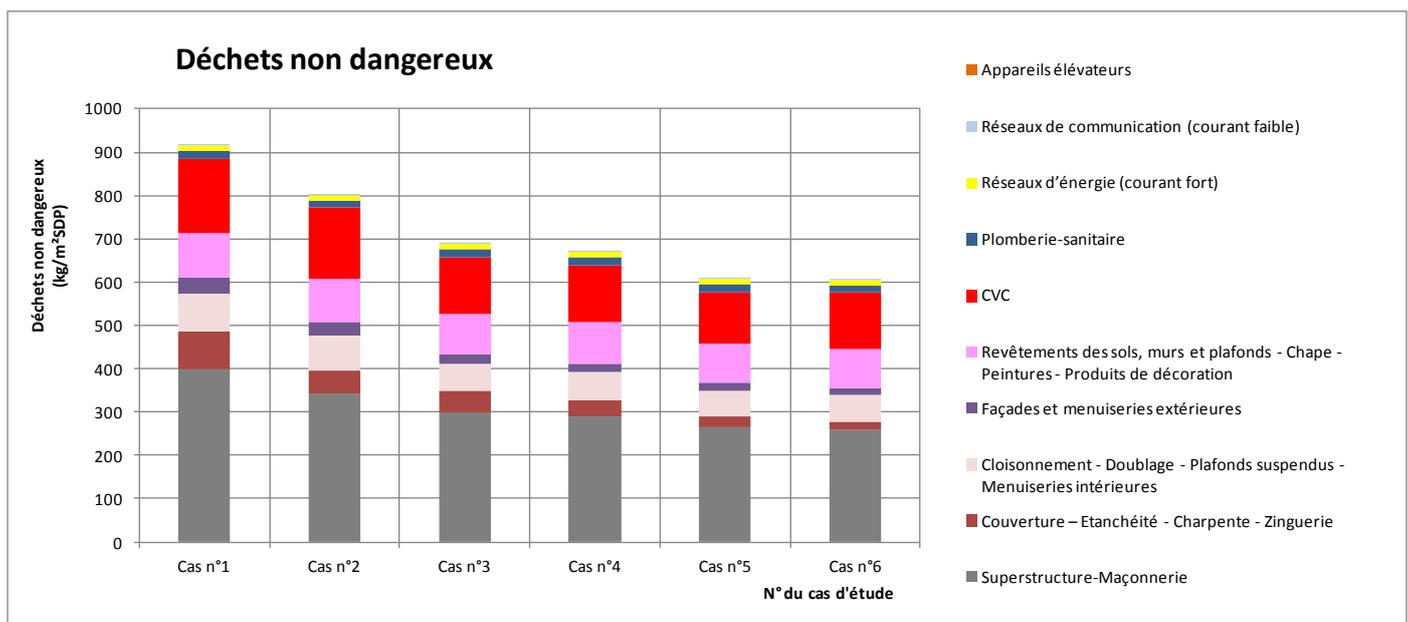
#### 4.2.2.4 Résultats détaillés – Consommation d'eau



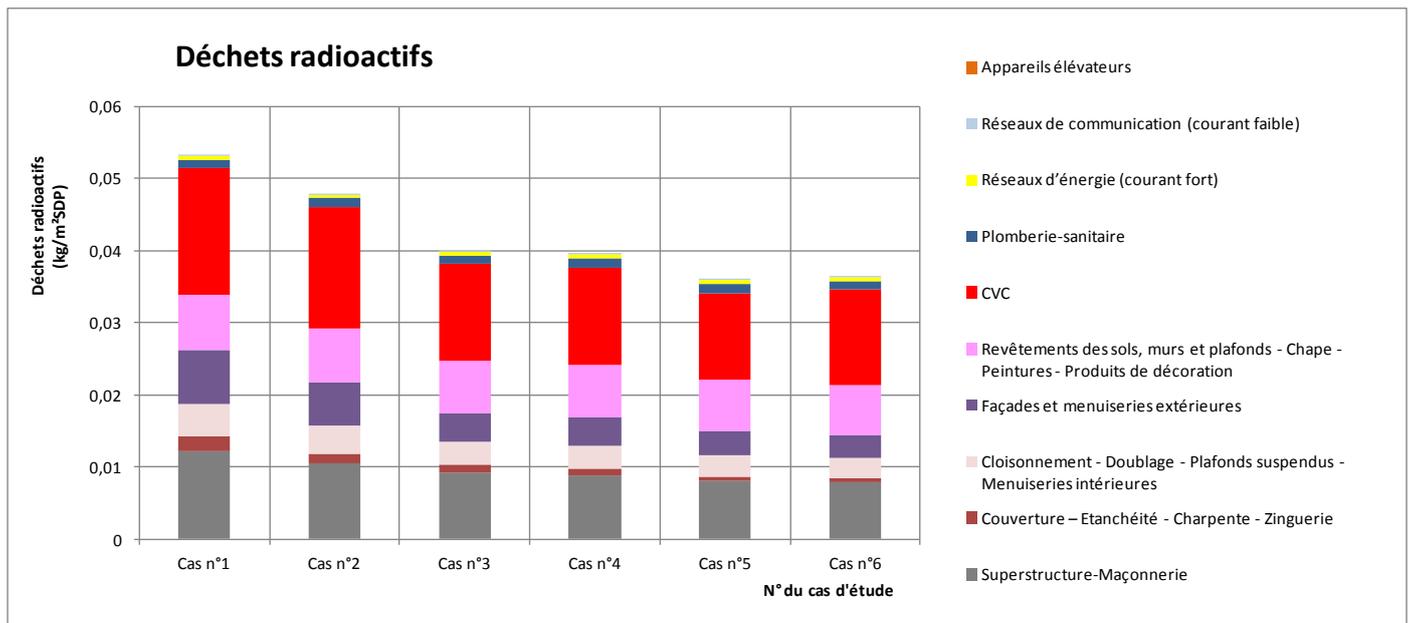
#### 4.2.2.5 Résultats détaillés – Déchets dangereux



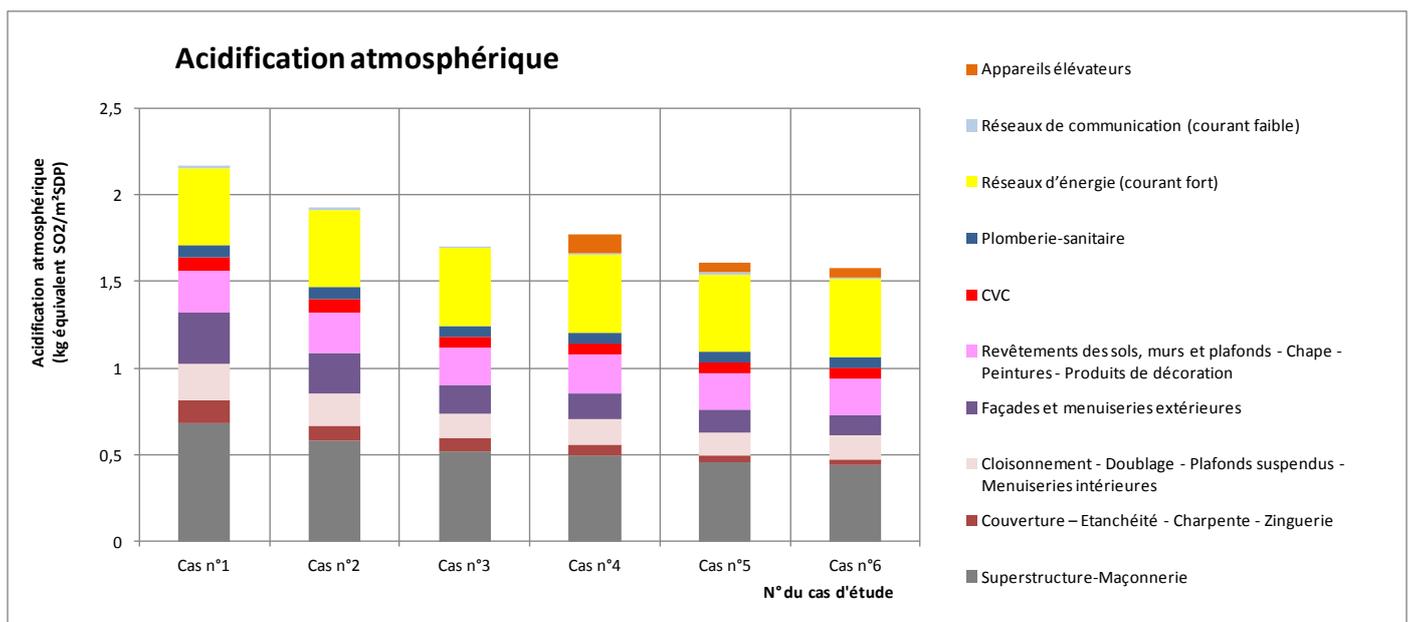
#### 4.2.2.6 Résultats détaillés – Déchets non dangereux



#### 4.2.2.7 Résultats détaillés – Déchets radioactifs



#### 4.2.2.8 Résultats détaillés – Acidification atmosphérique



#### 4.2.2.9 Résultats détaillés – Formation d’ozone photochimique

