



HAL
open science

Les différents leviers du Bbio et du Cep dans la réglementation thermique RT2012 appliqués aux logements collectifs et individuels

Alexis Berthon

► **To cite this version:**

Alexis Berthon. Les différents leviers du Bbio et du Cep dans la réglementation thermique RT2012 appliqués aux logements collectifs et individuels. Thermique [physics.class-ph]. 2016. dumas-01731394

HAL Id: dumas-01731394

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01731394>

Submitted on 14 Mar 2018

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.

Département Ingénierie de la Construction et Énergétique ICENER, équipe énergie
Case 2D3P20
292 rue Saint Martin, 75003 Paris

CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS
-PARIS-

MÉMOIRE

Présenté le 3 février 2016 en vue d'obtenir le

DIPLÔME D'INGÉNIEUR CNAM

Spécialité énergétique, parcours génie climatique et froid

Par

Alexis BERTHON

Les différents leviers du Bbio et du Cep dans la réglementation thermique
RT2012 appliqués aux logements collectifs et individuels

Jury

Président : M. Christophe MARVILLET

Membres : M. Elie TERZIBACHIAN
M. Salama MOTHANA
M. Samy OUESLATI
M. Yves ALBEROLA

JANVIER 2015 – NOVEMBRE 2015

REMERCIEMENTS

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire ainsi qu'au bon déroulement de celui-ci.

Pour commencer je remercie le conservatoire national des arts et métiers grâce auquel il est possible de retourner sur les bancs de l'école tout en pouvant poursuivre son parcours professionnel. Les formations en cours du soir permettent en quelque sorte de poursuivre l'œuvre de l'abbé Grégoire qui était : « d'éclairer l'ignorance qui ne connaît pas et la pauvreté qui n'a pas les moyens de connaître ».

Je suis reconnaissant envers toute l'équipe pédagogique du CNAM. Celle-ci a durant ces quatre dernières années dispensées des cours de qualité en effectuant régulièrement des parallèles avec les besoins du monde professionnel. Cela en fait une formation de qualité.

Enfin, je remercie bien évidemment le bureau d'études thermiques « ENERGIE EVOLUTION » dans lequel j'ai effectué ce mémoire d'ingénieur. En les personnes de M. Samy OUESLATI et de M. Yves ALBEROLA. Ils m'ont permis d'accéder aux ressources numériques de l'entreprise en dehors de mon temps de travail. Ils m'ont guidé et épaulé dans la réalisation de ce mémoire.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AT_{Bât hors plancher} : Cumul des surfaces déperditives hors plancher
Bbio : Besoin BIO climatique du bâtiment
Bbio_{max} : Besoin BIO climatique maximum toléré du bâtiment
Cep : Consommation règlementaire du bâtiment
Cep_{max} : Consommation règlementaire maximum tolérée du bâtiment
COP : Coefficient de Performance d'une machine thermodynamique à compression électrique
COS : Coefficient d'Occupation des Sols
DF : Double Flux
DWHR : Drain Water Heat Recovery – récupération de chaleur sur les eaux-grises
ECS : Eau Chaude Sanitaire
EnR : Energie Renouvelable
GUE : Coefficient de performance d'une machine thermodynamique gaz à compression thermique
HSP : Hauteur Sous Plafond
HVC : Hors Volume Chauffé
IDF : Île-De-France
ISC : Isolation Sous Chape
ISD : Isolation Sous Dalle
ITE : Isolation Thermique par l'Extérieur
ITI : Isolation Thermique par l'Intérieur
L8 : Ponts thermiques bas
Ψ9 : Coefficient de transmission thermique linéique moyen des liaisons entre les planchers intermédiaires et les murs donnant sur l'extérieur ou un local non chauffé
L10 : Ponts thermiques hauts
Lgts : Logements
LNC : Locaux Non Chauffés
LV : Laine de Verre
PAC : Pompe À Chaleur
PB ou PH : Plancher Bas ou Haut
PPC : Parpaing Creux
PUR : Polyuréthane
PV : Capteur PhotoVoltaïque
RATIO_Ψ : Ratio de transmission thermique linéique moyen global
RDC : Rez-De-Chaussée
Rft : Refend
RT/RT2012 : Règlementation Thermique / Règlementation Thermique 2012
Rupteur D/B ou D/F : Rupteur Dalle/Balcon ou Dalle/Façade
SHAB : Surface HABitable
S_{RT} : Surface de base pour le calcul de la Règlementation Thermique RT2012
U_p : Coefficient surfacique de déperdition en [W.m⁻².K⁻¹]
VB : Voile de Béton
VH : Ventilation Haute

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS.....	3
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	4
TABLE DES MATIÈRES	5
INTRODUCTION	9
I. ÉTUDE DU COEFFICIENT BBIO	11
A. Aspect théorique.....	11
1. Surfaciques et linéiques.....	11
2. Création d'un feuillet représentatif du Bbio (hors ventilation et éclairage) d'un bâtiment ..	14
3. Notion de compacité.....	17
a. Introduction des indicateurs $U_{\text{Bât}}$ et U_{RT}	17
b. Définition et calculs de la compacité sur des volumes simples.....	19
c. Etude d'un cas concret, le bâtiment présent sur l'annexe A2.....	29
B. Étude des principales solutions constructives	31
1. Logements collectifs	31
a. Préambule.....	31
b. Comparatif des solutions structurelles point de vue linéique	32
c. Détermination des performances limites des principes constructifs. Aller vers le bâti max.....	38
2. Maisons individuelles.....	50
a. Préambule.....	50
b. Comparatif des solutions structurelles point de vue linéique	51
c. Détermination des performances limites des principes constructifs. Aller vers le bâti max.....	57
II. ÉTUDE DU COEFFICIENT CEP	63
A. Application sur un bâtiment collectif d'habitation.....	63
1. Chaudières collectives gaz à condensation	64
2. Chaudières collectives gaz à condensation + ECS solaire thermique.....	65
3. Chaudières collectives gaz à condensation + PAC gaz à absorption en appoint chauffage..	66
4. Chaudières collectives gaz à condensation + PAC gaz à absorption en appoint chauffage + ECS solaire thermique	68
5. Chaudières collectives gaz à condensation + PAC électrique en appoint ECS	69
6. Chaudières individuelles gaz à condensation.....	71
7. Chaudières individuelles gaz à micro-cogénération.....	73

8.	Chauffage assuré par des chaudières individuelles gaz à condensation et ECS thermodynamique individuelle sur l'air repris	74
9.	Chauffage par effet Joule et ECS individuelle thermodynamique sur l'air repris	76
10.	Chauffage par effet Joule et ECS collective thermodynamique à appoint électrique	77
11.	Chauffage par effet Joule et ECS collective thermodynamique à appoint gaz	78
12.	Chaudières collectives bois	79
13.	Chaudières collectives bois + ECS solaire thermique	80
14.	Réseau de chaleur	80
15.	Réseau de chaleur + ECS solaire thermique.....	82
16.	Géothermie	83
17.	Photovoltaïque	84
18.	Conclusions sur les collectifs	85
B.	Application sur un bâtiment de maison individuelle.....	92
1.	Chaudière individuelle gaz à condensation + Photovoltaïque PV	93
2.	Chaudière individuelle gaz à micro-cogénération.....	95
3.	Chaudière individuelle gaz à condensation + ECS solaire thermique	96
4.	Chaudière individuelle gaz à condensation + ECS thermodynamique sur l'air extérieur à appoint électrique	96
5.	Chaudière individuelle gaz à condensation + ECS thermodynamique sur l'air extérieur à appoint gaz.....	97
6.	Chaudière individuelle gaz à condensation + ECS thermodynamique sur l'air repris à appoint électrique	98
7.	PAC électrique pour le chauffage + appoint chauffage et ECS via une chaudière gaz à condensation	98
8.	Chaudière bois à condensation.....	99
9.	Chaudière bois à condensation + ECS solaire thermique	100
	Cette solution est très performante puisqu'elle permet d'obtenir pour un niveau de Bbio tout juste réglementaire un gain sur le Cep max de l'ordre de 30%.	100
10.	PAC électrique assurant à la fois l'ECS et le chauffage.....	101
11.	Géothermie	102
12.	Chauffage par effet Joule et ECS thermodynamique sur l'air extérieur à appoint électrique	103
13.	Chauffage via un poêle à bois / Effet Joule et ECS thermodynamique sur l'air extérieur à appoint électrique	104
14.	Conclusions sur les maisons	105

III.	CONCLUSION.....	109
IV.	ANNEXES.....	111
V.	BIBLIOGRAPHIE.....	134

INTRODUCTION

Depuis le 1^{er} janvier 2013, la réglementation thermique 2012, RT2012, est entrée en vigueur pour tous les bâtiments neufs. Elle a une ambition, limiter la consommation d'énergie primaire des bâtiments neufs à un maximum de 50 [kWh_{EP}.m⁻².an⁻¹] en moyenne. Ce niveau de consommation étant relativement faible, elle a, pour favoriser sa conformité, intégré un ensemble de garde-fous. Si ces derniers sont respectés, ils permettent d'atteindre plus facilement les objectifs fixés. Ils donnent ainsi la marche à suivre pour atteindre le niveau de consommation maximum réglementaire toléré Cep_{max}.

La RT2012 fixe trois garde-fous [1] :

1. Un ratio de transmission thermique linéique moyen global, dit RATIO_Ψ des ponts thermiques du bâtiment. Celui-ci ne doit pas excéder 0.28 [W.m⁻²_{SRT}.K⁻¹]. Ce ratio correspond à la somme des coefficients de transmission thermique linéiques multipliés par leurs longueurs respectives, et ce pour l'intégralité des ponts thermiques linéaires du bâtiment. Cela limite le niveau moyen des ponts thermiques du bâtiment.
2. Un niveau maximum du coefficient de transmission thermique linéique moyen des liaisons entre les planchers intermédiaires et les murs donnants sur l'extérieur ou un local non chauffé, dit Ψ9, a une valeur de 0.60 [W.m⁻¹.K⁻¹]. Cela limite le niveau moyen des ponts thermiques intermédiaires du bâtiment.
3. Pour les bâtiments de logement, la surface totale des baies, mesurée en tableau, doit être supérieure ou égale à 1/6^{ème} de la surface habitable. Cela limite un minima de surface de menuiseries afin de favoriser les apports solaires gratuits.

Enfin, au-delà de ces garde-fous, le besoin bioclimatique Bbio apparaît et doit être comme le Cep, inférieur à une valeur maximale Bbio_{max}.

Ces règles sont sur le principe assez simple, cependant, leurs applications engendrent de profonds bouleversements dans les principes constructifs des habitations neuves et, peuvent facilement surenchérir les coûts de construction, si les architectes ne sont pas judicieusement conseillés pendant la phase esquisse.

Ainsi, l'objectif de ce mémoire est d'étudier toutes les ficelles qui pourraient permettre d'atteindre plus facilement les objectifs réglementaires en termes de Bbio et de Cep, en respectant les trois garde-fous évoqués. L'idée est aussi de rendre plus compréhensible la RT2012 avec des indicateurs et de proposer des solutions bâtis et des équipements permettant d'atteindre les objectifs.

L'étude sera effectuée sur un échantillon de cinq bâtiments collectifs d'habitation et de cinq maisons individuelles représentant assez fidèlement les nouveaux bâtiments construits en Île-De-France, IDF. La zone géographique où ces bâtiments seront étudiés sera également l>IDF.

Pour ce faire, le rapport sera découpé en deux parties, l'optimisation du coefficient Bbio puis celle du Cep.

I. ÉTUDE DU COEFFICIENT BBIO

A. Aspect théorique

1. Surfamiques et linéiques

Bien que le Bbio soit défini en point, il correspond en réalité aux besoins d'énergie d'éclairage, de ventilation, de chauffage et de refroidissement d'un bâtiment en $[\text{kWh.m}^{-2}.\text{S}_{\text{RT}}]$. Une conversion d'échelle permet de grossir cette valeur tout en gardant ses proportions. L'intérêt est d'avoir des valeurs de Bbio ayant la même échelle que celles du Cep.

Le Bbio correspond à la somme des besoins définis ci-dessus divisée par la surface de référence en thermique règlementaire S_{RT} , RT pour Règlementation Thermique. Ainsi, un doublement de cette surface pour un même besoin en $[\text{kWh.m}^{-2}.\text{S}_{\text{RT}}]$ diminue le besoin Bbio par deux, de même, aucun Bbio n'est calculable pour une S_{RT} nulle.

Un des points négatifs de la RT2012 est son temps de calcul. En effet, en phase d'optimisation, beaucoup de temps est perdu à cause du délai de calcul.

Aussi, il serait intéressant de pouvoir comparer diverses améliorations d'un bâtiment et de pouvoir les classer par ordre d'efficacité. Cela permettrait de savoir quelles améliorations apportent le plus de points pour une situation donnée. Le souci est que chaque bâtiment dispose de proportions différentes de parois verticales/horizontales, de type de ponts thermiques, de S_{RT} et également d' $AT_{\text{bât hors plancher}}$ différents. L' $AT_{\text{bât hors plancher}}$ est la surface de référence pour le calcul de la perméabilité à l'air (infiltration d'air extérieur vers l'intérieur), il est défini par mètre carré de surface déperditive sans compter les planchers (parois verticales et horizontales hautes). De plus, un simple bilan de déperdition ne peut à lui seul définir un gain de Bbio car, dans ce dernier, sont intégrés les apports thermiques liés aux apports de chaleur, de lumière ainsi que les données météorologiques et le taux de renouvellement d'air hygiénique (ventilation).

Ainsi, un gain de Bbio pour une amélioration donnée n'est en aucun cas un bon indicateur de l'efficacité d'une mesure (amélioration d'un élément). En effet, une même amélioration n'entraînera pas le même gain sur un bâtiment ayant une géométrie ou un nombre de logements différents.

En réalité pour pouvoir comparer des améliorations entre elles, il faut remonter dans l'arborescence du calcul du Bbio.

Une variation de Bbio pour une amélioration donnée est définie par sa surface ou longueur, par sa variation de performance unitaire ainsi que par la S_{RT} .

Exemple 1 :

Une amélioration du coefficient de déperdition surfamique, U_p , d'un mur de $0.35 [\text{W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}]$ entraîne un gain de 11.9 points de Bbio, pour une surface de mur de $359.27 [\text{m}^2]$ et pour une $S_{\text{RT}} = 1043.40 [\text{m}^2]$.

Ainsi, la caractéristique de cette amélioration est de :

$$\beta_{\text{murs}} = \frac{\Delta Bbio_{\text{parois}} * S_{\text{RT}}}{S_{\text{référence}} * \Delta U_p}$$

Avec :

β_{murs} [Points de Bbio * m². K. W⁻¹]

S_{RT} [m²]

$\Delta Bbio_{\text{parois}}$ [Points]

ΔU_p [W.m⁻².K⁻¹]

$$\beta_{\text{murs}} = \frac{11.90 * 1043.40}{359.27 * 0.35} \text{ Soit } \beta_{\text{murs}} = 98.74$$

Cette caractéristique peut ainsi être réutilisée pour des bâtiments différents pour en déterminer une estimation du gain de Bbio pour une variation du coefficient U_p . De plus, ce coefficient unitaire peut permettre de classer les améliorations entre elles. L'idée serait de savoir quels leviers sont les plus intéressants à traiter puisque pour chaque élément, il y a une part de déperdition et d'apport.

En revanche, pour les parois hors planchers, une seule prise de mesure ne suffit pas à définir une caractéristique β_{murs} car l'infiltration à l'air est calculée en fonction de la surface de parois hors planchers $AT_{\text{bât hors plancher}}$. Ainsi, un bâtiment ayant une plus ou moins forte proportion de parois par rapport à la valeur qui aura servi d'étalon, aura un gain biaisé qui sera sur ou sous-évalué suivant les cas.

L'idée pour éviter ce problème est de prendre une deuxième mesure pour une plus grande surface de mur. Grâce à la prise de deux mesures il sera possible d'effectuer des interpolations.

L'objectif n'est pas d'avoir un gain précis de Bbio mais un gain relativement fidèle pour permettre avec un simple tableur EXCEL d'estimer un gain de Bbio beaucoup plus rapidement qu'avec le lancement d'un calcul RT2012.

Exemple 2 :

Une amélioration du coefficient U_p d'un mur de 0.35 [W.m⁻².K⁻¹] entraîne un gain de 38.6 points de Bbio, pour une surface de mur de 1043.4 [m²] et pour une $S_{\text{RT}} = 1043.40$ [m²].

$$\beta_{\text{murs}} = \frac{38.60 * 1043.40}{1043.40 * 0.35} \text{ Soit } \beta_{\text{murs}} = 110.28$$

Avec deux points, on peut trouver les inconnues de la fonction affine ratio = a*(β) + b

Ratio de parois ($S_{\text{parois}}/S_{\text{RT}}$) propre au projet dans l'exemple 1 : 359.27/1043.40=0.344

Ratio de parois ($S_{\text{parois}}/S_{\text{RT}}$) propre au projet dans l'exemple 2 : 1043.40/1043.40=1

(1) : 1 = a * 110.28 + b avec l'exemple 2

(2) : 0.344 = a * 98.74 + b avec l'exemple 1

$$(1) \Rightarrow (2) : 0.344 = a(98.74 - 110.28) + 1$$

$$a = 0.0568$$

$$a \Rightarrow (1) \text{ donne } b = -5.26$$

$$\text{Soit : } \text{ratio} = f(\beta) = 0.0568 * \text{ratio} - 5.26 \quad \text{ou} \quad \beta = f(\text{ratio}) = 17.60 * \beta + 92.60$$

Cela permet d'avoir notre caractéristique β pour une valeur de ratio ainsi que la valeur $\Delta Bbio_{\text{parois}}$ grâce à :

$$\Delta Bbio_{\text{parois}} = \frac{\beta_{\text{parois}} * S_{RT}}{S_{\text{référence}}}$$

Par extension, cette formule s'applique aux ponts thermiques et à la perméabilité à l'air :

$$\Delta Bbio_{\text{linéique}} = \frac{\gamma_{\text{linéique}} * S_{RT}}{\Psi_{\text{référence}}}$$

$$\Delta Bbio_{\text{perméabilité}} = \frac{X_{\text{perméabilité}} * S_{RT}}{AT_{\text{bât hors plancher}}}$$

Pour déterminer le ratio vitrage, on sait que la surface vitrée minimale est égale à 1/6^{ème} de la surface habitable SHAB, soit environ 0.17 de la SHAB, et le rapport classique SHAB/S_{RT} est d'environ 1.20. Ainsi le ratio vitrage est égal à 0.17/1.2=0.14

Pour les planchers et plafonds, la même méthode que pour les murs a été employée.

Comme le coefficient Bbio est précis à 0.1 point près, il a été calculé les valeurs de β extrêmes basses et hautes. Une valeur moyenne est calculée. C'est cette valeur qui servira pour une future estimation d'un gain de Bbio d'une amélioration.

Tableau 1 : valeurs des différentes caractéristiques ratios et β pour les différents surfaciques.

	Ratios	Caractéristiques β mini	Caractéristiques β moyenne	Caractéristiques β maxi
Up murs	0.35	98.7	100.0	101.3
Uw menuiseries	0.14	96.1	99.6	103.1
Up plancher	0.30	104.7	106.9	109.0
Up plafond	0.30	112.3	124.6	126.8

Tableau 2 : valeurs des différentes caractéristiques ratios et β pour les linéiques.

	Caractéristiques γ mini	Caractéristiques γ moyenne	Caractéristiques γ maxi
Psi bas	108.0	112.8	117.6
Psi inter	111.8	113.7	115.6
Psi haut	106.2	110.6	114.9
Refend Rft Comble	115.2	121.8	128.3

Tableau 3 : valeurs des différents β pour la perméabilité à l'air.

	Caractéristique X mini	Caractéristique X moyenne	Caractéristique X maxi
Perméabilité par tranche de 0.1	7.9	8.2	8.6

Remarques : Les caractéristiques des améliorations surfaciques et linéiques sont de valeur assez proche. Cependant, les menuiseries affichent des valeurs un peu plus faibles.

Améliorer un coefficient U_p de 0.1 [$W.m^{-2}.K^{-1}$] sur 1 [m^2] engendrera approximativement le même gain qu'un mètre de pont thermique sur 1 [m] linéaire avec une amélioration du linéique de 0.1 [$W.m^{-1}.K^{-1}$].

On peut donc dire que seuls les apports solaires et les arrondis engendrent des valeurs différentes, mais que globalement, il n'y a pas de solution qui sorte significativement du lot, hormis peut-être les plafonds. Pour le cas des menuiseries, la faible valeur de sa caractéristique au regard des autres provient probablement du fait que pour ce type de parois, les apports sont cruciaux dans la balance gains/apport. Les apports solaires doivent ainsi compenser les variations d' U_w . Cependant, il est aussi à noter qu'en règle générale, une amélioration du coefficient surfacique U_w engendre généralement une baisse des apports solaires puisqu'on ajoute un verre (ex : triple vitrage) et/ou on épaissit la lame d'air, ce qui a pour conséquence d'opacifier la partie vitrée, et de diminuer les apports solaires.

Pour déterminer l'efficacité d'une amélioration, seuls les produits des surfaces et/ou des longueurs avec les gains respectifs possibles des surfaciques et/ou des linéiques comptent réellement.

C'est donc uniquement grâce à une analyse géométrique d'un bâtiment, analyse associée aux améliorations possibles des divers surfaciques et linéiques, qu'il est possible de déterminer quelles améliorations entraîneront le plus grand gain. Cette analyse géométrique est étudiée au § I.A.3.

Même si aucune prestation ne devance réellement une autre, ce travail n'a pas été vain car il permet aujourd'hui d'estimer le gain de Bbio de l'évolution d'une prestation bâti très rapidement. Des vérifications ont été faites et, il se trouve que les résultats sont très proches de la réalité. Afin de pouvoir se servir de ce nouvel outil et de cibler au mieux les points forts et faibles d'un bâtiment, il est utile d'extraire un certain nombre d'éléments qui sont détaillés ci-dessous.

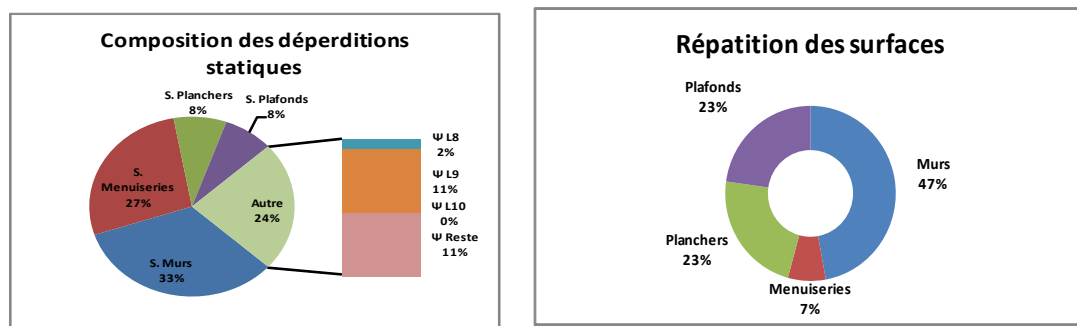
2. Création d'un feuillet représentatif du Bbio (hors ventilation et éclairage) d'un bâtiment

Comme il a été vu au paragraphe précédent, il n'existe pas d'amélioration du bâti qui apporte sensiblement plus de point de Bbio qu'une autre. Ainsi ce ne sont que par des analyses géométriques et en comparant les proportions de déperdition qu'il peut être possible de trouver des leviers d'économies d'énergie. Pour ce faire, il est important, lorsque l'on étudie un bâtiment, d'avoir une feuille récapitulative décomposant la géométrie ainsi que les déperditions d'un bâtiment comme celle présentée ci-dessous. Ce genre de données est également exportable depuis les logiciels de calcul.

Tableau 4 : Extraction type des données géométriques et déperditives d'un bâtiment.

Parois	Surfaces [m ²]	[%] de l'AT Bât	Déperditions [W/K]	[%] de déperd.	
Murs	287,62	47,09%	74,16	33,25%	
Menuiseries	44,14	7,23%	60,66	27,19%	
Planchers	139,61	22,86%	18,57	8,32%	
Plafonds	139,41	22,82%	17,57	7,88%	
AT Bât Σ surfaces	610,78	100,00%			
Ponts thermiques Ψ			L8	3,51	1,57%
			L9	24,88	11,15%
			L10	0,00	0,00%
			Autre	23,72	10,63%
			Σ Déperd.	223,07	100,00%
S_{RT} [m²]	327,55				
Shab [m²]	264,06				
Rapport S_{RT}/Shab	1,240				
U_{bât} [Σ Déperd./AT Bât]	0,365				
U_{RT} [Σ Déperd./S_{RT}]	0,681				
Compacité [AT Bât/S_{RT}]	1,865				

Dans le calcul du Bbio, les déperditions par renouvellement d'air sont figées en fonction de la typologie des logements et, il est pris forfaitairement une efficacité de 50%. Ainsi, que l'on soit en simple flux ou double flux, le Bbio ne variera pas. De plus, dans ce tableau ne figure pas l'éclairage car pour des logements, cette donnée ne représente qu'une infime partie du Bbio ainsi qu'une très faible variabilité.



Graphique 1 (Gauche) et 2 (Droite) : Respectivement, répartitions des déperditions statiques et répartition des surfaces du projet A1.

Ainsi, pour cet exemple, projet issu de l'annexe 1 (A1), il est possible de voir que les déperditions par les murs ainsi que par les menuiseries représentent à elles seules 60% du total des besoins.

Mais ces deux informations sont uniquement utiles s'il est possible d'améliorer ces deux éléments (parois et menuiseries). En effet, pour diverses raisons acoustiques/incendies/certifications/techniques (garder une surface habitable) ou tout simplement thermiques (le mur est déjà trop isolé) il est peut être impossible d'augmenter les prestations :

- Un vitrage qui aurait besoin d'un traitement acoustique important verra augmenter l'épaisseur du/des verres au détriment de la lame d'air ce qui peut ainsi engendrer de mauvais coefficients U_w .
- Incendie : pour respecter un certain degré coupe-feu pour des bâtiments de 3^{ème} famille par exemple, il est impossible d'intégrer un doublage de façade en polyuréthane $\lambda=0.022$ [W.m⁻¹.K⁻¹] en lieu et place d'un doublage en laine de verre $\lambda=0.034$ [W.m⁻¹.K⁻¹].

- Certification : Diverses certifications/ labels prohibent l'usage de certains isolants de plancher alors qu'il est techniquement et réglementairement faisable de les intégrer. Exemple : pour le label H&E, il est impossible d'intégrer une isolation sous chape en polyuréthane inférieure à 40mm.
- Technique : Il n'y a pas la réservation nécessaire pour intégrer un isolant sous dalle sur parking et/ou isoler les poutres sur leurs trois faces.
- Thermique : Il y a trop de surfaces déperditives verticales. Cela peut être par exemple lié par exemple à une hauteur sous dalle très importante, ce qui fait que même avec une très bonne isolation surfacique, les déperditions des parois verticales représenteront une très grande proportion. Mais, il peut y avoir une autre raison :

Tableau 5 : Calcul des coefficients U_p pour différentes épaisseurs d'isolant.

Composition	Ep [cm]	λ [W/cm.K]	Rth [m ² .K/W]
BA13	13	25	0,052
LV Th32	8	3,2	2,500
Voile de béton	16	230	0,070
		Rsi+Rse	0,170
		TOTAL	2,792
		U_p [W/m.K]	0,358

Composition	Ep [cm]	λ [W/cm.K]	Rth [m ² .K/W]
BA13	13	25	0,052
LV Th32	10	3,2	3,125
Voile de béton	16	230	0,070
		Rsi+Rse	0,170
		TOTAL	3,417
		U_p [W/m.K]	0,293
		Gain U_p en [W/m.K]	0,066

Composition	Ep [cm]	λ [W/cm.K]	Rth [m ² .K/W]
BA13	13	25	0,052
LV Th32	12	3,2	3,750
Voile de béton	16	230	0,070
		Rsi+Rse	0,170
		TOTAL	4,042
		U_p [W/m.K]	0,247
		Gain U_p en [W/m.K]	0,045

On peut voir dans le tableau 5 que le gain sur le coefficient U_p d'une augmentation de l'épaisseur de l'isolant de 2cm est plus faible au deuxième ajout d'épaisseur qu'au premier.

Pour avoir le même effet d'un passage d'un coefficient U_p de 0.358 à 0.293, soit un gain de 0.065 [W.m².K⁻¹], il faut ajouter au deuxième ajout une résistance thermique de 0.988 [m².K.W⁻¹] au lieu de 0,625 la première fois, soit 3.16 [cm] au lieu de 2 [cm], avec une conductivité thermique de 0.032 [W.m⁻¹.K⁻¹]. Ce phénomène est normal puisque le calcul du coefficient U_p utilise la fonction inverse.

$$U_p(Ep) = \frac{1}{\sum \frac{Ep}{\lambda}}$$

Comme la fonction inverse tend vers zéro, plus on ajoute de l'isolant (abscisse), plus le gain d' U_p (ordonnée) est faible. Par conséquent, à partir d'une certaine épaisseur, il n'est plus raisonnable d'augmenter l'isolant car le gain est trop faible.

Cependant, pour certains projets, d'excellentes prestations au niveau du bâti en tous points du bâtiment n'engendrent pas forcément d'excellents coefficients Bbio puisque pour ces cas, il y a bien souvent trop de surfaces déperditives.

3. Notion de compacité

a. Introduction des indicateurs $U_{Bât}$ et U_{RT}

En thermique règlementaire, les calculs sont effectués par mètre carré de S_{RT} . Ainsi à S_{RT} égales, un bâtiment qui aura des hauteurs sous dalles plus grandes qu'un autre aura une surface déperditrice plus importante et donc, des déperditions statiques plus importantes.

Ce paragraphe a pour but de comprendre la notion de compacité et a pour vocation à identifier les architectures peu efficaces du point de vue du calcul règlementaire. Des solutions seront proposées pour compenser des pertes de compacité.

De plus, pour faire la distinction entre le niveau d'isolation d'un bâtiment et son impact dans le calcul deux notions sont introduites :

- Le coefficient $U_{Bât}$ qui correspond au quotient de la somme des déperditions statiques sur la surface déperditrice créée, l' $AT_{Bât}$.

$$U_{Bât} [W/m^2.K] = \frac{\sum \text{Déperditions statiques} [W/K]}{AT_{Bât} [m^2]}$$

Ce paramètre indique donc le niveau moyen d'isolation/déperdition par unité de surface déperditrice.

Si l'on reprend l'exemple ci-dessus, pour compenser des déperditions verticales plus importantes qu'habituellement, liées par exemple, à une hauteur sous dalle importante, il faut concrètement augmenter le niveau d'isolation du bâti. Car si nous avons un très bon bâti et que le projet est tout juste règlementaire avec une hauteur sous dalle, hsd, de hsd=2.50 [m], à hsd=3.00 [m], le projet ne sera plus règlementaire. Il aura beau avoir un bon coefficient $U_{Bât}$, ce ne sera pas suffisant.

L' $U_{Bât}$ ne représentant pas correctement la conformité règlementaire, il est nécessaire de trouver un indicateur plus précis. Cet indicateur est le coefficient qui peut être appelé U_{RT} .

- Le coefficient U_{RT} qui correspond au quotient de la somme des déperditions statiques sur la S_{RT} .

$$U_{RT} [W/m^2.K] = \frac{\sum \text{Déperditions statiques} [W/K]}{S_{RT} [m^2]}$$

Ainsi, ce coefficient ne dépend plus directement de l'architecture du bâtiment, mais du niveau des déperditions statiques règlementaires.

Il sera montré dans le paragraphe § I.B.1 qu'afin d'être règlementaire au niveau du Bbio, le coefficient U_{RT} doit être voisin de 0.70 [W.m⁻².K⁻¹].

Pour deux bâtiments ayant le même U_{RT} , mais des $U_{Bât}$ différents, on est ainsi capable de dire lequel des deux dispose du niveau d'isolation le plus important, l' $U_{Bât}$ le plus grand, soit en d'autres mots, lequel dispose d'une isolation plus onéreuse.

La différence entre ces deux indicateurs correspond à la compacité.

b. Définition et calculs de la compacité sur des volumes simples

La définition de la compacité appliquée à la RT2012 serait le quotient de la surface déperditive $AT_{Bât}$ sur la surface thermique S_{RT} .

$$\tau = \frac{AT_{Bât}}{S_{RT}}$$

Ainsi, des calculs de compacité ont été effectués pour diverses géométries.

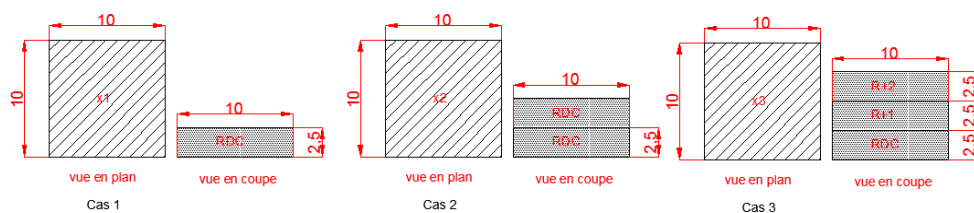
Pour l'ensemble des exemples évoqués, les « cas » correspondent aux nombres d'étages courants. Exemple, pour un cas 2, il y aura 2 étages courants. De plus, pour simplifier la démonstration, il n'a pas été décompté de trémies sur les plans de niveau (déductibles de la S_{RT}), les volumes sont considérés entièrement chauffés et l' $AT_{Bât}$ a été calculé au nu extérieur des murs alors qu'en réalité, elle est calculée au nu intérieur.

Pour des bâtiments ayant la même typologie (T1/T2/T3 etc...) ainsi que les mêmes surfaces créées S_{RT} , seules les déperditions statiques vont varier. Ainsi, pour diverses géométries possibles, il est possible de les classer par ordre croissant de compacité. Même si l'on a des mauvaises compacités (compacités hautes), rien n'empêche de construire. Cependant, la compacité précise le niveau de difficulté avec lequel on va devoir traiter pour proposer une solution règlementaire.

Aujourd'hui, pour un terrain donné, le droit à construire : coefficient d'occupation des sols COS, correspond à la surface de plancher. Cette surface est assez proche de la S_{RT} à la principale différence, la S_{RT} se calcule au nu extérieur alors que la surface de plancher est calculée au nu intérieur. Par conséquent, l'intérêt d'étudier la compacité d'un projet en phase esquisse peut permettre pour le même COS de faciliter le respect de la RT2012 grâce à des choix architecturaux plus favorables à des hauts niveaux de performance énergétique.

Il est à préciser que, le gain de compacité entre deux géométries possibles n'est pas égal au gain de consommation du poste chauffage (hors renouvellement d'air). Il faudrait pondérer les différents gains de surfaces (planchers/plafonds/murs) et gains de longueurs des ponts thermiques, avec respectivement, leurs coefficients U_p et valeurs de pont thermique. L'ensemble serait à comparer aux déperditions statiques totales pour avoir un gain énergétique affecté à diverses architectures.

- EXEMPLE 1 : Étage courant de forme carrée de largeur de côté de 10m.



Plans n°1 : plans des niveaux et coupes des cas 1 à 3 de l'exemple n°1 :
 « Étage courant de forme carrée de largeur de côté de 10m ».

Ainsi la formule de la compacité pour ce bâtiment est de :

$$\tau_{\text{exemple 1}} = \frac{AT_{\text{Bât}}}{S_{RT}} = \frac{2 * l^2 + x * 2.5 * 4 * l}{x * l^2}$$

Avec l=largeur et x=nombre de niveaux.

Soit pour l=10m.

$$\tau_{\text{Exemple 1}} = \frac{AT_{\text{Bât}}}{S_{RT}} = \frac{2 * 10^2 + x * 2.5 * 4 * 10}{x * 10^2} = \frac{100x + 200}{100x} = \frac{100x}{100x} + \frac{200}{100x} = 1 + \frac{2}{x}$$

Nous avons ainsi affaire à une fonction inverse qui tend pour x= +∞ vers 1.

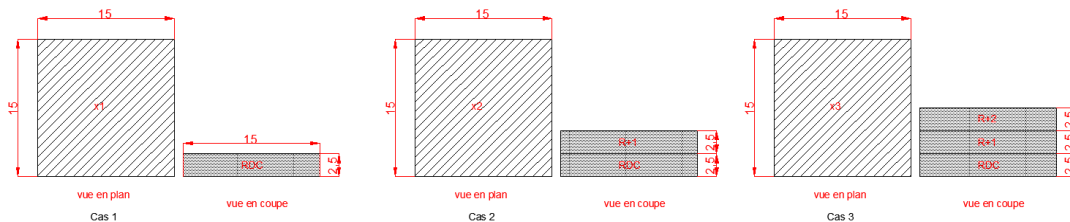
Tableau n°6 : Calcul de la compacité de l'exemple 1 pour un nombre d'étages courants différents.

	Cas	Nb niveaux	S _{RT} résultat [m²]	AT _{Bât} résultat [m²]	Compacité τ=AT _{Bât} /S _{RT}	Gain de surface déperditive
Exemple 1	1	1	100,000	300,000	3,000	0,000%
	2	2	200,000	400,000	2,000	33,333%
	3	3	300,000	500,000	1,667	44,444%
	4	4	400,000	600,000	1,500	50,000%
	5	5	500,000	700,000	1,400	53,333%
	6	6	600,000	800,000	1,333	55,556%
	7	7	700,000	900,000	1,286	57,143%
	8	8	800,000	1000,000	1,250	58,333%
	9	9	900,000	1100,000	1,222	59,259%
	10	10	1000,000	1200,000	1,200	60,000%
	+∞ (infini)	+∞ (infini)			1,000	66,667%

L'ajout d'un étage courant diminue la compacité de 33%, l'ajout de deux étages de 44%.

Plus on monte en étages, plus on diminue l'impact relatif des planchers et plafonds. À partir des cas 3 et 4, le gain de compacité n'est plus si important que cela.

• EXEMPLE 2 : Étage courant de forme carrée de largeur de côté de 15m.



Plans n°2 : plans des niveaux et coupes des cas 1 à 3 de l'exemple n°2 :
« Étage courant de forme carrée de largeur de côté de 15m ».

Soit pour $l=15m$

$$\tau_{Exemple\ 2} = \frac{ATBât}{S_{RT}} = \frac{2 * 15^2 + x * 2.5 * 4 * 15}{x * 15^2} = \frac{150x + 450}{225x} = \frac{150x}{225x} + \frac{450}{225x} = \frac{2}{3} + \frac{2}{x}$$

Nous avons ainsi affaire à une fonction inverse qui tend pour $x= +\infty$ vers $\frac{2}{3}$

Tableau n°7 : Calcul de la compacité de l'exemple 2 pour un nombre d'étages courants différents.

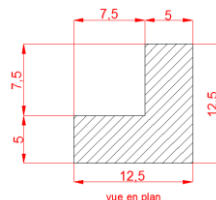
	Cas	Nb niveaux	S_{RT} résultat [m ²]	ATBât résultat [m ²]	Compacité $\tau=ATBât/S_{RT}$	Gain de surface déperditive
Exemple 2	1	1	225,000	600,000	2,667	0,000%
	2	2	450,000	750,000	1,667	37,500%
	3	3	675,000	900,000	1,333	50,000%
	4	4	900,000	1050,000	1,167	56,250%
	5	5	1125,000	1200,000	1,067	60,000%
	6	6	1350,000	1350,000	1,000	62,500%
	7	7	1575,000	1500,000	0,952	64,286%
	8	8	1800,000	1650,000	0,917	65,625%
	9	9	2025,000	1800,000	0,889	66,667%
	10	10	2250,000	1950,000	0,867	67,500%
	$+\infty$ (infini)	$+\infty$ (infini)			0,667	75,000%

L'exemple 2 dispose de la même géométrie, cependant, sa profondeur est plus importante. La conséquence est que la compacité du cas 1 de l'exemple 2 est 11% plus compacte que celle de l'exemple 1.

À partir des cas 3 et 4, les gains de compacités ne sont également plus significatifs.

Augmenter la profondeur d'un bâtiment de ce type diminue en comparaison à l'exemple 1, l'impact des façades et également celui des planchers plafonds, puisque la S_{RT} est différente.

- EXEMPLE 3 : Étage courant en forme de « L ».



Plans n°3 : plans du niveau courant de l'exemple n°3 : « Étage courant de forme carrée en « L ».

Suivant le même raisonnement que précédemment :

$$\tau_{\text{Exemple 3}} = \frac{ATB\hat{a}t}{S_{RT}} = \frac{2 * (12.5^2 - 7.5^2) + x * 4 * 12.5 * 2.5}{x * (12.5^2 - 7.5^2)} = \frac{125x + 200}{100x} = \frac{5}{4} + \frac{2}{x}$$

Avec x=nombre de niveaux

Nous avons ainsi affaire à une fonction inverse qui tend pour $x = +\infty$ vers $\frac{5}{4}$.

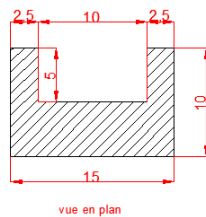
Tableau n°8 : Calcul de la compacité de l'exemple 3 pour un nombre d'étages courants différents.

	Cas	Nb niveaux	S _{RT} résultat [m ²]	ATBât résultat [m ²]	Compacité $\tau=ATB\hat{a}t/S_{RT}$	Gain de surface déperditive
Exemple 3	1	1	100,000	325,000	3,250	0,000%
	2	2	200,000	450,000	2,250	30,769%
	3	3	300,000	575,000	1,917	41,026%
	4	4	400,000	700,000	1,750	46,154%
	5	5	500,000	825,000	1,650	49,231%
	6	6	600,000	950,000	1,583	51,282%
	7	7	700,000	1075,000	1,536	52,747%
	8	8	800,000	1200,000	1,500	53,846%
	9	9	900,000	1325,000	1,472	54,701%
	10	10	1000,000	1450,000	1,450	55,385%
	$+\infty$ (infini)	$+\infty$ (infini)			1,250	61,538%

Cette architecture en L propose un périmètre plus important que les exemples 1 et 2, l'impact des façades sur la compacité est donc plus important.

S'il y avait des parois à isoler plus que les autres, ce serait les verticales (façades).

- EXEMPLE 4 : Étage courant en forme de « U ».



Plans n°4 : plans du niveau courant de l'exemple n°4 : « Étage courant de forme carrée en « U ».

$$\begin{aligned} \tau_{\text{Exemple 4}} &= \frac{ATB\hat{a}t}{S_{RT}} = \frac{2 * (15 * 10 - 10 * 5) + x * 2.5 * (2 * (15 + 10) + 5 * 2)}{x * (15 * 10 - 10 * 5)} = \frac{150x + 200}{100x} \\ &= \frac{3}{2} + \frac{2}{x} \end{aligned}$$

Avec x=nombre de niveaux

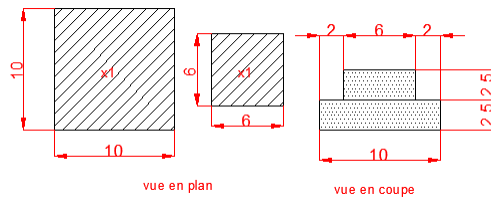
Nous avons ainsi affaire à une fonction inverse qui tend pour $x = +\infty$ vers $\frac{3}{2}$.

Tableau n°9 : Calcul de la compacité de l'exemple 4 pour un nombre d'étages courants différents.

	Cas	Nb niveaux	S _{RT} résultat [m²]	AT Bât résultat [m²]	Compacité τ=AT Bât/S _{RT}	Gain de surface déperditive
Exemple 4	1	1	100,000	350,000	3,500	0,000%
	2	2	200,000	500,000	2,500	28,571%
	3	3	300,000	650,000	2,167	38,095%
	4	4	400,000	800,000	2,000	42,857%
	5	5	500,000	950,000	1,900	45,714%
	6	6	600,000	1 100,000	1,833	47,619%
	7	7	700,000	1 250,000	1,786	48,980%
	8	8	800,000	1 400,000	1,750	50,000%
	9	9	900,000	1 550,000	1,722	50,794%
	10	10	1 000,000	1 700,000	1,700	51,429%
	+∞ (infini)	+∞ (infini)			1,500	57,143%

Cette architecture en U ressemble à celle en L (exemple 3), la différence vient du fait qu'il y a encore plus de façades. La compacité s'en trouve encore plus dégradée, 7% moins compacte que l'exemple 3 et 14% de moins que la solution 1.

- EXEMPLE 5 : Étage courant de forme carrée de largeur de côté de 10m et présence d'un attique.



Plans n°5 : plans de niveaux et coupe de l'exemple n°5 : « Étage courant de forme carrée de largeur de côté de 10m et présence d'un attique ».

$$\tau_{\text{Exemple 5}} = \frac{ATBât}{S_{RT}} = \frac{2 * (10 * 10) + x * 2.5 * 4 * 10 + 2.5 * 4 * 6}{x * (10 * 10) + 6 * 6} = \frac{100x + 260}{36 + 100x} = \frac{100 + \frac{260}{x}}{100 + \frac{36}{x}}$$

Avec x=nombre de niveaux

Nous avons ainsi affaire à des fonctions inverses (260/x et 36/x) qui tendent pour x= +∞ vers 0 et les limites des numérateurs et dénominateurs sont égales à 100. Le quotient des deux faisant 1, la compacité tend donc vers 1.

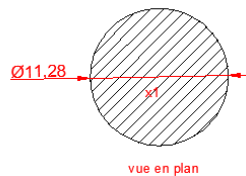
Tableau n°10 : Calcul de la compacité de l'exemple 5 pour un nombre d'étages courants différents.

	Cas	Nb niveaux	Nb d'étage courant	S _{RT} résultat [m²]	AT Bât résultat [m²]	Compacité τ=AT Bât/S _{RT}	Gain de surface déperditive
Exemple 5	1	2	1	136,000	360,000	2,647	0,000%
	2	3	2	236,000	460,000	1,949	26,365%
	3	4	3	336,000	560,000	1,667	37,037%
	4	5	4	436,000	660,000	1,514	42,813%
	5	6	5	536,000	760,000	1,418	46,434%
	6	7	6	636,000	860,000	1,352	48,917%
	7	8	7	736,000	960,000	1,304	50,725%
	8	9	8	836,000	1060,000	1,268	52,100%
	9	10	9	936,000	1160,000	1,239	53,181%
	10	11	10	1036,000	1260,000	1,216	54,054%
	+∞ (infini)	+∞ (infini)	+∞ (infini)			1,000	62,222%

Les bâtiments disposant d'un attique sont de plus en plus présents en France à cause du prospect (distance minimale imposée entre deux bâtiments). En effet, il n'est pas toujours possible d'ajouter un étage courant, cependant, effectuer un retrait de façade peut permettre de respecter le prospect en construisant moins qu'un ajout d'un étage courant, mais plus que si on n'en avait pas ajouté.

Ainsi l'ajout d'un attique au cas 1 de l'exemple 1 fait passer la compacité de 3 à 2.65, soit un gain de compacité de 11%. En revanche, ce gain passe de 11 à 2% pour un étage courant supplémentaire. Au pire, l'ajout d'un attique ne dégradera pas ou que très peu la compacité d'un bâtiment.

- EXEMPLE 6 : Étage courant de forme circulaire.



Plans n°6 : plan de niveau de l'exemple n°6 : « Étage courant de forme circulaire ».

$$\begin{aligned} \tau_{\text{Exemple 6}} &= \frac{AT_{\text{Bât}}}{S_{RT}} = \frac{2 * \pi * (10/\sqrt{\pi})^2 + x * 2,5 * \pi * (20/\sqrt{\pi})}{x * \pi * (10/\sqrt{\pi})^2} \\ &= \frac{x * 2,5 * \pi * 2 * (10/\sqrt{\pi})}{x * \pi * (10/\sqrt{\pi})^2} + \frac{2 * \pi * (10/\sqrt{\pi})^2}{x * \pi * (10/\sqrt{\pi})^2} = \frac{\sqrt{\pi}}{2} + \frac{2}{x} \end{aligned}$$

Avec x=nombre de niveaux

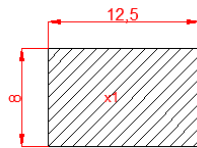
Nous avons ainsi affaire à une fonction inverse qui tend pour x= +∞ vers $\frac{\sqrt{\pi}}{2}$.

Tableau n°11 : Calcul de la compacité de l'exemple 6 pour un nombre d'étages courants différents.

	Cas	Nb niveaux	S _{RT} résultat [m²]	ATBât résultat [m²]	Compacité τ=ATBât/S _{RT}	Gain de surface déperditive
Exemple 6	1	1	100,000	288,623	2,886	0,000%
	2	2	200,000	377,245	1,886	34,647%
	3	3	300,000	465,868	1,553	46,196%
	4	4	400,000	554,491	1,386	51,971%
	5	5	500,000	643,113	1,286	55,436%
	6	6	600,000	731,736	1,220	57,746%
	7	7	700,000	820,359	1,172	59,395%
	8	8	800,000	908,982	1,136	60,633%
	9	9	900,000	997,604	1,108	61,595%
	10	10	1000,000	1086,227	1,086	62,365%
	+∞ (infini)	+∞ (infini)			0,886	69,295%

Ce type d'architecture est peu fréquent, mais propose une grande efficacité de compacité à S_{RT} équivalente puisque le périmètre de façade ne peut pas être plus faible qu'avec un étage courant de forme circulaire.

- EXEMPLE 7 : Étage courant de forme rectangulaire.



vue en plan

Plans n°7 : plan de niveau de l'exemple n°7 : « Étage courant de forme rectangulaire ».

$$\tau_{\text{Exemple 7}} = \frac{ATBât}{S_{RT}} = \frac{2 * 8 * 12.5 + x * 2.5 * 2 * (12.5 + 8)}{x * 8 * 12.5} = \frac{205}{200} + \frac{2}{x}$$

Avec x=nombre de niveau

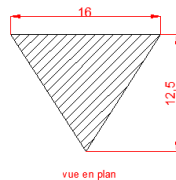
Nous avons ainsi affaire à une fonction inverse qui tend pour x= +∞ vers $\frac{205}{200}$.

Tableau n°12 : Calcul de la compacité de l'exemple 7 pour un nombre d'étages courants différents.

	Cas	Nb niveaux	S _{RT} résultat [m²]	ATBât résultat [m²]	Compacité τ=ATBât/S _{RT}	Gain de surface déperditive
Exemple 7	1	1	100,000	302,500	3,025	0,000%
	2	2	200,000	405,000	2,025	33,058%
	3	3	300,000	507,500	1,692	44,077%
	4	4	400,000	610,000	1,525	49,587%
	5	5	500,000	712,500	1,425	52,893%
	6	6	600,000	815,000	1,358	55,096%
	7	7	700,000	917,500	1,311	56,671%
	8	8	800,000	1020,000	1,275	57,851%
	9	9	900,000	1122,500	1,247	58,770%
	10	10	1000,000	1225,000	1,225	59,504%
	+∞ (infini)	+∞ (infini)			1,025	66,116%

Pour les largeurs et les longueurs choisies, cette géométrie est proche de celle en cube en un peu moins performante. Cependant pour des bâtiments encore plus étalés en longueur la compacité sera nettement plus dégradée.

- **EXEMPLE 8 : Étage courant de forme triangulaire.**



Plans n°8 : plan de niveau de l'exemple n°8 : « Étage courant de forme triangulaire ».

$$\begin{aligned} \tau_{\text{Exemple 8}} &= \frac{ATBât}{S_{RT}} = \frac{2 * 16 * 12.5 * 0.5 + x * 2.5 * (16 + 2\sqrt{8^2 + 12.5^2})}{x * 16 * 12.5 * 0.5} \\ &= \frac{2.5 * (16 + 2\sqrt{220.25})}{100} + \frac{2}{x} \end{aligned}$$

Avec x=nombre de niveaux

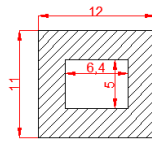
Nous avons ainsi affaire à une fonction inverse qui tend pour x= +∞ vers $\frac{2.5*(16+2\sqrt{220.25})}{100}$.

Cette architecture ne présente pas de réel avantage ni de réel désavantage.

Tableau n°13 : Calcul de la compacité de l'exemple 8 pour un nombre d'étages courants différents.

	Cas	Nb niveaux	S _{RT} résultat [m²]	AT Bât résultat [m²]	Compacité τ=AT Bât/S _{RT}	Gain de surface déperditive
Exemple 8	1	1	100,000	314,204	3,142	0,000%
	2	2	200,000	428,408	2,142	31,826%
	3	3	300,000	542,612	1,809	42,435%
	4	4	400,000	656,816	1,642	47,740%
	5	5	500,000	771,021	1,542	50,922%
	6	6	600,000	885,225	1,475	53,044%
	7	7	700,000	999,429	1,428	54,560%
	8	8	800,000	1 113,633	1,392	55,696%
	9	9	900,000	1 227,837	1,364	56,580%
	10	10	1 000,000	1 342,041	1,342	57,288%
	+∞ (infini)	+∞ (infini)			1,142	63,653%

- **EXEMPLE 9 : Étage courant de type patio.**



vue en plan

Plans n°9 : plan de niveau de l'exemple n°9 : « Étage courant de type patio ».

$$\tau_{\text{Exemple 9}} = \frac{AT_{\text{Bât}}}{S_{RT}} = \frac{2 * (12 * 11 - 6.4 * 5) + x * 2.5 * 2 * (12 + 11 + 6.4 + 5)}{x * (12 * 11 - 6.4 * 5)} = \frac{172x + 200}{100x}$$

$$= \frac{172}{100} + \frac{2}{x}$$

Avec x=nombre de niveaux

Nous avons ainsi affaire à une fonction inverse qui tend pour x= +∞ vers $\frac{172}{100}$.

Tableau n°14 : Calcul de la compacité de l'exemple 9 pour un nombre d'étages courants différents.

	Cas	Nb niveaux	S _{RT} résultat [m²]	AT Bât résultat [m²]	Compacité τ=AT Bât/S _{RT}	Gain de surface déperditive
Exemple 9	1	1	100,000	372,000	3,720	0,000%
	2	2	200,000	544,000	2,720	26,882%
	3	3	300,000	716,000	2,387	35,842%
	4	4	400,000	888,000	2,220	40,323%
	5	5	500,000	1060,000	2,120	43,011%
	6	6	600,000	1232,000	2,053	44,803%
	7	7	700,000	1404,000	2,006	46,083%
	8	8	800,000	1576,000	1,970	47,043%
	9	9	900,000	1748,000	1,942	47,790%
	10	10	1 000,000	1 920,000	1,920	48,387%
	+∞ (infini)	+∞ (infini)			1,720	53,763%

Cette architecture dispose d'une compacité très mauvaise, soit 24% de plus que l'exemple 1 !

- Analyse des résultats.

Tableau n°15 : Classement des différentes géométries en fonction de leur compacité dans les cas 1 pour les mêmes S_{RT} .

Exemples	Descriptions	$\tau_{cas\ n^{\circ}1} = AT\hat{B}at/S_{RT}$	$\tau_{+,\infty} = AT\hat{B}at/S_{RT}$	Gain $\tau_{cas\ n^{\circ}1}$ [%]	Gain $\tau_{+,\infty}$ [%]
6	Étage courant de forme circulaire	2,886	0,886	0,00%	0,00%
1	Étage courant de forme carrée de 10*10m	3,000	1,000	-3,94%	-12,84%
7	Étage courant de forme rectangulaire	3,025	1,025	-4,81%	-15,66%
8	Étage courant de forme triangulaire	3,142	1,142	-8,86%	-28,87%
3	Étage courant en forme de « L »	3,250	1,250	-12,60%	-41,05%
4	Étage courant en forme de « U »	3,500	1,500	-21,27%	-69,26%
9	Étage courant de type patio	3,720	1,720	-28,89%	-94,08%

La meilleure architecture à S_{RT} équivalente est la n°6 de forme cylindrique, elle dispose de la plus faible surface déperditive verticale. Les architectures de forme rectangulaire, carrée et triangulaire sont assez similaires sur de faibles hauteurs. Ensuite, les architectures à forts périmètres se distinguent par leurs très mauvaises compacités de 12 à 30% moins compactes que la solution idéale.

De plus, ce constat est encore plus marqué sur des bâtiments disposants de beaucoup d'étages, tours de bureau par exemple où les déperditions statiques sont quasi exclusivement liées aux parois verticales

Tableau n°16 : Impact de l'augmentation de la profondeur de l'exemple 1

Exemples	Descriptions	$\tau_{cas\ n^{\circ}1} = AT\hat{B}at/S_{RT}$	$\tau_{+,\infty} = AT\hat{B}at/S_{RT}$	Gain $\tau_{cas\ n^{\circ}1}$ [%]	Gain $\tau_{+,\infty}$ [%]
2	Étage courant de forme carrée de largeur de côté de 15m	2,667	0,667	0,00%	0,00%
1	Étage courant de forme carrée de 10*10m	3,000	1,000	-12,50%	-50,00%

Travailler sur des bâtiments plus profonds permet d'améliorer la compacité, sur cet exemple, le passage d'un carré de 15m de côté à 10m entraîne une perte de compacité de 12% sur un niveau. Comme précédemment, si on augmente massivement le nombre d'étages, cet écart est encore plus prononcé, de -12 à -50%.

Tableau n°17 : Impact de l'ajout d'un attique à l'exemple 1

Exemples	Descriptions	$\tau_{cas\ n^{\circ}1} = AT\hat{B}at/S_{RT}$	$\tau_{+,\infty} = AT\hat{B}at/S_{RT}$	Gain $\tau_{cas\ n^{\circ}1}$ [%]	Gain $\tau_{+,\infty}$ [%]
5	Étage courant de forme carrée de 10*10m et présence d'une attique	2,647	1,000	0,00%	0,00%
1	Étage courant de forme carrée de 10*10m	3,000	1,000	-13,33%	0,00%

L'ajout d'un attique permet sur des bâtiments ayant peu de niveau d'améliorer la compacité, cependant, pour des bâtiments avec beaucoup d'étages, le gain de compacité s'efface. Ainsi, il est possible de dire que l'ajout d'un attique dans ces proportions ne dégrade pas la compacité.

Pour récapituler, afin d'améliorer la compacité il est possible de :

1 - Augmenter le nombre d'étages courants : cela a pour conséquence de diminuer l'impact relatif des planchers et des plafonds sur l' $AT_{Bât}$.

2 - Augmenter la profondeur d'un bâtiment : cela a pour conséquence de diminuer l'impact relatif des murs sur l' $AT_{Bât}$.

3 – Travailler sur des architectures limitant le périmètre des bâtiments.

D'une manière générale pour obtenir les meilleures compacités, il faudrait travailler sur ces trois points.

Par exemple, pour une même S_{RT} créée de 900m² atteinte avec l'exemple 1, avec 9 étages, l'exemple 2 ferait légèrement mieux avec seulement 4 étages, puisque sa compacité est de 1.167 comparé à 1.222, soit un écart de 5%.

Cette démarche est fondamentale lors de la phase esquisse d'un futur bâtiment passif ou positif, puisque l'on peut diminuer drastiquement les futurs besoins, sans forcément augmenter les isolants qui sont coûteux. Cette démarche peut être utile à tous les niveaux d'exigence puisque tous les chantiers sont régis par le coût de revient.

À titre d'information, des compacités inférieures à 1.2 commencent à être vraiment favorables dans le calcul RT2012 (ce point sera étudié plus bas dans le rapport).

c. Etude d'un cas concret, le bâtiment présent sur l'annexe A2.

Pour cet exemple, il a été retenu, le bâtiment collectif A2 et la variante 1, structure en voile de béton avec les caractéristiques thermiques décrites au paragraphe suivant. Cependant les mêmes coefficients U_p ont été intégrés pour l'ensemble des parois, soit $U_p = 0.20$ [W.m².K⁻¹].

L'idée est de faire évoluer la compacité pour étudier les variations du coefficient B_{bio} .

Quatre variantes seront testées pour illustrer l'impact de la compacité sur le calcul du coefficient B_{bio} :

- 1- Ajout d'un étage courant, ainsi le projet passe d'un bâtiment de R+2 à R+3, le nombre de logements passe lui de 14 à 19 logements.
- 2- Ajout de deux étages courants, ainsi le projet passe d'un bâtiment de R+2 à R+4, le nombre de logements passe lui de 14 à 24 logements.
- 3- Ajout de **10%** de surface déperditive répartis en homogénéité entre les 4 orientations NORD/SUD/EST/OUEST, puis augmentation proportionnelle des déperditions linéiques par rapport à l' $AT_{Bât}$ pour ainsi garder « l'esprit architectural » (un certain volume de liaisons) ainsi que les ponts thermiques engendrés par le principe constructif, ici voile de béton et isolation par l'intérieur.
- 4- Idem au cas n°3, avec une augmentation de **30%** des surfaces déperditives.

Les résultats de cette expérience sont représentés dans le tableau 18 ci-dessous.

Tableau 18 : Etude de l'impact d'une variation de compacité sur le Bbio sur le projet A2.

	Projet annexe A2				
	Etat initial	Version 1	Version 2	Version 3	Version 4
ATBât [m ²]	1201,15	1380,70	1560,24	1319,87	1557,31
S _{RT} [m ²]	1043,40	1386,06	1728,72	1043,40	1043,40
$\tau=ATBât/S_{RT}$	1,15	1,00	0,90	1,26	1,49
$\Delta \tau$ [%]	0,00%	13,47%	21,60%	-9,88%	-29,65%
Déperd. Linéiques hors "murs/baies" [W/K.m ²]	215,98	247,10	278,22	237,32	280,01
Déperd. Linéiques hors "murs/baies" par unité de surface déperditive créée [W/K.m ² _{ATBât}]	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18
Coefficient Bbio	66,50	58,50	54,30	72,80	84,70
Δ Bbio [%]	0,00%	12,03%	18,35%	-9,47%	-27,37%
Ecart Bbio- τ [%]	0,00%	-1,44%	-3,25%	0,41%	2,28%

Il est clairement visible sur le tableau 18 qu'il y a un lien direct entre la notion de compacité et le Bbio sur un même projet, puisqu'à U_p constant, un gain de compacité entre deux architectures différentes entraîne un gain du coefficient Bbio sensiblement identique. Néanmoins, en réalité, bien que les coefficients U_p ne sont pas strictement identiques, ils sont en règle générale du même ordre de grandeur en moyenne entre 0.15 et 0.25 [W.m⁻².K⁻¹].

Enfin, il faut également souligner que des projets différents ayant des mêmes compacités auront des résultats réglementaires différents, à cause de leurs géométries différentes et d'une typologie de logements différente.

B. Étude des principales solutions constructives

1. Logements collectifs

a. Préambule

Avant toute chose, il faut choisir des bâtiments à étudier. Cinq projets ont été retenus. Ils représentent la majorité des projets de logement construits actuellement en IDF.

Sur chaque projet sera simulé les solutions suivantes :

Variante 1 - Structure voile de béton + Isolation par l'intérieur (ITI) – VB+ITI.

Variante 2 - Structure voile de béton légers + ITI – VBléger +ITI.

Variante 3 - Structure voile de béton + Isolation par l'extérieur (ITE) – VB+ITE.

Variante 4 - Structure brique isolante ou béton cellulaire + ITI – Brique + ITI.

Variante 5 - Structure brique isolante avec isolants dans les alvéoles + ITI – Super brique+ITI.

Variante 6 – Ossature bois + isolation en remplissage entre les poteaux + ITI – Ossature bois.

Variante 7 – Monomur en béton cellulaire – Monomur.

Les données qui pourront servir à comparer seront les coefficients $U_{RT}/U_{Bât}/B_{bio}$ et leurs écarts respectifs. Les variantes seront classées par ordre d'efficacité avec une surbrillance orange pour la variante retenue par le client.

Tableau 19 : Base de données des principaux ponts thermiques en collectif.

Cas	Type de pont thermique	Structures							Solutions
		Brique isolante	Super brique isolante	VB+ITI+ Rupt	VB légers	Monomur béton cellulaire	VB+ITE	Ossature bois	Rupteur thermique ITI/ITE
1	L8, Ψ bas, sans isolation sous chape	0.59	0.59	0.79	0.55	0.63	0.74	0.77	0.20
2	L8, Ψ bas, avec isolation sous chape	0.23	0.23	0.25	0.25	0.23	0.58	0.12	
3	L9, Ψ intermédiaire, dalle/façade	0.38	0.26	0.60	0.58	0.24	0.07	0.12	0.20
4	L9, Ψ intermédiaire, dalle/balcon	0.82	0.82	0.60	0.57	0.64	1.06	0.12/1.06*	0.33/0.28
5	L10, Ψ haut, terrasse	0.71	0.71	0.84	0.57	0.38	0.31/0.74**	0.14	0.20
6	L10, Ψ haut, retrait de façade	0.46	0.46	0.74	0.34	0.10	0.03	0.03	
7	Ψ haut, combles légers	0.04	0.04	0.05	0.05	0.03	0.06/0.55***	0.09	
8	Ψ refend classique	0.17	0.17	0.99	0.57	0.11	0.07	0.08	
9	Ψ décroché de façade	0.36	0.36	0.87	0.42	0.10	0.03	0.17	
10	L8, Ψ haut, loggia	0.48	0.48	0.81	0.35	0.10	0.03	0.03	

Légende			
Solution performante	Solution moyennement performante	Solution peu performante	Solution impossible

*solution avec balcon désolidarisé, sans cela, le psi peut aller jusqu'à 1.06 [W.m⁻¹.K⁻¹].

**retour d'isolant sur les acrotères, sans cela, le psi est de 0.74 [W.m⁻¹.K⁻¹].

***s'il est possible d'assurer une continuité d'isolant entre celui de façade et celui des combles, sinon, le psi est de 0.55W/m.K.

b. Comparatif des solutions structurelles point de vue linéique

- **Projet A1 – 4 logements à VILLEJUST**

C'est un projet de petit collectif, sur deux niveaux chauffés. De par son faible volume et de sa forme en U, il dispose d'une compacité assez élevée 1.84.

Tableau 20 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet A1.

Projet A1		Bbio max	72.0	Compacité		1.844	
4lgts - VILLEJUST		Bbio	Gain [%]	$U_{Bât}$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – VB+ITI		71.7	0.42%	0.363	0.684		
Variante 2 – VBléger+ITI		68.8	4.44%	0.349	0.658		
Variante 3 – VB+ITE		86.6	-20.28%	0.431	0.811		
Variante 4 – Brique+ITI		66.4	7.78%	0.337	0.635		
Variante 5 – Super brique+ITI		64.8	10.00%	0.330	0.622		
Variante 6 – Ossature bois		59.9	16.81%	0.307	0.579		
Variante 7 - Monomur		66.4	7.78%	0.336	0.633		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U_p constant 0.20 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{Bât}$	Ecart [%]
Variante 6	Laine de verre LV de 150mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 80+13mm	Les balcons sont considérés comme désolidarisés de la façade ou en bois		59.90	0%	0.307	0%
Variante 5	Super brique de 200mm, R=2.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 80+13mm	/		64.80	-8%	0.330	-7%
Variante 4	Brique de 200mm, R=1.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 120+13mm	/		66.40	-11%	0.337	-10%
Variante 7	Béton cellulaire de 400mm R=4.44 [m ² .K.W ⁻¹]	Gamme de produit limitée, on ne tombe pas sur un U_p équivalent, on est à $U_p = 0.217$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		66.40	-11%	0.336	-9%
Variante 2	VBléger de 160mm + ITI Th30 de 140+13mm	L'ensemble des voiles de façade doivent être en béton léger		68.80	-15%	0.349	-14%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th30 de 140+13mm	Présence de rupteurs thermiques sur 50% des liaisons intermédiaires		71.70	-20%	0.363	-18%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 collé de 150mm	Garde-fou, du ratio moyen linéique non conforme		86.60	-45%	0.431	-40%
Légende		Solution atteignant le niveau réglementaire		Solution retenue par le client			

Pour la variante 1, et ce pour tous les projets, il est nécessaire d'intégrer des rupteurs de pont thermique sur les rives de plancher car le pont thermique moyen intermédiaire sans ce traitement est largement supérieur à 0.60 [W.m⁻¹.K⁻¹] puisqu'il est de 0.99 [W.m⁻¹.K⁻¹].

Pour la version 2, et ce pour tous les projets, l'ensemble des voiles de façade doivent être en béton léger, cela nécessite la présence de nergaltos qui permettent d'éviter que les différents bétons ne se mélangent pas. En effet, le béton léger est un béton moins dense qu'un béton de structure, cela lui confère des propriétés thermiques mais, au détriment de la tenue mécanique.

Pour la variante 3, l'isolation par l'extérieur ITE ne respecte même pas le garde-fou du $RATIO_{\psi}$. Cela s'explique simplement, l'ITE traite très bien les ponts thermiques

intermédiaires, les refends, les acrotères et les retraits de façade. En revanche les ponts thermiques bas, ceux des balcons, et les hauts, de type pignon traversant dans les combles sont beaucoup plus mauvais qu'en isolation par l'intérieur ITI. Ce bâtiment n'ayant que deux niveaux et une mauvaise compacité, cette solution est inefficace et inadaptée.

La variante 7 est une bonne solution, cependant, le coefficient U_p de cette solution est limité par la forte épaisseur des murs, déjà 400 [mm] pour un $\lambda=0.09$ [$W.m^{-1}.K^{-1}$]. Ainsi, au regard du prix au mètre carré en IDF, proposer des solutions à 500 [mm] d'épaisseur est impensable sur du collectif.

Pour ce type de bâtiment, les meilleures variantes sont, les briques isolantes et surtout la construction en ossature bois.

- **Projet A2 – bâtiment de 14 logements à MOISSY CRAMAYEL**

C'est un bâtiment de taille intermédiaire, de forme cubique, sur trois niveaux chauffés. De par sa forme cubique, il dispose d'une bonne compacité de 1.15. Cependant, pour des raisons architecturales, il y a beaucoup de balcons ainsi que des refends qui traversent la façade. Ainsi, pour certaines solutions structurelles ces ponts thermiques seront très pénalisants et difficiles à traiter.

Tableau 21 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet A2.

Projet A2		Bbio max	72.0	Compacité	1.151		
14lgts – MOISSY CRAMAYEL		Bbio	Gain [%]	$U_{Bât}$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]	U_{RT} [$W.m^{-2}.K^{-1}$]		
Variante 1 – VB+ITI		71.0	1.39%	0.616	0.709		
Variante 2 – VBléger+ITI		68.5	4.86%	0.597	0.687		
Variante 3 – VB+ITE		78.1	-8.47%	0.668	0.769		
Variante 4 – Brique+ITI		69.0	4.17%	0.605	0.697		
Variante 5 – Super brique+ITI		68.4	5.00%	0.601	0.692		
Variante 6 – Ossature bois		61.9	14.03%	0.553	0.637		
Variante 7 - Monomur		69.9	2.92%	0.607	0.699		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U_p constant 0.20 [$W.m^{-2}.K^{-1}$]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{Bât}$	Ecart [%]
Variante 6	Laine de verre LV de 150mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 80+13mm	Les balcons sont considérés comme désolidarisés de la façade ou en bois		61.90	0%	0.553	0%
Variante 5	Super brique de 200mm, $R=2.00$ [$m^2.K.W^{-1}$] + ITI Th30 de 80+13mm			68.40	-11%	0.601	-9%
Variante 2	VBléger de 160mm + ITI Th30 de 140+13mm	L'ensemble des voiles de façade doivent être en béton léger		68.50	-11%	0.597	-8%
Variante 4	Brique de 200mm, $R=1.00$ [$m^2.K.W^{-1}$] + ITI Th32 de 120+13mm			69.0	-11%	0.605	-9%
Variante 7	Béton cellulaire de 400mm $R=4.44$ [$m^2.K.W^{-1}$]	Gamme de produit limitée, on ne tombe pas sur un U_p équivalent, on est à $U_p = 0.217$ [$W.m^{-2}.K^{-1}$]		69.9	-13%	0.607	-10%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th30 de 140+13mm	Présence de rupteurs thermiques sur 50% des liaisons intermédiaires		71.0	-15%	0.616	-11%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 collé de 150mm	Garde-fou, du ratio moyen linéique non conforme		78.1	-26%	0.668	-21%

En ce qui concerne la V3, le projet disposant de beaucoup de refends traversants et de balcons, le garde-fou $RATIO_{\Psi}$ n'est pas respecté. Ainsi, même avec un principe d'ITE, il est nécessaire d'ajouter des rupteurs thermiques aux droits des balcons. De plus, il est impossible d'effectuer des retours d'isolant sur les acrotères car ceux-ci débordent en « casquette ».

Pour la variante 4, la surabondance de balcon entraîne également le non-respect d'un garde-fou, mais ici, c'est le Ψ_9 qui n'est pas respecté. Il est nécessaire d'ajouter des rupteurs thermiques pour au moins être conforme au garde-fou.

- **Projet A3 – 29 logements à CLAMART**

C'est un bâtiment de cinq niveaux, de forme « T ». C'est un bâtiment assez caractéristique des bâtiments neufs qui sont construits dans des environnements hyper-urbains. Ils sont à la fois étalés et disposent de beaucoup de retraits de façade afin de respecter les règles de prospect. Il est à noter que ce projet a été pensé en briques isolantes au niveau structure. En effet, au-delà de quatre niveaux, il est peu probable que la solution brique isolante soit structurellement viable.

Tableau 22 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet A3.

Projet A3		Bbio max	72.0	Compacité		1.122	
29lgts – CLAMART		Bbio	Gain [%]	$U_{Bât}$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – VB+ITI		75.5	-4.86%	0.672	0.754		
Variante 2 – VBléger+ITI		70.0	2.78%	0.630	0.706		
Variante 3 – VB+ITE		71.8	0.28%	0.644	0.722		
Variante 4 – Brique+ITI		69.7	3.19%	0.624	0.700		
Variante 5 – Super brique+ITI		68.5	4.86%	0.614	0.689		
Variante 6 – Ossature bois		60.8	15.56%	0.555	0.622		
Variante 7 – Monomur		68.2	5.28%	0.602	0.675		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U_p constant 0.20 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{Bât}$	Ecart [%]
Variante 6	Laine de verre LV de 150mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 80+13mm	Les balcons sont considérés comme désolidarisés de la façade ou en bois		60.8	0%	0.555	0%
Variante 7	Béton cellulaire de 400mm R=4.44 [m ² .K.W ⁻¹]	Gamme de produit limitée, on ne tombe pas sur un U_p équivalent, on est à $U_p=0.217$ [W.m ⁻² .K ⁻¹] +Rupteur pour respecter le garde-fou des ponts thermiques intermédiaires		68.2	-12%	0.602	-8%
Variante 5	Super brique de 200mm, R=2.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 80+13mm			68.5	-13%	0.614	-11%
Variante 4	Brique de 200mm, R=1.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 120+13mm			69.7	-15%	0.624	-12%
Variante 2	VBléger de 160mm + ITI Th30 de 140+13mm	L'ensemble des voiles de façade doivent être en béton léger + 10% du linéaire intermédiaire en rupteur		70.0	-15%	0.630	-14%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 collé de 150mm	Garde-fou, du ratio moyen linéique non conforme		71.8	-18%	0.644	-16%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th30 de 140+13mm	Présence de rupteurs thermiques sur 57% des liaisons intermédiaires		75.5	-24%	0.672	-21%

Ce projet disposant d'un fort linéaire de balcons, même les solutions qui sont censées s'affranchir de rupteur en ont besoin, comme le monomur et le béton léger. Il est également à noter que l'ITE remonte légèrement dans le classement, et n'est qu'à 3, 4 points des meilleures solutions 2 et 3, respectivement, béton cellulaire et super brique isolante. Cela montre l'intérêt d'avoir des bâtiments à forte hauteur pour valoriser correctement l'ITE.

- **Projet A4 – bâtiment de 41 logements à DAMMARIÉ LES LYS**

C'est un bâtiment très compact (compacité de 0.89) tout en longueur. Il dispose de cinq niveaux, dont trois étages courants. Son RDC est au niveau du parking de son bâtiment jumeau (opération de deux bâtiments sur un terrain en pente). Enfin, il dispose d'un attique.

Tableau 23 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet A4.

Projet A4		Bbio max	72.0	Compacité	0.889		
41 Lgts – DAMMARIÉ LES LYS							
Variantes		Bbio	Gain [%]	$U_{Bât}$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – VB+ITI		66.5	7.64 %	0.747	0.663		
Variante 2 – VBléger+ITI		62.8	12.78%	0.708	0.629		
Variante 3 – VB+ITE		62.9	12.64%	0.712	0.633		
Variante 4 – Brique+ITI		Ces solutions ne sont pas structurellement viables pour ce projet					
Variante 5 – Super brique+ITI							
Variante 6 – Ossature bois		55.6	22.78%	0.640	0.569		
Variante 7 – Monomur		57.2	20.56%	0.656	0.583		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U_p constant 0.357 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{Bât}$	Ecart [%]
Variante 6	Laine de verre LV Th38 de 100mm entre poteaux + ITI via LV Th38 de 30+13mm	Les balcons sont considérés comme désolidarisés de la façade ou en bois		55.6	0%	0.64	0%
Variante 7	Béton cellulaire de 250mm R=2.77 [m ² .K.W ⁻¹]			57.2	-3%	0.656	-2%
Variante 2	VBléger de 180mm + ITI Th32 de 80+13mm	L'ensemble des voiles de façade doivent être en béton léger + 10% du linéaire intermédiaire en rupteur		62.8	-13%	0.708	-11%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 de 80mm			62.9	-13%	0.712	-11%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th32 de 80+13mm	Présence de rupteurs thermiques sur 58% des liaisons intermédiaires		66.5	-20%	0.747	-17%
Variante 4							
Variante 5							

Les solutions en briques isolantes ne sont pas étudiées car sur ce projet, elles n'étaient structurellement pas viables. Toutes les solutions arrivent à justifier une conformité au niveau du C_e . Grâce à une très faible compacité, le niveau d'isolation est beaucoup plus faible que les trois projets précédents. À titre d'exemple, le coefficient U_p des murs est ici de 0,357 [W.m⁻².K⁻¹] au lieu de 0,200 [W.m⁻².K⁻¹]. Cela montre bien l'intérêt de créer des bâtiments compacts.

- **Projet A5 – Bâtiment de 109 logements – 95340 PERSAN**

Ce bâtiment ressemble au projet A4 avec la particularité qu'il est très étendu, en forme de U. Sa compacité de 1.08 est étonnement bonne au regard de sa forme.

C'est un bâtiment de trois niveaux qui commence au R+1. Le bâtiment est sur pilotis, le rez-de-chaussée, RDC, fait office de parking. L'ensemble des locaux non chauffés LNC (locaux poubelles/vélos/sas/hall etc...) sont situés au RDC, à l'écart de la zone chauffée. De ce fait, ces locaux ne dégradent pas la compacité des étages chauffés. Il y a également la présence d'attiques partiels au dernier étage.

Tableau 24 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet A5.

Projet A5		Bbio max	72.0	Compacité		1.079	
109 Lgts – PERSAN							
Variantes		Bbio	Gain [%]	U _{Bât} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – VB+ITI		64.70	10.14%	0.629	0.00%		
Variante 2 – VBléger+ITI		62.60	13.06%	0.610	3.05%		
Variante 3 – VB+ITE		66.0	8.33%	0.640	-1.66%		
Variante 4 – Brique+ITI		Ces solutions ne sont pas structurellement viables pour ce projet					
Variante 5 – Super brique+ITI							
Variante 6 – Ossature bois		53.60	25.56%	0.540	14.24%		
Variante 7 - Monomur		61.30	14.86%	0.603	4.16%		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U _p constant 0.357 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	U _{Bât}	Ecart [%]
Variante 6	Laine de verre LV Th38 de 100mm entre poteaux + ITI via LV Th38 de 30+13mm	Les balcons sont considérés comme désolidarisés de la façade ou en bois		53.60	0%	0.540	0%
Variante 7	Béton cellulaire de 250mm R=2.77 [m ² .K.W ⁻¹]			61.30	-14%	0.603	-12%
Variante 2	VBléger de 180mm + ITI Th32 de 80+13mm	L'ensemble des voiles de façade doivent être en béton léger + 4% du linéaire intermédiaire en rupteur		62.60	-17%	0.610	-13%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th32 de 80+13mm	Présence de rupteurs thermiques sur 57% des liaisons intermédiaires		64.70	-21%	0.629	-16%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 de 80mm	Présence de rupteurs thermiques sur 5% des liaisons intermédiaires balcons		66.0	-23%	0.640	-19%
Variante 4							
Variante 5							

En ce qui concerne les solutions 4 et 5, les contraintes structurelles ne permettaient pas de passer toutes les façades en briques isolantes (Idem A4). Tout comme le projet A4, toutes les solutions simulées sont règlementaires. Cela est lié à une très bonne compacité.

- Premières conclusions sur les collectifs :

Sur les cinq bâtiments étudiés, la meilleure solution à U_p constant est dans tous les cas la construction en ossature bois (façade uniquement). Le gain supplémentaire par rapport aux deuxièmes variantes les plus performantes vont de 6 à 12%. C'est de loin, la solution la plus polyvalente et la plus performante.

Ensuite s'il est possible structurellement d'intégrer de la brique isolante (super isolante ou classique), celles-ci viennent en deuxième position, si le bâtiment est de faible hauteur, R+1, R+2. Pour des bâtiments plus élevés, le monomur est le plus efficace. Cela s'explique par deux raisons. Premièrement le monomur traite moins bien les ponts thermiques extrêmes, c'est pour cela que sur des petits volumes, il se fait devancer par la brique classique. Deuxièmement, les limites structurelles de la brique sont voisines du R+3, de ce fait pour des bâtiments plus hauts, cette solution ne peut pas être retenue, c'est aussi pour cela que le monomur prend la deuxième place pour des bâtiments en élévation (Nombre d'étage supérieur à R+2).

En dehors des briques isolantes et monomurs, le béton léger est une troisième solution. L'intérêt de ce procédé est de traiter de manière moyenne mais homogène l'ensemble des ponts thermiques d'un bâtiment. Bien évidemment, le traitement des ponts thermiques n'est pas aussi intéressant qu'en brique, mais il est meilleur que la solution béton et isolation intérieure.

Les dernières solutions envisageables sont l'isolation intérieure et structure en voile de béton et l'isolation extérieure.

Sur des niveaux d'exigences tout justes réglementaires, l'ITE est donc souvent en dernière position. En revanche, les bâtiments pour lesquels, elle est en avant dernière position, sont les bâtiments ayant beaucoup d'étages, à R+3/+4/+. En effet, l'isolation extérieure se rattrape dans le traitement des ponts thermiques intermédiaires. Plus il y a d'étages, plus elle sera efficace. En revanche sans traitement des ponts thermiques bas et haut, cette solution est difficilement valorisable en base.

Enfin, pour les solutions en briques, ITE et béton léger, leurs avantages commerciaux sont principalement le fait d'éviter les rupteurs thermiques qui effraient les entreprises générales. Dans cette étude, il est montré que dans certaines conditions, où des locaux non chauffés traversent en hauteur les locaux chauffés (exemple ventilation haute VH parking ou escalier non chauffé au sens des TH), cela pénalise le garde-fou Ψ_9 en pouvant créer une non-conformité, alors que la façade est conforme. Cela peut être le talon d'Achille de ces trois solutions.

Il est à noter que pour les solutions bétons/briques, lorsque la valeur Ψ_9 n'est pas réglementaire, il n'y a que les rupteurs thermiques qui permettent d'obtenir un respect du Ψ_9 à $0.60 [W.m^{-1}.K^{-1}]$. Il n'a pas été intégré plus de rupteur que nécessaire dans ce paragraphe.

Pour obtenir un niveau réglementaire, le tableau 25 condense ce qui est dit dans ce paragraphe. Ainsi, les gisements d'économies d'énergies sur le Bbio commencent déjà par le choix des bonnes solutions structurelles en fonction des projets.

Tableau 25 : Classement des solutions structurelles en fonction du nombre de niveau.

Niveaux	Structures						
	Brique isolante	Super brique isolante	VB+ITI+Rupt	VB légers	Monomur béton cellulaire	VB+ITE	Ossature bois
RDC	Bonne solution	Solution moyennement efficace			Bonne solution	Solution inefficace	Bonne solution
R+1							
R+2							
R+3	Si possible Bonne solution				Bonne solution		
R+4	Impossible						
R+∞							

Légende				
Bonne solution	Solution moyennement efficace	Solution inefficace	Si structure Ok bonne solution	Solution impossible

c. Détermination des performances limites des principes constructifs. Aller vers le bâti max.

Les prochaines réglementations obligeront probablement d'avoir des bâtis passifs et/ou positifs, et toutes les solutions ne permettent pas forcément d'atteindre de tels niveaux d'exigence. Ainsi, l'intérêt de trouver les performances limites de chaque solution constructive est de pouvoir les classer par ordre d'efficacité énergétique.

Avant de commencer, il faut déterminer ce que l'on entend par performance limite, seront considérés comme performance limite :

Murs extérieurs :

ITI : Doublage polystyrène Th29.5 160+13 [mm] $R=5.35 [m^2.K.W^{-1}]$.

ITE : Doublage polystyrène collé Th38 de 200 [mm] $R=5.25 [m^2.K.W^{-1}]$.

Ossature bois : Laine de verre LV200 [mm] entre poteaux et LV 200 [mm] en ITI $R=11.95 [m^2.K.W^{-1}]$.

Béton cellulaire de 500 [mm] $R=5.56 [m^2.K.W^{-1}]$.

Murs intérieurs :

Polystyrène Th30 de 120+13 [mm] $R=4.10 [m^2.K.W^{-1}]$.

Planchers bas :

Terre-plein : isolation sous chape ISC en PUR de 100 [mm] + isolation sous dalle ISD en PUR de 100 [mm] $R_{total}=9.30 [m^2.K.W^{-1}]$.

Parking : ISC en PUR de 100 [mm] + ISD en flochage TH44 de 200 [mm], $R_{total}=9.19 [m^2.K.W^{-1}]$.

Plancher bas en étage : ISD en fibrastyrène ou LV de 200 [mm] $R_{total}=5.00 [m^2.K.W^{-1}]$.

Planchers hauts :

Combles : LV Th35 de 400 [mm] $R=11.40 [m^2.K.W^{-1}]$.

Terrasses : polyuréthane PUR 280 [mm] $R=12.15 [m^2.K.W^{-1}]$.

Menuiseries :

$U_w = 1.30 [W.m^{-2}.K^{-1}]$ pour du PVC et $U_w = 1.40 [W.m^{-2}.K^{-1}]$ pour du bois ou de l'aluminium.

U_w portes extérieures = $1.30 [W.m^{-2}.K^{-1}]$.

U_w portes LNC = $2.20 [W.m^{-2}.K^{-1}]$.

U_c coffres des volets roulants ITE = $1.30 [W.m^{-2}.K^{-1}]$.

U_c coffres des volets roulants ITI $0.60 [W.m^{-2}.K^{-1}]$.

Rupteurs thermiques au niveau des planchers intermédiaires :

ITI + Voile de béton VB, liaisons Dalle/Façade, $\psi=0.20 [W.m^{-1}.K^{-1}]$.

ITI + VB, liaisons Dalle/Balcon, $\psi=0.33 [W.m^{-1}.K^{-1}]$.

ITI + brique, liaisons Dalle/Balcon, $\psi=0.31 [W.m^{-1}.K^{-1}]$.

ITE + VB, liaisons Dalle/Balcon, $\psi=0.28 [W.m^{-1}.K^{-1}]$.

ITE + PP, liaisons Dalle/Balcon, $\psi=0.27 [W.m^{-1}.K^{-1}]$.

Monomur, liaisons Dalle/Balcon, $\psi=0.31 [W.m^{-1}.K^{-1}]$.

Rupteurs thermiques au niveau des terrasses :

ITI + VB, liaison Dalle/Façade, $\psi=0.20 [W.m^{-1}.K^{-1}]$.

- Projet A1 – 4 logements à VILLEJUST

Tableau 26 : Comparatif des solutions structurelles pour le projet A1 pour le bâti max.

Projet A1		Bbio max	72.0	Compacité		1.844	
4lgts – VILLEJUST		Bbio	Gain [%]	$U_{Bât}$ [W.m ² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ² .K ⁻¹]		
Variante 1 – VB+ITI		59,4	17,50%	0,303	0,571		
Variante 2 – VBléger+ITI		63,3	12,08%	0,320	0,603		
Variante 3 – VB+ITE		76,1	-5,69%	0,378	0,712		
Variante 4 – Brique+ITI		56,3	21,81%	0,285	0,537		
Variante 5 – Super brique+ITI		52,3	27,36%	0,265	0,499		
Variante 6 – Ossature bois		52,4	27,22%	0,266	0,501		
Variante 7 – Monomur		61,0	15,28%	0,306	0,576		
Classement des solutions	Bâti max	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{Bât}$	Ecart [%]
Variante 5	Super brique de 200mm, R=2.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.124$ [W.m ² .K ⁻¹]		52,3	0%	0,265	0%
Variante 6	Laine de verre LV Th35 de 200mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	$U_p = 0.1426$ [W.m ² .K ⁻¹]		52,4	0%	0,266	0%
Variante 4	Brique de 200mm, R=1.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.152$ [W.m ² .K ⁻¹]		56,3	-8%	0,285	-8%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.177$ [W.m ² .K ⁻¹]		59,4	-14%	0,303	-14%
Variante 7	Béton cellulaire de 500mm R=5.56 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.175$ [W.m ² .K ⁻¹]		61,0	-17%	0,306	-15%
Variante 2	VBléger de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.71$ [W.m ² .K ⁻¹]		63,3	-21%	0,320	-21%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 collé de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.154$ [W.m ² .K ⁻¹]		76,1	-46%	0,378	-43%
Légende		Solution retenue par le client		Gain de consommation RT supérieur à 20% OU gain de place dans le classement		Perte de place dans le classement	

Avec le bâti max, les résultats sont sensiblement différents (Cf. tableau 20). Premièrement, la solution V6 ossature bois qui était la meilleure solution en base, et qui devançait la solution V5 super brique isolante de 8%, se fait devancer par celle-ci de 0.1 point. Il est à noter que la solution V5 dispose du plus grand gain de performance entre le niveau bâti max et base (entre les deux tableaux 20 et 26), soit un gain de 12.5 points de Bbio.

La solution V4, brique isolante, reste en troisième place toujours à 8/10% de la meilleure solution. Cette solution, tout comme les solutions V5 et V6 permettent d'obtenir un niveau de Bbio supérieur à 20% par rapport au Bbiomax. Ce niveau peut être demandé par certains labels comme par exemple le label « Effinergie + » délivré par EFFINERGIE.

En ce qui concerne les autres solutions, elles restent aux mêmes places et aux mêmes écarts par rapport à la meilleure solution à une exception près, la solution V1 béton + ITI. Cette solution gagne deux places pour se retrouver en quatrième solution à 14% de la meilleure solution. Cette variante dispose du deuxième plus gros gain de Bbio, soit 12.3 points (proche du 1^{er} à 12.5) entre les deux tableaux 20 et 26. Cela s'explique par plusieurs choses, le

mur ne change pas d'épaisseur, ainsi il n'y a pas de perte d'apports solaires liée au profil d'encastrement des menuiseries. Aussi, les rupteurs thermiques disposent de très bonnes caractéristiques thermiques. Par exemple, le traitement d'une liaison Dalle/Façade D/F est de $0.20 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ en rupteur, alors qu'en brique isolante, le Psi est de $0.38 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$. Le rupteur permet donc de se rapprocher de la valeur de $0.07 \text{ [W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}]$ en ITE.

Enfin, la solution ITE est toujours dernière et n'est même pas réglementaire, même avec toutes les prestations qui ont été ajoutées, on se retrouve toujours à 45/46% de la meilleure solution. Cela démontre son inefficacité à traiter les ponts thermiques sur des petits volumes.

Cependant, il est possible d'améliorer les performances de la solution ITE en lui ajoutant uniquement, au niveau du premier étage chauffé un ITI. De ce fait, il est possible de corriger parfaitement les ponts thermiques bas de ce projet (Cf. image 1).

Tableau 27 : Comparatif des solutions structurelles pour le projet A1 pour le bâti max avec l'ajout de solutions ITI/ITE.

Classement des solutions	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau du RDC	Bbio	Gain supplémentaire [%]
Variante 5	/	52,3	0%
Variante 6		52,4	0%
Variante 4		56,3	0%
Variante 1		59,4	0%
Variante 7		61,0	0%
Variante 2		63,3	0%
Variante 3	Ajout d'un isolant intérieur Th32 de 80+13mm, gain de 10,8 points de Bbio	65,3	14%

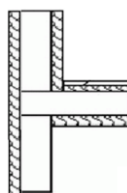


Image 1 : traitement du pont thermique bas en associant à l'ITE un ITI.

Comme ce bâtiment ne dispose que de deux niveaux chauffés, un seul niveau serait traité en ITE unique (sans ITI), ce qui n'est pas le but de cette solution. Autant ajouter des rupteurs thermiques à une solution ITI. Cependant, cet ajout local d'ITI apporte un gain de Bbio de 10.8 points, cela représente un gain supplémentaire de 14% et permet à cette solution de devenir réglementaire au niveau du Bbio. Bien que réglementaire, cette solution est toujours classée dernière. De plus, le gain d'inertie liée à l'ITE s'en trouve limité avec cette correction ITI.

La solution retenue sur ce projet était la solution V5 super brique isolante + ITI avec le niveau bâti max. À cause d'une mauvaise compacité, c'était la seule solution qui permettait d'atteindre avec moins de difficulté le niveau Bbiomax. En revanche le coût d'une telle brique est de 3 à 4 fois plus important qu'une brique classique.

- **Projet A2 – bâtiment 3 de 14 logements à MOISSY CRAMAYEL**

Tableau 28 : Comparatif des solutions structurelles pour le projet A2 pour le bâti max

Projet A2		Bbio max	72.0	Compacité		1.151	
14lgts – MOISSY CRAMAYEL		Bbio	Gain [%]	U _{Bât} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – VB+ITI		45,8	36,39%	0,427	0,492		
Variante 2 – VBléger+ITI		49,7	30,97%	0,458	0,527		
Variante 3 – VB+ITE		50,8	29,44%	0,466	0,536		
Variante 4 – Brique+ITI		43,7	39,31%	0,414	0,477		
Variante 5 – Super brique+ITI		42,4	41,11%	0,402	0,463		
Variante 6 – Ossature bois		41,8	41,94%	0,398	0,458		
Variante 7 – Monomur		50,7	29,58%	0,461	0,531		
Classement des solutions	Bâti max	Remarques		Bbio	Ecart [%]	U _{Bât}	Ecart [%]
Variante 6	Laine de verre LV Th35 de 200mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	U _p =0.1426 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		41,8	0%	0,398	0%
Variante 5	Super brique de 200mm, R=2.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.124 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		42,4	-1%	0,402	-1%
Variante 4	Brique de 200mm, R=1.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.152 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		43,7	-5%	0,414	-4%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.177 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		45,8	-10%	0,427	-7%
Variante 2	VBléger de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.71 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		49,7	-19%	0,458	-15%
Variante 7	Béton cellulaire de 500mm R=5.56 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.175 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		50,7	-21%	0,461	-16%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 collé de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.154 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		50,8	-22%	0,466	-17%

Le classement des deux premiers, V6 et V5 reste inchangé, l'écart qui était de 10% se retrouve à 1%. La solution V2, béton léger + ITI passe de la 3^{ème} à la 5^{ème} place, et se retrouve devancée par la solution V1 béton + ITI et V4 brique isolante +ITI. Cette perte de performance est plus prononcée que sur le projet A1. Cette solution V2 a été créée et est adaptée pour le respect de la RT sur son niveau règlementaire. De plus, il n'est possible pour l'améliorer, que d'améliorer les surfaciques et non pas les linéiques. Cette solution se fait ainsi devancer très nettement par toutes les solutions qui arrivent à mieux combattre les ponts thermiques.

Exactement comme dans la comparaison précédente, la solution V1 béton + ITI voit sa place évoluer positivement, ici de la 6^{ème} à la 4^{ème} et se retrouve très proche de la meilleure solution à 4 points de Bbio.

Enfin, la solution V3 ITE, voit son écart se resserrer de 26 à 22%. Bien que dernière, elle permet sur ce bâtiment, comme toutes les solutions, d'atteindre des niveaux de Bbio supérieurs à 20% au Bbiomax.

Comme sur le projet A1, il est possible d'améliorer les performances de la solution ITE en lui ajoutant uniquement au niveau du premier étage chauffé un ITI (Cf. image 1). Ce principe de

double isolation peut également servir ici sur le traitement des locaux non chauffés présents au RDC, ici deux sas et un local poubelle. Ce traitement corrige à la fois les ponts thermiques bas et hauts (Cf. image 2 gauche) mais également les refends traversant (Cf. image 2 droite).

Tableau 29 : Comparatif des solutions structurelles pour le projet A2 pour le bâti max avec l'ajout de solutions ITI/ITE.

Classement des solutions	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau du RDC	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau des LNC	Bbio	Gain supplémentaire [%]
Variante 6	/	-1,9 point de Bbio et -0,1 pour une double isolation en Th30 de 120+13mm de part et d'autre, soit un gain de 2.0 points de Bbio	39,8	5%
Variante 5			40,4	5%
Variante 4			41,7	5%
Variante 1			43,8	4%
Variante 3			Ajout d'un isolant intérieur Th32 de 80+13mm, gain de 3.4 points de Bbio	45,4
Variante 2	/		47,7	4%
Variante 7			48,7	4%

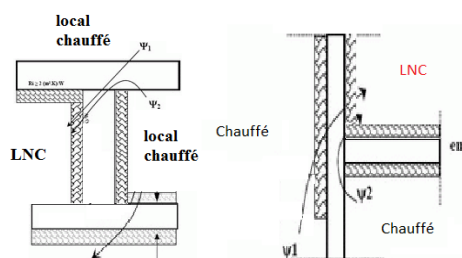


Image 2 : traitement du pont thermique bas et hauts (gauche) et ceux des refends (droite) en associant à l'ITI un ITE à des LNC

Sur ce projet, le fait d'ajouter des doubles isolations ITI + ITE entraîne un gain supplémentaire de 2 points pour le traitement des LNC et un gain de 5.4 points pour l'ajout d'un ITI pour la solution V3 ITE. La solution ITE voit sa place monter du 7^{ème} rang au 5^{ème}, mais le plus remarquable est qu'elle se retrouve compétitive puisqu'elle n'est plus qu'à 5.6 points de Bbio de la meilleure solution.

Enfin, la solution retenue sur ce projet était la solution V4 brique isolante + ITI avec un niveau bâti max. Ce projet avait besoin d'un fort gain de Bbio entre 35/45% puisque le chauffage retenu était le chauffage électrique par effet Joule, très pénalisant dans la RT2012. Cette solution coïncide avec un très bon compromis performance/coût.

- Projet A3 – 29 logements à CLAMART

Tableau 30 : Comparatif des solutions structurelles pour le projet A3 pour le bâti max.

Projet A3		Bbio max	72.0	Compacité		1.122	
29lgts – CLAMART		Bbio	Gain [%]	$U_{Bât}$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – VB+ITI		56,6	21,39%	0,521	0,584		
Variante 2 – VBléger+ITI		58,9	18,19%	0,539	0,605		
Variante 3 – VB+ITE		57,8	19,72%	0,531	0,596		
Variante 4 – Brique+ITI		56,3	21,81%	0,514	0,577		
Variante 5 – Super brique+ITI		54,0	25,00%	0,495	0,555		
Variante 6 – Ossature bois		49,5	31,25%	0,460	0,516		
Variante 7 – Monomur		58,6	18,61%	0,518	0,581		
Classement des solutions	Bâti max	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{Bât}$	Ecart [%]
Variante 6	Laine de verre LV Th35 de 200mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	$U_p = 0.1426$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		49,5	0%	0,460	0%
Variante 5	Super brique de 200mm, R=2.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.124$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		54,0	-9%	0,495	-8%
Variante 4	Brique de 200mm, R=1.00 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.152$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		56,3	-14%	0,514	-12%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.177$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		56,6	-14%	0,521	-13%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 collé de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.154$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		57,8	-17%	0,531	-15%
Variante 7	Béton cellulaire de 500mm R=5.56 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.175$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		58,6	-18%	0,518	-13%
Variante 2	VBléger de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.71$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		58,9	-19%	0,539	-17%

Sur ce projet, la première place est toujours occupée par la solution V6 ossature bois, cependant la suite est intéressante à analyser.

La solution V3 béton + ITE gagne une place par rapport à la solution de base. Cela s'explique parce qu'à partir de 4/5 niveaux, l'ITE est beaucoup plus pertinente. Il y a beaucoup de ponts thermiques intermédiaires et de refends à traiter. De plus comme le bâtiment est tout en hauteur, l'impact des planchers et plafonds où l'ITE est moins efficace est beaucoup plus faible.

Les solutions briques isolantes briguent la place à la solution monomur qui se retrouve avant dernière. En effet celle-ci est limitée par son coefficient U_p puisque le mur fait déjà plus de 50 [cm]. Il n'est pas raisonnable en IDF d'augmenter encore cette épaisseur. Mais elle est également limitée par sa profondeur d'encastrement qui dégrade les apports. En effet, en logements, les menuiseries sont placées au nu intérieur et non pas au nu extérieur comme en bureau, (principalement à cause de l'emplacement du volet roulant par rapport à la menuiserie). Cela engendre des profils d'encastrement d'au moins 20 [cm] (brique isolante) à au moins 40 [cm] en monomur. On crée de véritables meurtrières.

Pour les mêmes raisons que précédemment, la solution V1 béton + ITI remonte fortement dans le classement, ici de la dernière place, 7^{ème} à 4^{ème} avec la plus forte progression de 18.9 points de Bbio.

Il est également à noter que les solutions 3 à 7 sont sensiblement proches les unes des autres sans vraiment se détacher des autres, hormis les solutions V5 super brique + ITI et V6 ossature bois.

Enfin, comme précédemment (A2), sont présentés dans le tableau 31 les gains de performance de l'ajout de solutions ITI/ITE.

Tableau 31: Comparatif des solutions structurelles pour le projet A3 pour le bâti max avec l'ajout de solutions ITI/ITE.

Classement des solutions	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau du RDC	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau des LNC	Bbio	Gain supplémentaire [%]
Variante 6	/	-1,9 point de Bbio et -0,3 pour une double isolation en Th30 de 120+13mm de part et d'autre, soit un gain de 2.2 points de Bbio	47,3	4%
Variante 5			51,8	4%
Variante 3	Ajout d'un isolant intérieur Th32 de 80+13mm, gain de 1.8 points de Bbio		54,4	7%
Variante 4	/		53,8	4%
Variante 1			54,1	4%
Variante 7	/		56,4	4%
Variante 2			56,7	4%

Ces améliorations propulsent la solution V3 béton + ITE de la 5^{ème} à la 3^{ème} place à 7,1 points de la première solution et à 2.6 de la deuxième. Sachant que, la solution façade en ossature bois est très marginale en IDF, l'ITE a ainsi un grand intérêt sur ce type de projet.

Ces solutions permettent à toutes les solutions d'atteindre un niveau Bbiomax-20%, alors que sans, les solutions V2 béton léger + ITI, V3 béton + ITE et V7 monomur ne l'atteignent pas.

La solution retenue sur ce projet était la solution V4 brique + ITI avec un niveau réglementaire (Cf. tableau 22). Cette solution permettait d'obtenir de bonnes performances thermiques sans avoir des murs trop épais (Cf. monomur de 400mm). De plus une super brique isolante n'était pas justifiée pour ce niveau de performance à cause du coût qu'elle engendre.

- Projet A4 – bâtiment 2 de 41 Lgts à DAMMARIE LES LYS

Tableau 32 : Comparatif des solutions structurelles pour le projet A4 pour le bâti max.

Projet A4		Bbio max	72.0	Compacité		0.889	
41 Lgts – DAMMARIE LES LYS		Bbio	Gain [%]	$U_{Bât}$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – VB+ITI		44,1	38,75%	0,515	0,458		
Variante 2 – VBléger+ITI		46,3	35,69%	0,533	0,474		
Variante 3 – VB+ITE		46,9	34,86%	0,538	0,478		
Variante 4 – Brique+ITI							
Variante 5 – Super brique+ITI							
Variante 6 – Ossature bois		38,2	46,94%	0,447	0,397		
Variante 7 - Monomur		44,1	38,75%	0,494	0,439		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U_p constant 0.357 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{Bât}$	Ecart [%]
Variante 6	Laine de verre LV Th35 de 200mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	$U_p = 0.1426$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		38,2	0%	0,447	0%
Variante 7	Béton cellulaire de 500mm R=5.56 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.175$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		44,1	-15%	0,494	-11%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.177$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		44,1	-15%	0,515	-15%
Variante 2	VBléger de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.71$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		46,3	-21%	0,533	-19%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 collé de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.154$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		46,9	-23%	0,538	-20%
Variante 4							
Variante 5							

On peut dire sur ce classement que l'isolation extérieure, solution V3 perd une place de la 4^{ème} à la 5^{ème} et se retrouve distancée par rapport à la meilleure solution de 13% à 23%.

La solution 1 béton + ITI gagne deux places pour se retrouver 3^{ème}. Même phénomène que précédemment.

La meilleure solution reste nettement la solution V6 ossature bois.

Toutes les solutions atteignent le niveau Bbiomax-20%. Cela est également lié à une bonne compacité.

Enfin, comme précédemment, sont présentés dans le tableau 33 les gains de performance de l'ajout de solutions ITI/ITE. Ici, en plus des traitements des locaux non chauffés (image2) et du RDC pour la solution ITE (image 1), il est possible d'intégrer une isolation extérieure additionnelle sur l'attique comme représenté sur l'image 3.

Tableau 33 : Comparatif des solutions structurelles pour le projet A4 pour le bâti max avec l'ajout de solutions ITI/ITE.

Classement des solutions	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau du RDC	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau des LNC	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau de l'attique	Bbio	Gain supplémentaire [%]
Variante 6	/	-1,2 point de Bbio et -0,1 pour une double isolation en Th30 de 120+13mm de part et d'autre, soit un gain de 1.3 points de Bbio	/	36,9	3%
Variante 1			Ajout d'un isolant extérieur Th38 de 80mm, gain de 1.8 points de Bbio	41	7%
Variante 7			/	42,8	3%
Variante 3	Ajout d'un isolant intérieur Th32 de 80+13mm, gain de 2.0 points de Bbio	/	/	43,6	7%
Variante 2	/			45	3%
Variante 4					
Variante 5					

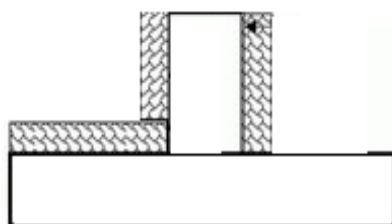


Image 3 : traitement du pont thermique entraîné par l'attique via l'ajout d'un ITE à l'ITI.

Le traitement de l'attique apporte un gain sensible de point de Bbio, puisque en lui associant un traitement des LNC via une double isolation de part et d'autre des voiles, la solution V1 béton + ITI se retrouve en deuxième position à 4.1 points de la première solution. L'ITE voit également sa place s'améliorer de la 5^{ème} à la 4^{ème} place.

Il se trouve que cette solution V1, est la solution retenue sur ce projet avec un bâti max puisque l'énergie retenue était également le chauffage par effet Joule. Ce mode de chauffage étant très pénalisant règlementairement, il faut, pour permettre le respect de la RT2012, améliorer fortement le bâti en atteignant des niveaux de Bbio -35 à -45% (Cf. Calcul du Cep pour les solutions électriques).

- **Projet A5 – 109 Lgts – 95340 PERSAN**

Tableau 34 : Comparatif des solutions structurelles pour le projet A5 pour le bâti max.

Projet A5		Bbio max	72.0	Compacité		1.079	
109 Lgts – PERSAN		Bbio	Gain [%]	U _{Bât} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – VB+ITI		41,7	42,08%	0,434	0,468		
Variante 2 – VBléger+ITI		43,1	40,14%	0,443	0,478		
Variante 3 – VB+ITE		45,1	37,36%	0,458	0,494		
Variante 4 – Brique+ITI							
Variante 5 – Super brique+ITI							
Variante 6 – Ossature bois		35,8	50,28%	0,378	0,408		
Variante 7 – Monomur		44,6	38,06%	0,441	0,476		
Classement des solutions	Bâti max	Remarques		Bbio	Ecart [%]	U _{Bât}	Ecart [%]
Variante 6	Laine de verre LV Th35 de 200mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	U _p =0.1426 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		35,8	0%	0,378	0%
Variante 1	VB de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.177 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		41,7	-16%	0,434	-15%
Variante 2	VBléger de 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.71 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		43,1	-20%	0,443	-17%
Variante 7	Béton cellulaire de 500mm R=5.56 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.175 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		44,6	-25%	0,441	-17%
Variante 3	VB de 160mm + ITE Th32 collé de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.154 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		45,1	-26%	0,458	-21%
Variante 4							
Variante 5							

La solution V1 béton+ITI passe de la 4^{ème} à la 2^{ème} place en échangeant avec la solution V7 monomur.

Les écarts entre les solutions V1/2/3 et 7 sont très faibles, ces solutions sont donc proches entre elles.

Toutes les solutions atteignent le niveau Bbiomax-20%.

En ce qui concerne les solutions de double isolation ITI/ITE, il n'y a pas de LNC à isoler doublement puisqu'ils sont situés au RDC. Il est alors possible que d'ajouter un isolant intérieur à la solution ITE au R+1 et, également d'intégrer une isolation extérieure complémentaire au niveau de l'attique.

Tableau 35 : Comparatif des solutions structurelles pour le projet A5 pour le bâti max avec l'ajout de solutions ITI/ITE.

Classement des solutions	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau du RDC	Ajout d'une double isolation locale ITI/ITE au niveau de l'attique	Bbio	Gain supplémentaire [%]
Variante 6	/	/	35,8	0%
Variante 1		Ajout d'un isolant extérieur Th38 de 80mm, gain de 1.0 points de Bbio	40,7	2%
Variante 3	Ajout d'un isolant intérieur Th32 de 80+13mm, gain de 3.8 points de Bbio	/	41,3	8%
Variante 2	/		43,1	0%
Variante 7			44,6	0%
Variante 4				
Variante 5				

L'ajout de doubles isolants permet à la solution V3 béton + ITE d'arriver en 3^{ème} place, proche de la solution V1 béton + ITI. Cependant, le bâtiment comporte seulement trois étages, l'ajout d'une isolation intérieure au premier niveau chauffé n'est pas très raisonnable puisque ce niveau représente plus du tiers de la surface déperditive extérieure verticale.

- **Derniers leviers du Bbio : la perméabilité et l'automatisation de la fermeture des occultations**

Tableau 36 : gains de Bbio pour une perméabilité qui passe de 1.00 à 0.50 et gain de Bbio de l'automatisation de la fermeture des occultations de manière crépusculaire.

Projet	Gain Bbio pour le passage d'une perméabilité à l'air de 1.00 à 0.50	ATBât hors planchers	Compacité	Gain de Bbio de l'automatisation de la fermeture des occultations de manière crépusculaire
A1	8.2	616.95	1.844	2.5
A2	3.3	1201.14	1.151	1.4
A3	5.3	2192.24	1.122	3.3
A4	3.8	1990.77	0.889	2.1
A5	2.7	5568.31	1.079	3.4

À partir du niveau bâti max, il est encore possible de trouver des points de Bbio en jouant sur la perméabilité à l'air du bâtiment. Cette perméabilité est fonction comme expliqué précédemment, de l'AT_{Bât Hors Plancher}.

Ainsi, même avec des compacités proches, le gain de Bbio pour l'amélioration de la perméabilité est beaucoup plus marqué sur le bâtiment A3, qu'A2 puisque le bâtiment A3 a beaucoup plus d'étages et donc moins de planchers en proportion.

Ainsi, il est plus intéressant de jouer sur le levier perméabilité sur des bâtiments avec de nombreux niveaux et, qui ont également des mauvaises compacités comme sur le bâtiment A1.

Enfin, l'automatisation de la fermeture des occultations permet de bénéficier de la résistance thermique additionnelle de l'occultation plus tôt, dès qu'il n'y a plus d'apport solaire. Le gain de Bbio est assez important puisqu'il varie suivant les projets de 2 à 3 points.

2. Maisons individuelles

a. Préambule

Tout comme pour les bâtiments collectifs, cinq projets ont été retenus. Ils représentent également la majorité des projets de maisons individuelles construites en IDF.

Sur chaque projet sera intégré les solutions suivantes :

Variante 1 – Brique isolante de 200mm + ITI.

Variante 2 – Super brique isolante de 200mm + ITI.

Variante 3 – Monomur en brique.

Variante 4 – Super monomur en brique.

Variante 5 – Ossature bois, remplissage entre poteaux + ITI.

Variante 6 – VB+ITE.

Variante 7 - PPC+ITE.

Variante 8 – VB+ITI.

Les données qui pourront servir à comparer seront, les coefficients $U_{RT}/U_{Bât}/B_{bio}$ et leurs écarts respectifs. Les variantes seront classées par ordre d'efficacité avec une surbrillance en orange pour la variante retenue par le client.

Tableau 37 : Base de données des principaux ponts thermiques en maison individuelle.

Cas	Type de pont thermique	Structures								Solutions
		Brique isolante	Super brique isolante	VB+ITI+ Rupt	Monomur	Super monomur	VB+ITE	PP+ITE	Ossature bois	Rupteur thermique ITI/ITE
1	L8, Ψ bas, sans isolation sous chape	0.59	0.59	0.79	0.71	0.71	0.74	0.43	0.77	0.20
2	L8, Ψ bas, avec isolation sous chape	0.23	0.23	0.25	0.24	0.24	0.58	0.30	0.12	
3	L9, Ψ intermédiaire, dalle/façade	0.38	0.26	0.60	0.31	0.12	0.07	0.07	0.12	0.20
4	L9, Ψ intermédiaire, dalle/balcon	0.82	0.82	0.60	0.77	0.77	1.06	0.85	0.12/1.06*	0.33/0.28
5	L10, Ψ haut, terrasse	0.71	0.71	0.84	0.50	0.50	0.31/0.74**	0.31	0.14	0.20
6	L10, Ψ haut, retrait de façade	0.46	0.46	0.74	0.10	0.10	0.03	0.03	0.03	
7	Ψ haut, combles légers	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.06/0.55***	0.05	0.09	
8	Ψ refend classique	0.17	0.17	0.99	0.11	0.11	0.07	0.07	0.08	
9	Ψ décroché de façade	0.36	0.36	0.87	0.10	0.10	0.03	0.03	0.17	
10	L8, Ψ haut, loggia	0.48	0.48	0.81	0.10	0.10	0.03	0.03	0.03	

Légende			
Solution performante	Solution moyennement performante	Solution peu performante	Solution impossible

*solution avec balcon désolidarisé, sans cela, le psi peut aller jusqu'à 1.06 [W.m⁻¹.K⁻¹].

**retour d'isolant sur les acrotères, sans cela, le psi est de 0.74 [W.m⁻¹.K⁻¹].

***s'il est possible d'assurer une continuité d'isolant entre celui de façade et celui des combles, sinon, le psi est de 0.55 [W.m⁻¹.K⁻¹].

b. Comparatif des solutions structurelles point de vue linéique

- **Projet B1 – Modèle « Aulne » – Dammarie les Lys**

Cette maison est de petite taille, 80 [m²] de SHAB. Elle est de conception simple puisque son volume s'apparente à un parallélépipède et elle ne dispose ni de balcon, ni de terrasse. Ce type de maison est assez fréquent en IDF.

Tableau 38 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B1.

Projet B1		Bbio max	76.0	Compacité		2.104	
I maison, modèle « AULNE » DAMMARIÉ LES LYS		Bbio	Gain [%]	U _{Bat} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _{RRT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – Brique+ITI		74.0	2.63 %	0.347	0.731		
Variante 2 – Super brique+ITI		71.1	6.45 %	0.335	0.705		
Variante 3 – Monomur		88.1	-15.92 %	0.402	0.846		
Variante 4 – Super monomur		78.2	-2.89 %	0.359	0.756		
Variante 5 – Ossature bois		69.3	8.82 %	0.328	0.690		
Variante 6 – VB+ITE		86.8	-14.21 %	0.401	0.843		
Variante 7 – PPC+ITE		81.6	-7.37 %	0.379	0.797		
Variante 8 – VB+ITI		80.7	-6.18 %	0.378	0.795		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U _p constant 0.209 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	U _{Bat}	Ecart [%]
Variante 5	Laine de verre LV Th35 de 150mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 80+13mm			69,3	0%	0,328	0%
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 80+13mm R=2.55 [m ² .K.W ⁻¹]			71,1	-3%	0,335	-2%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 100+13mm R=3.17 [m ² .K.W ⁻¹]			74,0	-7%	0,347	-6%
Variante 4	Super monomur en brique de 360mm R=4.66 [m ² .K.W ⁻¹]			78,2	-13%	0,359	-9%
Variante 8	VB 160mm + ITI Th30 de 140+13mm R=4.70 [m ² .K.W ⁻¹]	Présence de rupteurs thermiques sur 50% des liaisons intermédiaires		80,7	-16%	0,378	-15%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collé Th32 de 150mm R=4.69 [m ² .K.W ⁻¹]			81,6	-18%	0,379	-16%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 150mm R=4.69 [m ² .K.W ⁻¹]			86,8	-25%	0,401	-22%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	Gamme de produit limitée, il n'y a pas réellement d'U _p équivalent, U _p =0.250 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		88,1	-27%	0,402	-23%

Sur cette maison, la meilleure solution est la solution V5 ossature bois. Puis suivent les supers briques isolantes V2 et briques isolantes V1.

Ensuite, la solution super monomur, même avec son isolant incrusté V4 arrive en 4^{ème} position. Elle est assez loin des solutions briques + ITI V1 et V2 alors que la cible de ce produit est typiquement la maison individuelle. Les raisons de cet écart sont principalement dues à la perte d'apport solaire dû au profil d'encastrement, des ponts thermiques bas et, de menuiseries moins performantes. En effet, sur ce projet, il est présent une isolation sous dalle flottante avec remontées d'isolant en about de dalle. Le pont thermique en brique isolante + ITI est de 0.15 alors qu'en monomur il est de 0.27 [W.m⁻¹.K⁻¹].

Les solutions en isolation extérieure sont peu performantes, très loin des solutions briques isolantes et même derrière la solution V8 béton + ITI. L'ITE qui corrige principalement les refends et ponts thermiques intermédiaires. Cette dernière n'est pas valorisable ici puisque cette maison ne dispose pas de refend et, que d'un seul niveau de plancher intermédiaire. Cela ne

suffit pas à compenser ses très mauvaises performances aux niveaux des ponts thermiques hauts et bas.

La solution V3, monomur classique est obsolète en RT2012 puisqu'elle ne dispose pas d'une assez bonne résistance thermique pour être réglementaire. A ce jour, ce produit est en train de disparaître dans le neuf. Ce produit est quand même à -27% du Bbiomax.

La solution retenue par le client était la solution V1 avec un bâti un peu plus renforcé. C'est une solution qui, aujourd'hui, propose un très bon rapport performance/coût.

- **Projet B2 – Modèle « Aulne jumelé » – Dammarie les Lys**

Ce bâtiment dispose de deux maisons A1 accolées. Les remarques seront ainsi identiques au projet B1, cependant, l'intérêt d'accoler deux maisons est d'améliorer la compacité de ces maisons. En effet, de par ce choix, chaque maison dispose d'un pignon en moins en surface déperditive. Sur cet exemple, le gain de compacité est de 15%.

Tableau 39 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B2.

Projet B2		Bbio max	77.0	Compacité		1.792	
2 maisons jumelées, modèle « AULNE » DAMMARIE LES LYS		Bbio	Gain [%]	U _{Bat} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – Brique+ITI		57.4	25.45 %	0.356	0.639		
Variante 2 – Super brique+ITI		55.2	28.31 %	0.346	0.620		
Variante 3 – Monomur		69.8	9.35 %	0.410	0.736		
Variante 4 – Super monomur		62.6	18.7 %	0.373	0.668		
Variante 5 – Ossature bois		54.6	29.09 %	0.343	0.615		
Variante 6 – VB+ITE		68.4	11.17 %	0.412	0.739		
Variante 7 – PPC+ITE		64.4	16.36 %	0.392	0.703		
Variante 8 – VB+ITI		61.8	19.74 %	0.383	0.686		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U _p constant 0.209 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	U _{Bat}	Ecart [%]
Variante 5	Laine de verre LV Th35 de 150mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 80+13mm			54,6	0%	0,343	0%
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 80+13mm R=2.55 [m ² .K.W ⁻¹]			55,2	-1%	0,346	-1%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 100+13mm R=3.17 [m ² .K.W ⁻¹]			57,4	-5%	0,356	-4%
Variante 8	VB 160mm + ITI Th30 de 140+13mm R=4.70 [m ² .K.W ⁻¹]	Présence de rupteurs thermiques sur 50% des liaisons intermédiaires		61,8	-13%	0,383	-12%
Variante 4	Super monomur en brique de 360mm R=4.66 [m ² .K.W ⁻¹]			62,6	-15%	0,373	-9%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collé Th32 de 150mm R=4.69 [m ² .K.W ⁻¹]			64,4	-18%	0,392	-14%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 150mm R=4.69 [m ² .K.W ⁻¹]			68,4	-25%	0,412	-20%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	Gamme de produit limitée, il n'y a pas réellement d'U _p équivalent, U _p =0.250 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		69,8	-28%	0,41	-20%

En jumelant deux maisons A1, les résultats sont sensiblement identiques à une différence près, la solution V4 super monomur se fait devancer par la solution V8 VB+ITI. On peut également

voir que sur cet exemple, le coefficient $U_{\text{Bât}}$ de la solution V4 est quand même meilleur que celui de la solution V8 alors qu'en Bbio ce n'est pas le cas. Cela s'explique par la perte d'apport solaire dû à un profil d'encastrement important avec les solutions monomurs.

Cependant, l'intérêt d'accoler deux maisons peut être double. Premièrement, toutes les solutions bâtis sont règlementaires sur le projet A2 grâce à l'accolement. Deuxièmement, même si en réalité le projet A2 dispose d'un bâti proche de celui du A1, il dispose d'un coefficient Bbio beaucoup plus faible. Ici, le gain est de l'ordre de 20% pour un gain de compacité de 15%.

- **Projet B3 – Modèle « Clémence » – Villeron**

C'est une maison contemporaine qui dispose d'un garage semi-intégré et d'un retrait de façade. Ces deux éléments pénalisent la compacité. Cependant, comme la maison est plus profonde que la maison A1, elle dispose d'une surface habitable plus grande, 129 [m²], et il se trouve que la compacité est proche de l'A1, à 2.136.

Tableau 40 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B3.

Projet B3		Bbio max	68.2	Compacité		2.136	
1 maison, modèle « CLEMENCE » DAMMARIE LES LYS		Bbio	Gain [%]	$U_{\text{Bât}}$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – Brique+ITI		65.8	3.52 %	0.334	0.714		
Variante 2 – Super brique+ITI		64.3	5.72 %	0.328	0.701		
Variante 3 – Monomur		76.3	-11.88 %	0.372	0.795		
Variante 4 – Super monomur		70.4	-3.23 %	0.347	0.741		
Variante 5 – Ossature bois		64.0	6.16 %	0.327	0.698		
Variante 6 – VB+ITE		71.8	-5.28 %	0.360	0.768		
Variante 7 – PPC+ITE		70.4	-3.23 %	0.354	0.756		
Variante 8 – VB+ITI		71.8	-5.28 %	0.363	0.775		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U_p constant 0.209 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{\text{Bât}}$	Ecart [%]
Variante 5	Laine de verre LV Th35 de 150mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 80+13mm			64,0	0%	0,327	0%
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 80+13mm R=2.55 [m ² .K.W ⁻¹]			64,3	0%	0,328	0%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 100+13mm R=3.17 [m ² .K.W ⁻¹]			65,8	-3%	0,334	-2%
Variante 4	Super monomur en brique de 360mm R=4.66 [m ² .K.W ⁻¹]			70,4	-10%	0,347	-6%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collé Th32 de 150mm R=4.69 [m ² .K.W ⁻¹]			70,4	-10%	0,354	-8%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 150mm R=4.69 [m ² .K.W ⁻¹]			71,8	-12%	0,36	-10%
Variante 8	VB 160mm + ITI Th30 de 140+13mm R=4.70 [m ² .K.W ⁻¹]	Présence de rupteurs thermiques sur 50% des liaisons intermédiaires		71,8	-12%	0,363	-11%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	Gamme de produit limitée, il n'y a pas réellement d' U_p équivalent, $U_p = 0.250$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		76,3	-19%	0,372	-14%

Les solutions du trio de tête sont identiques aux deux précédentes maisons A1 et A2. Pour les autres variantes comparées à la maison A1, la solution V8 perd deux places et se retrouve derrière les isolations extérieures. La raison de cet écart est que l'ITE apporte un réel plus pour le traitement des ponts thermiques des retraits de façade (Cf. image3).

Il est également à noter que, sur ce type de maison, les solutions ITE sont beaucoup moins loin du trio de tête.

- **Projet B4 – Modèle « Cène » – Villeron**

Cette maison dispose comme pour la maison B3 d'un garage intégré et également de plafonds sous rampants inférieurs à 1.80 [m]. Ces deux éléments pénalisent la compacité pour le premier et la S_{RT} pour le deuxième (la S_{RT} se calcule pour des hauteurs sous plafonds HSP supérieures à 1.80 [m]). Ces deux éléments font que la compacité est plus mauvaise que les autres à 2.338.

Tableau 41 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B4.

Projet B4		Bbio max	70.5	Compacité		2.338	
1 maison, modèle « CENE » DAMMARIE LES LYS							
Variantes		Bbio	Gain [%]	$U_{Bât}$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – Brique+ITI		69.7	1.13 %	0.293	0.685		
Variante 2 – Super brique+ITI		67.0	4.96 %	0.283	0.662		
Variante 3 – Monomur		83.8	-18.87 %	0.347	0.811		
Variante 4 – Super monomur		74.9	-6.24 %	0.310	0.725		
Variante 5 – Ossature bois		69.3	1.70 %	0.292	0.682		
Variante 6 – VB+ITE		78.5	-11.35 %	0.326	0.762		
Variante 7 – PPC+ITE		76.5	-8.51 %	0.318	0.743		
Variante 8 – VB+ITI		74.9	-6.24 %	0.316	0.739		
Classement des solutions	Décomposition des parois à U_p constant 0.129 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{Bât}$	Ecart [%]
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 140+13mm R=4.70 [m ² .K.W ⁻¹]			67,0	0%	0,283	0%
Variante 5	Laine de verre LV Th32 de 250mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm			69,3	-3%	0,292	-3%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th22 de 140+13mm R=6.15 [m ² .K.W ⁻¹]			69,7	-4%	0,293	-4%
Variante 4	Super monomur en brique de 420mm R=5.51 [m ² .K.W ⁻¹]			74,9	-12%	0,31	-10%
Variante 8	VB 160mm + ITI placomur Th30 de 250mm R=7.10 [m ² .K.W ⁻¹]	Présence de rupteurs thermiques sur 50% des liaisons intermédiaires		74,9	-12%	0,316	-12%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collé Th32 de 240mm R=7.50 [m ² .K.W ⁻¹]			76,5	-14%	0,318	-12%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 240mm R=7.50 [m ² .K.W ⁻¹]			78,5	-17%	0,326	-15%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	Gamme de produit limitée, il n'y a pas réellement d' U_p équivalent, $U_p = 0.250$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		83,8	-25%	0,347	-23%

Sur cette maison, la solution V2 super brique isolante est plus performante que la solution V5 ossature bois. Concernant le classement des autres solutions, il n'y a pas de réelles particularités.

- **Projet B5 – Maison d’architecte – CROISSY**

C’est une maison simple avec un retrait de façade pour permettre de créer une terrasse à ses occupants. Elle a une compacité du même ordre de grandeur que les autres bâtiments B1 à B4. En revanche son plancher bas PB du RDC est sur parking. Les planchers hauts PH donnent tous sur des terrasses.

Tableau 42 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B5.

Projet B5		Bbio max	70.6	Compacité		2.118	
Maison individuelle		Bbio	Gain [%]	U _{Bat} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		U _{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	
Variante 1 – Brique+ITI		88.2	-24.93 %	0.446		0.945	
Variante 2 – Super brique+ITI		86.3	-22.24 %	0.438		0.928	
Variante 3 – Monomur		89.5	-26.77 %	0.443		0.938	
Variante 4 – Super monomur		82.6	-17.00 %	0.413		0.875	
Variante 5 – Ossature bois		64.8	8.22 %	0.349		0.740	
Variante 6 – VB+ITE		86.4	-22.38 %	0.439		0.930	
Variante 7 – PPC+ITE		81.8	-15.86 %	0.420		0.890	
Variante 8 – VB+ITI		96.7	-36.97 %	0.486		1.029	
Classement des solutions	Décomposition des parois à U _p constant 0.200 [W.m ⁻² .K ⁻¹]	Remarques		Bbio	Ecart [%]	U _{Bat}	Ecart [%]
Variante 5	Laine de verre LV Th35 de 150mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 80+13mm			64,8	0%	0,349	0%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collé Th32 de 150mm R=4.69 [m ² .K.W ⁻¹]			81,8	-26%	0,42	-20%
Variante 4	Super monomur en brique de 360mm R=4.66 [m ² .K.W ⁻¹]			82,6	-27%	0,413	-18%
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 80+13mm R=2.55 [m ² .K.W ⁻¹]			86,3	-33%	0,438	-26%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 150mm R=4.69 [m ² .K.W ⁻¹]			86,4	-33%	0,439	-26%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th32 de 100+13mm R=3.17 [m ² .K.W ⁻¹]			88,2	-36%	0,446	-28%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	Gamme de produit limitée, il n’y a pas réellement d’U _p équivalent, U _p =0.250 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		89,5	-38%	0,443	-27%
Variante 8	VB 160mm + ITI Th30 de 140+13mm R=4.70 [m ² .K.W ⁻¹]	Présence de rupteurs thermiques sur 50% des liaisons intermédiaires		96,7	-49%	0,486	-39%

Au classement on retrouve la V5 ossature bois en première place. En revanche en deuxième place on trouve pour la première fois la solution V7 PPC + ITE. La structure en parpaing creux limite les ponts thermiques en comparaison à la solution V6 béton + ITE. Elle apporte aussi une correction des ponts thermiques des terrasses en intégrant un retour d’isolant sur les acrotères. Elle traite également parfaitement le pont thermique du retrait de façade (Cf. image3). En revanche à ce niveau de prestation, la maison n’est pas règlementaire. Cela s’explique aussi par un élément qui est commun à toutes les variantes de ce projet : le plancher sur parking. Ce type de plancher est beaucoup plus pénalisant qu’un plancher sur terre-plein, car ce premier ne bénéficie pas, ou très peu de la chaleur du sol. De ce fait, la différence de température entre le sol et le RDC est beaucoup plus importante sur un plancher sur parking que sur terre-plein.

La solution retenue par le client est la solution V8 béton+ITI avec un bâti un peu plus important.

- Premières conclusions sur les maisons

Dans quatre cas sur cinq, la construction en ossature bois est le meilleur principe constructif. Uniquement pour la maison CENE (annexe B4), l'ossature bois est devancée par la solution brique isolante à isolation incorporée. Cependant, l'écart n'est que de 3 %.

En ce qui concerne les deuxièmes et troisièmes meilleures solutions, elles sont respectivement dans quatre cas sur cinq la brique isolante à isolation incorporée et la brique isolante simple.

Dans la maison de Croissy (annexe B5), les briques isolantes se font devancer par la solution monomur à isolation incorporée puis par l'ITE et structure lourde en PPC. Il est à noter que l'écart entre la solution à ossature bois (classement n°1) et les solutions monomur et ITE + PPC, est de 26 à 27 %, ce qui est énorme.

La principale raison à cela est que cette maison dispose de toitures terrasses et d'un retrait de façade. Ces deux éléments sont très favorables à un traitement des ponts thermiques hauts L10, via un retour d'isolant au niveau de l'acrotère, mais également au niveau du retrait de façade où une continuité d'isolant sera possible entre l'isolant de façade et l'isolant sous étanchéité. De ce fait, les maisons avec des toitures terrasses et des retraits de façade sont propices à l'ITE.

Dans l'esprit, il en est de même pour la solution super monomur qui par sa forte épaisseur et sa forte résistance thermique minimise à la fois ces mêmes ponts thermiques. Cependant, le traitement de ces derniers est légèrement moins efficace (Cf. tableau 37) qu'en ITE + PP. En revanche les ponts thermiques bas L8, avec une isolation sous chape sont meilleurs en monomur : 0.23 pour 0.30 en ITE. Mais l'écart entre ces deux solutions reste faible.

La solution Monomur simple arrive dans la majeure partie des cas en dernière position. Il est à noter que malgré des ponts thermiques qui lui sont plutôt favorables, le manque de performance de son surfacique lié à une résistance thermique moyenne, ne lui permet pas d'obtenir des performances correctes. C'est en partie pour cette raison que les « supers monomurs » sont apparus. Le monomur classique n'a pas ou peu sa place en RT2012.

Globalement, les solutions ITE ou ITI + rupteur (à hauteur de 50% du linéaire pour obtenir un Ψ_9 à 0.60 [$\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$]) ne sont pas des solutions performantes en maisons individuelles. Elles pèchent par leurs manques d'homogénéité au niveau du traitement des ponts thermiques.

Cependant ce comparatif a été effectué à coefficient surfacique constant. Cela ne prend pas en compte les possibilités d'améliorations des systèmes, comme par exemple, une augmentation de l'épaisseur des isolants de façade qui peut ou non être possible, suivant que l'on est en isolation rapportée ou en monomur isolant. En effet, dans ce dernier cas, il n'est pas rationnel d'ajouter un isolant puisque cette solution est sensée trouver son utilité à s'en affranchir.

De plus, des solutions comme l'ITE ou l'ITI peuvent voir leurs prestations nettement s'améliorer avec l'intégration ou l'augmentation du linéaire de rupteurs thermiques. Ainsi, dans le prochain paragraphe sera comparé les différents systèmes de construction avec des niveaux de prestation très importants. Cela permettra de voir quelles sont les performances limites de ces systèmes constructifs.

c. Détermination des performances limites des principes constructifs. Aller vers le bâti max.

Les performances qui seront considérées ici comme limites sont identiques à celles du §.I.B.1.c.

- **Projet B1 – Modèle « Aulne » – Dammarie les Lys**

Tableau 43 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B1 pour le bâti max.

Projet B1		Bbio max	76.0	Compacité		2.104	
1 maison, modèle « AULNE » DAMMARIÉ LES LYS							
Variantes		Bbio	Gain [%]	$U_{Bât}$ [W.m ² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ² .K ⁻¹]		
Variante 1 – Brique+ITI		57.2	24.74 %	0.272	0.572		
Variante 2 – Super brique+ITI		52.3	31.18 %	0.250	0.526		
Variante 3 – Monomur		79.1	-4.08 %	0.365	0.786		
Variante 4 – Super monomur		67.1	11.71 %	0.311	0.654		
Variante 5 – Ossature bois		54.1	28.82 %	0.259	0.545		
Variante 6 – VB+ITE		75.6	0.53 %	0.352	0.741		
Variante 7 – PPC+ITE		62.6	17.63 %	0.297	0.625		
Variante 8 – VB+ITI		56.1	26.18 %	0.273	0.574		
Classement des solutions	Bâti max	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{Bât}$	Ecart [%]
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.124$ [W.m ² .K ⁻¹]		52,3	0%	0,25	0%
Variante 5	Laine de verre LV Th35 de 200mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	$U_p = 0.142$ [W.m ² .K ⁻¹]		54,1	-3%	0,259	-4%
Variante 8	VB 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.177$ [W.m ² .K ⁻¹]		56,1	-7%	0,273	-9%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.142$ [W.m ² .K ⁻¹]		57,2	-9%	0,272	-9%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collée Th32 de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.151$ [W.m ² .K ⁻¹]		62,6	-20%	0,297	-19%
Variante 4	Super monomur en brique de 420mm R=5.51 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.176$ [W.m ² .K ⁻¹]		67,1	-28%	0,311	-24%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.154$ [W.m ² .K ⁻¹]		75,6	-45%	0,352	-41%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.250$ [W.m ² .K ⁻¹]		79,1	-51%	0,365	-46%

Avec le bâti max, le classement des solutions évolue. On peut remarquer, tout comme pour les collectifs que les solutions V8 béton + ITI évoluent positivement dans le classement, ici de la 5^{ème} à la 3^{ème} place, et l'écart se resserre entre la meilleure solution de 16% à 9%. Cette solution jouit de la meilleure amélioration de Bbio, 24.6 points. Il en est de même pour la solution V7 PPC + ITE, où le gain de Bbio est de 19.0 points.

Les solutions en briques isolantes et isolations rapportées se maintiennent en haut du tableau.

En revanche la solution super monomur isolant qui était plutôt bien positionnée en base, 4^{ème}, se retrouve 6^{ème} très loin de la meilleure solution -28%.

Enfin, avec ce niveau de bâti, quasiment toutes les solutions deviennent réglementaires, mais seulement la meilleure moitié (quatre premiers) franchit le cap des 20% de gain.

- **Projet B2 – Modèle « Aulne jumelés » – Dammarie les Lys**

Tableau 44 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B2 pour le bâti max.

Projet B2		Bbio max	77.0	Compacité		1.792	
2 maisons jumelées, modèle « AULNE » DAMMARIE LES LYS							
Variantes		Bbio	Gain [%]	U _{Bat} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – Brique+ITI		43.6	43.38 %	0.284	0.509		
Variante 2 – Super brique+ITI		40.4	47.53 %	0.266	0.477		
Variante 3 – Monomur		60.6	21.30 %	0.364	0.652		
Variante 4 – Super monomur		53.3	30.78 %	0.319	0.572		
Variante 5 – Ossature bois		42.2	45.19 %	0.277	0.497		
Variante 6 – VB+ITE		58.2	24.42 %	0.359	0.644		
Variante 7 – PPC+ITE		49.3	35.97 %	0.315	0.565		
Variante 8 – VB+ITI		42.5	44.81 %	0.285	0.511		
Classement des solutions	Bâti max	Remarques		Bbio	Ecart [%]	U _{Bat}	Ecart [%]
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.124 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		40,4	0%	0,266	0%
Variante 5	Laine de verre LV Th35 de 200mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	U _p =0.142 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		42,2	-4%	0,277	-4%
Variante 8	VB 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.177 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		42,5	-5%	0,285	-7%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.142 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		43,6	-8%	0,284	-7%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collée Th32 de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.151 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		49,3	-22%	0,315	-18%
Variante 4	Super monomur en brique de 420mm R=5.51 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.176 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		53,3	-32%	0,319	-20%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.154 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		58,2	-44%	0,359	-35%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.250 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		60,6	-50%	0,364	-37%

Sur ce projet B2, les résultats sont de même nature que pour le projet B1, en revanche les gains sur le Bbiomax sont beaucoup plus importants, environ 20% de plus. Cela est lié à une meilleure compacité de 15%. Toutes les solutions atteignent le niveau Cep-20%, même la solution monomur.

- **Projet B3 – Modèle « Clémence » – Villeron**

Tableau 45 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B3 pour le bâti max.

Projet B3		Bbio max	68.2	Compacité	2.136		
1 maison, modèle « CLEMENCE » DAMMARIÉ LES LYS		Bbio	Gain [%]	U _{Bat} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U _{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – Brique+ITI		56.2	17.60 %	0.289	0.617		
Variante 2 – Super brique+ITI		53.0	22.29 %	0.275	0.587		
Variante 3 – Monomur		70.1	-2.79 %	0.346	0.739		
Variante 4 – Super monomur		61.6	9.68 %	0.308	0.658		
Variante 5 – Ossature bois		54.2	20.53 %	0.281	0.600		
Variante 6 – VB+ITE		65.2	4.40 %	0.329	0.703		
Variante 7 – PPC+ITE		58.6	14.08 %	0.301	0.643		
Variante 8 – VB+ITI		60.6	11.14 %	0.314	0.671		
Classement des solutions	Bâti max	Remarques		Bbio	Ecart [%]	U _{Bat}	Ecart [%]
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.124 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		53.0	0%	0,275	0%
Variante 5	Laine de verre LV Th35 de 200mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	U _p =0.142 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		54,2	-2%	0,281	-2%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.142 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		56,2	-6%	0,289	-5%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collée Th32 de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.151 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		58,6	-11%	0,301	-9%
Variante 8	VB 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.177 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		60,6	-14%	0,314	-14%
Variante 4	Super monomur en brique de 420mm R=5.51 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.176 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		61,6	-16%	0,308	-12%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.154 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		65,2	-23%	0,329	-20%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.250 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		70,1	-32%	0,346	-26%

Pour la 3^{ème} fois, la solution V2 super brique isolante + ITI prend la première place à la solution V5 ossature bois. La solution V1 brique isolante + ITI se maintient à la même place. La solution V7 PPC + ITE qui était bien située en base se voit renforcée puisqu'elle passe de la 5^{ème} à la 4^{ème} place. Ce type de maison est encore plus propice à l'ITE lorsque l'on recherche de la performance.

Les solutions monomurs se retrouvent encore une fois en fin de tableau sans réellement apporter du gain en terme de Bbio, 4.40 % pour le super monomur (V4).

Il est également à noter que sur ce projet, dès le départ, le recours à l'isolation de part et d'autres des murs du garage a été nécessaire pour gagner de précieux points de Bbio. Le traitement des ponts thermiques bas et hauts par cette double isolation entraîne un gain de 2.7 points de Bbio et, le gain de surfacique lié au doublement de l'isolation est de 1.2 points. Soit au total 3.9 points de Bbio gagnés en ajoutant simplement un doublage additionnel côté garage.

- Projet B4 – Modèle « Cène » – Villeron

Tableau 46 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B4 avec le bâti max.

Projet B4		Bbio max	70.5	Compacité	2.338		
1 maison, modèle « CENE » DAMMARIÉ LES LYS		Bbio	Gain [%]	$U_{\text{Bât}}$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]	U_{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		
Variante 1 – Brique+ITI		69.7	1.13 %	0.293	0.685		
Variante 2 – Super brique+ITI		67.0	4.96 %	0.283	0.662		
Variante 3 – Monomur		83.8	-18.87 %	0.347	0.811		
Variante 4 – Super monomur		74.9	-6.24 %	0.310	0.725		
Variante 5 – Ossature bois		69.3	1.70 %	0.292	0.682		
Variante 6 – VB+ITE		78.5	-11.35 %	0.326	0.762		
Variante 7 – PPC+ITE		76.5	-8.51 %	0.318	0.743		
Variante 8 – VB+ITI		74.9	-6.24 %	0.316	0.739		
Classement des solutions	Bâti max	Remarques		Bbio	Ecart [%]	$U_{\text{Bât}}$	Ecart [%]
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.124$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		67.0	0%	0,283	0%
Variante 5	Laine de verre LV Th32 de 250mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	$U_p = 0.129$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		69,3	-3%	0,292	-3%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th22 de 140+13mm R=6.15 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.129$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		69,7	-4%	0,293	-4%
Variante 4	Super monomur en brique de 420mm R=5.51 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.176$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		74,9	-12%	0,31	-10%
Variante 8	VB 160mm + ITI placomur Th30 de 250mm R=7.10 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.136$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		74,9	-12%	0,316	-12%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collée Th32 de 240mm R=7.50 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.129$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		76,5	-14%	0,318	-12%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 240mm R=7.50 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.129$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		78,5	-17%	0,326	-15%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	$U_p = 0.250$ [W.m ⁻² .K ⁻¹]		83,8	-25%	0,347	-23%

Le bâti ne bouge pas puisque le projet en base était déjà au niveau du bâti max et même au-delà. Cela est principalement dû à une mauvaise compacité.

Il est également à noter que sur ce projet, dès le départ, le recours à l'isolation de chaque côté des murs du garage a été nécessaire pour gagner de précieux points de Bbio. Le traitement des ponts thermiques bas et hauts par cette double isolation entraîne un gain de 3.2 points de Bbio et le gain de surfacique lié au doublement de l'isolation est de 1.4 points. Soit au total 4.6 points de Bbio gagnés en ajoutant simplement un doublage additionnel, côté garage.

Ce gain est supérieur à celui engendré par la même méthode pour le projet B3, ce qui est normal puisque le garage du B4 est beaucoup plus encastré dans le RDC chauffé, ainsi les surfaciques et linéiques qui en résultent sont beaucoup plus nombreuses.

- **Projet B5 – Maison d’architecte – CROISSY**

Tableau 47 : Comparatif des différentes solutions structurelles pour le projet B5 pour le bâti max.

Projet B5		Bbio max	70.6	Compacité		2.118	
Maison individuelle		Bbio	Gain [%]	U _{Bat} [W.m ⁻² .K ⁻¹]		U _{RT} [W.m ⁻² .K ⁻¹]	
Variante 1 – Brique+ITI		78.5	-11.19 %	0.402		0.852	
Variante 2 – Super brique+ITI		75.1	-6.37 %	0.386		0.818	
Variante 3 – Monomur		86.1	-21.95 %	0.430		0.911	
Variante 4 – Super monomur		78.6	-11.33 %	0.387		0.820	
Variante 5 – Ossature bois		55.3	21.67 %	0.305		0.646	
Variante 6 – VB+ITE		79.3	-12.32 %	0.407		0.862	
Variante 7 – PPC+ITE		74.5	-5.52 %	0.387		0.820	
Variante 8 – VB+ITI		62.0	12.18 %	0.341		0.722	
Classement des solutions	Bâti max	Remarques		Bbio	Ecart [%]	U _{Bat}	Ecart [%]
Variante 5	Laine de verre LV Th35 de 200mm entre poteaux + ITI via LV Th32 de 200+13mm	U _p =0.142 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		55,3	0%	0,305	0%
Variante 8	VB 160mm + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.177 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		62.0	-12%	0,341	-12%
Variante 7	PPC 200mm + ITE collée Th32 de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.151 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		74,5	-35%	0,387	-27%
Variante 2	Super brique de 200mm, R=2.50 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.124 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		75,1	-36%	0,386	-27%
Variante 1	Brique de 200mm, R=1.45 [m ² .K.W ⁻¹] + ITI Th30 de 160+13mm R=5.35 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.142 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		78,5	-42%	0,402	-32%
Variante 4	Super monomur en brique de 420mm R=5.51 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.176 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		78,6	-42%	0,387	-27%
Variante 6	VB 160mm + ITE collé Th32 de 200mm R=5.25 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.154 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		79,3	-43%	0,407	-33%
Variante 3	Monomur en brique de 420mm R=3.83 [m ² .K.W ⁻¹]	U _p =0.250 [W.m ⁻² .K ⁻¹]		86,1	-56%	0,43	-41%

Avec le bâti max, la solution V8 béton + ITI qui se positionnait en dernière position se retrouve en 2^{ème}. En effet, cette maison ne disposant d’aucun refend, les rupteurs sont placés à tous les endroits possibles, liaisons Dalle/Façade DF et terrasse. Aucun rupteur ne peut se mettre sur des refends.

Sur ce projet, il est possible d’ajouter une isolation extérieure au niveau du retrait de façade au 1^{er} étage et, cette isolation additionnelle engendrerait un gain de 7.5 points de Bbio à la solution V8 béton + ITI. Cela lui permettrait de devenir la meilleure solution avec un Bbio de 54.5.

- Derniers leviers du Bbio : la perméabilité et l'automatisation de la fermeture des occultations

Tableau 48 : gains de Bbio pour une perméabilité qui passe de 0.60 à 0.40 et gain de Bbio de l'automatisation de la fermeture des occultations de manière crépusculaire.

Projets	Gain Bbio d'un passage de la perméabilité de 0.60 à 0.40	Compacité	Gain de Bbio de l'automatisation de la fermeture des occultations de manière crépusculaire
B1	3.6	2.104	2.3
B2	2.7	1.792	2.6
B3	3.5	2.136	3.1
B4	4.0	2.338	2.2
B5	3.5	2.118	3.6

Tout comme pour les bâtiments collectifs, la perméabilité permet d'aller encore plus loin dans la performance. Cependant, le gain de perméabilité à l'air sur une maison n'est raisonnablement que de 0,2, pour 0,5 en collectif puisque la valeur maximale tolérée en maison est de 0,6 pour 1,0 en collectif.

Le gain de Bbio sur la perméabilité est de l'ordre de 3 à 4 points et l'automatisation de la fermeture des occultations est dito les collectifs avec un gain de 2 à 3 points.

II. ÉTUDE DU COEFFICIENT CEP

A. Application sur un bâtiment collectif d'habitation

Pour ce faire, les différents systèmes ci-dessous seront étudiés pour différents niveaux de Bbio, niveaux réglementaires, -10%, -20% et -45%. Le projet qui servira de comparatif sera le projet A5 des 109 logements à PERSAN.

Les solutions étudiées sont :

- 1 – Les chaudières collectives gaz à condensation.
- 2 – Les chaudières collectives gaz à condensation + eau chaude sanitaire ECS solaire thermique.
- 3 – Les chaudières collectives gaz à condensation + appoint en chauffage via une pompe à chaleur PAC gaz à absorption.
- 4 – Les chaudières collectives gaz à condensation + appoint en chauffage via une pompe à chaleur PAC gaz à absorption + ECS solaire thermique.
- 5 – Chaudières collectives gaz à condensation + ECS via une PAC collective électrique.
- 6 – Chaudières individuelles gaz à condensation.
- 7 – Chaudières individuelles gaz à micro-cogénération.
- 8 – Chaudières individuelles gaz à condensation + ECS thermodynamique individuelles sur l'air repris.
- 9 – Chauffage par effet Joule + ECS thermodynamique individuelles sur l'air repris.
- 10 – Chauffage par effet Joule + ECS collective via une PAC électrique à appoint électrique.
- 11 – Chauffage par effet Joule + ECS collective via une PAC électrique à appoint gaz via une chaudière.
- 12 – Chaudières collectives bois.
- 13 – Chaudières collectives bois + ECS solaire thermique.
- 14 – Réseau de chaleur.
- 15 – Réseau de chaleur + ECS solaire thermique.
- 16 – Géothermique
- 17 – Photovoltaïque.

1. Chaudières collectives gaz à condensation

Tableau 49 : Résultats de la solution 1 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
Bbio max	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
73.10	76.7	-4.92 %	73.8	-0.96 %	69.8	4.51 %	59.9	18.06 %
Cep Chauffage	37.2		34.4	7.52 %	30.5	18.01 %	20.8	44.08 %
Cep ECS	26.6		26.6		26.6		26.7	

Tableau 50 : Valeurs des coefficients Cep en fonction des différents régimes de température.

Valeurs des coefficients Cep pour un niveau de Bbio réglementaire		Régulation de la température en fonction de la température extérieure	Gain de Cep	Gain en [%]
Régime de température	70/55	76,7	0,0	0,00%
	65/50	76,3	0,4	0,52%
	60/45	75,9	0,8	1,04%
	55/40	75,6	1,1	1,43%

Tableau 51 : Résultats de la solution 1 pour différentes améliorations et pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
Cep max	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
73.10	76.7	-4.92 %	73.8	-0.96 %	69.8	4.51 %	59.9	18.06 %
Amélioration n°1 : Régime radiateur 70/55 à 55/40	75,6	-3,42%	72,7	0,55%	68,8	5,88%	59,2	19,02%
Gain de Cep par rapport au tableau 54	1,1		1,1		1,0		0,7	
Amélioration n°2 : Variation temporelle des têtes thermostatiques de 0.56 à 0.21°C	74,0	-1,23%	71,2	2,60%	67,4	7,80%	58,2	20,38%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 1	1,6		1,5		1,4		1,0	
Amélioration n°3 : amélioration l'étanchéité des réseaux aérauliques de par défaut à classe A	72,8	0,41%	70,0	4,24%	66,2	9,44%	56,9	22,16%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 2	1,2		1,2		1,2		1,3	
Amélioration n°4 : amélioration l'étanchéité des réseaux aérauliques de classe A à B	72,3	1,09%	69,5	4,92%	65,7	10,12%	56,4	22,85%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 3	0,5		0,5		0,5		0,5	
Amélioration n°5 : amélioration l'étanchéité des réseaux aérauliques de classe B à C	71,1	2,74%	69,3	5,20%	65,5	10,40%	56,2	23,12%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 4	1,2		0,2		0,2		0,2	
Amélioration n°6 : Passage à des extracteurs très basse consommation (13.7 à 7.0 W/Lgts)	69,9	4,38%	67,1	8,21%	63,3	13,41%	54	26,13%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 5	1,2		2,2		2,2		2,2	
Amélioration n°7 : Automatisation de la fermeture des occultations de manière crépusculaire	68,1	6,84%	65,4	10,53%	61,5	15,87%	52,5	28,18%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 6	1,8		1,7		1,8		1,5	
Amélioration n°8 : Diminution de la perméabilité à l'air du bâtiment de 1.0 à 0.5	67,6	7,52%	64,9	11,22%	61,0	16,55%	51,9	29,00%

Gain de Cep par rapport à l'amélioration 7	0,5		0,5		0,5		0,6	
Amélioration n°9 : Récupération de chaleur collective sur les eaux grises avec appoint stockage ECS primaire	63,3	13,41%	60,6	17,10%	56,7	22,44%	47,6	34,88%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 8	4,3		4,3		4,3		4,3	
Amélioration n°10 : Amélioration de l'isolation des calorifuges de classe 2 à 5	61,2	16,28%	58,5	19,97%	54,6	25,31%	45,5	37,76%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 9	2,1		2,1		2,1		2,1	
Amélioration n°11 : Emetteurs radiateurs à plancher chauffant	65,3	10,67%	61,8	15,46%	57,4	21,48%	47,4	35,16%
Perte de Cep par rapport à l'amélioration 10	-4,1		-3,3		-2,8		-1,9	

En appliquant une partie ou la totalité des améliorations 1 à 9, il est possible de gagner jusqu'à environ 11% de Cep, et jusqu'à 15% avec un système de récupération sur les eaux grises.

2. Chaudières collectives gaz à condensation + ECS solaire thermique

La base retenue sur laquelle on ajoute le solaire thermique est l'amélioration n°1 du tableau 51.

Deux simulations seront effectuées, une simulation avec un taux de couverture en énergie renouvelable EnR de 30% et une avec un taux dit « maximum » pour laquelle la couverture mensuelle ne dépassera pas 90% afin d'éviter les surchauffes estivales.

Le taux de 30% correspond à la limite basse de couverture pour prétendre à des subventions. De plus, ces taux de couvertures sont calculés sur [2] www.tecsol.fr et les consommations mensuelles à intégrer sur cet outil, pour la typologie du bâtiment mentionnée ci-dessous, sont extraites du document [3] « Ratios des besoins en ECS pour le dimensionnement des installations en solaire thermique ». Ce document fait aujourd'hui office de référence pour la profession puisqu'il a été établi, entre autre par le COSTIC, ENERPLAN, ADEME, TECSOL, etc... Il a pour but de mieux dimensionner le solaire thermique et d'éviter des contre références liées à de mauvais dimensionnements.

Sur ce projet, la typologie des logements est la suivante :

- 43 T2 à 1 salle de bains SDB.
- 56 T3 à 1 SDB.
- 10 T4 à 2 SDB.

Pour cette typologie les consommations journalières mensuelles sont les suivantes :

Tableau 52 : Consommations mensuelles d'ECS à 60°C pour la typologie de logement du bâtiment.

Janvier	6541 [L.jour ⁻¹]	Juillet	4460 [L.jour ⁻¹]
Février	6541 [L.jour ⁻¹]	Août	4460 [L.jour ⁻¹]
Mars	6541 [L.jour ⁻¹]	Septembre	5351 [L.jour ⁻¹]
Avril	6541 [L.jour ⁻¹]	Octobre	6243 [L.jour ⁻¹]
Mai	6541 [L.jour ⁻¹]	Novembre	6541 [L.jour ⁻¹]
Juin	5054 [L.jour ⁻¹]	Décembre	6541 [L.jour ⁻¹]

Pour obtenir 30% de taux de couverture en EnR, il faut 60 [m²] de capteurs solaires thermiques. Ici l'inclinaison est de 30° pour une exposition plein sud. Les détails sont présents en annexe C1.

Le taux de couverture maximale possible afin d'éviter les surchauffes est aussi de 44%. Il est obtenu avec 96 [m²] de capteurs solaires thermiques. Dans ce deuxième cas, l'inclinaison est de 30° pour une exposition plein sud. Les détails sont présentés en annexe C2. Le plus fort taux de couverture mensuel est atteint en juillet et est de 88%. Ce taux étant inférieur à 90%, le risque de surchauffe est donc faible.

Tableau 53 : Résultats de la solution 2 pour différents niveaux de Bbio.

Niveau du taux d'EnR	Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.00	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Sans EnR 0%	73.10	75,6	-3,42%	72,7	0,55%	68,8	5,88%	58,9	19,02%
	Cep Chauffage	36.1		33.3	7.75 %	29.5	18.28 %	20.1	44.32
	Cep ECS	26.6		26.6		26.6		26.7	
Avec EnR 30%	73.10	69.6	4.79 %	66.7	8.76 %	62.70	14.23 %	53.0	27.50 %
	Cep Chauffage	35.9		33.1		29.2		19.8	
	Cep ECS	20.8	21.80 %	20.8	21.80 %	20.8	21.80 %	20.8	22.09 %
Avec EnR 44%	73.10	66.9	8.48 %	64.0	12.45 %	60.1	17.78 %	50.4	31.05
	Cep Chauffage	35.9		33.1		29.2		19.8	
	Cep ECS	18.2	31.57 %	18.2	31.57 %	18.2	31.57 %	18.2	31.83 %

Remarque : Il y a un écart entre le taux de couverture via la méthode « SOCOL » et le pourcentage d'économie du poste Cep ECS. En effet, pour un dimensionnement à 44 % d'EnR, le gain RT n'est que de 31.57%. Cela peut s'expliquer simplement, les scénarios des consommations journalières, la méthode de calcul et les fichiers météo utilisés sont différents.

Cependant, même si le solaire thermique entraîne un gain du Cep RT du poste ECS de 31.57 %, rapporté au global Cep chauffage + Cep ECS, ce gain n'est plus que de **13.39 %** [(26.6*0.3157)/(36.1+26.6)]. Enfin au niveau du Cep total, ce gain devient **11.09 %**.

3. Chaudières collectives gaz à condensation + PAC gaz à absorption en appoint chauffage

Pour une température extérieure de -3 [°C], le besoin de chauffage du bâtiment est d'environ 207 [kW], soit 9 [kW.K⁻¹]. La PAC Gaz fournie à +7 [°C]/50 [°C] environ 38 [kW] chaud. Soit 38/9=4.22 [°C]. 19-4.22=14.78°C. Ainsi, en dessous d'une température extérieure inférieure à 14.78 [°C], la PAC gaz à absorption fonctionnera sans arrêt à puissance nominale. De par son

principe de compression thermique et non pas mécanique, même pour une température extérieure très faible de -15°C, le coefficient GUE est de 1.15 au lieu de 1.52 à +7°C et la puissance fournie est quasiment stable. L'énergie thermique de compression pour un GUE de 1.00 est « au pire » récupérée pour servir de chauffage, la plage de fonctionnement de la machine est donc très large, ici de -20 à +60°C.

Comme sa limite de fonctionnement est de 60°C, il est préférable d'avoir une température de départ des radiateurs inférieure à 60°C pour optimiser les performances, ici, les réseaux sont en 55/40 [°C].

Tableau 54 : Résultats de la solution 3 pour différents niveaux de Bbio.

Niveau du taux d'EnR	Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.00	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Sans EnR 0%	73.10	75,6	-3,42%	72,7	0,55%	68,8	5,88%	59,2	19,02%
	Cep Chauffage	36.1		33.3	7.75 %	29.5	18.28 %	20.1	44.32
	Cep ECS	26.6		26.6		26.6		26.7	
Avec 1 PAC	73.10	70,8	3,15%	68,1	6,84%	64,5	11,76%	56,3	22,98%
	Cep Chauffage	31,3	13,30%	28,7	13,81%	25,2	14,58%	17,2	14,43%
	Cep ECS	26,6	0,00%	26,6	0,00%	26,6	0,00%	26,7	0,00%
Avec 2 PAC	73.10	68,2	6,70%	65,9	9,85%	62,8	14,09%	55,5	24,08%
	Cep Chauffage	28,7	20,50%	26,5	20,42%	23,5	20,34%	16,4	18,41%
	Cep ECS	26,6	0,00%	26,6	0,00%	26,6	0,00%	26,7	0,00%

La PAC gaz à absorption entraîne une baisse de la consommation du poste chauffage de 13 à 20% suivant le nombre de machines. Une machine entraîne un gain de 13% et 2 de 20%. Sur ce projet, ajouter une troisième PAC ne serait pas intéressant puisque les besoins sont déjà quasiment fournis par une voire deux PAC. En effet, lorsque le Bbio est à un niveau réglementaire, l'ajout d'une deuxième machine entraîne un gain supplémentaire du Cep chauffage de 7.2 %, alors qu'avec un excellent niveau de bâti, ce gain se rétracte à 3.98% soit un écart de 44%.

Néanmoins, même si avec deux machines, le gain de Cep chauffage est plus faible que celui du solaire, 20.50% contre 31.57%, le gain sur la Cep chauffage + Cep ECS est quant à lui de 11.80% pour 13.39 %, ainsi, les solutions 2 et 3 entraînent quasiment le même gain sur le Cep final. Cela s'explique très facilement puisque le Cep chauffage est plus important que le Cep ECS.

Enfin, le gain au niveau du Cep total pour deux PAC gaz est de 9.78 % pour 11.09 % pour le solaire.

Pour conclure, les gains de consommation règlementaire de ces deux solutions, solaire thermique (44% d'EnR) et PAC gaz à absorption (x2) sont sensiblement proches.

En revanche, en ce qui concerne les subventions, la solution PAC gaz à absorption ne peut pas y prétendre puisque son taux d'EnR est inférieur à 30% sur le poste chauffage.

Remarques : en ce qui concerne le taux d'EnR de cette solution, la profession considère que s'il est calculé sur la base de la RT, il faut faire un écart entre une solution avec PAC gaz et une solution sans. En effet, la RT2012 étant une « boîte noire », il n'est pas directement possible de remonter l'arborescence du calcul pour réellement trouver le taux d'EnR.

Pour finir, si on reprend les mêmes puissances fournies par les PAC gaz et que l'on change les machines pour des PAC électriques aérothermiques. Le gain sur le Cep chauffage est 40% moins important. En effet, si on reprend par exemple le cas avec 1 PAC pour un Bbio règlementaire le Cep est de 72.5 pour un Cep chauffage de 33.0 alors qu'en PAC gaz, ils sont de 70.8 et 33.1.

Par manque de performance, cette solution est peu pertinente puisqu'elle n'engendre qu'un très faible gain de Cep. Il est même plus difficile d'être au niveau règlementaire.

4. Chaudières collectives gaz à condensation + PAC gaz à absorption en appoint chauffage + ECS solaire thermique

Tableau 55 : Résultats de la solution 4 pour différents niveaux de Bbio.

Niveau du taux d'EnR	Solutions	Niveau Bbio règlementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.00	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Sans EnR 0%	73.10	75,6	-3,42%	72,7	0,55%	68,8	5,88%	58,9	19,02%
	Cep Chauffage	36.1		33.3	7.75 %	29.5	18.28 %	20.1	44.32
	Cep ECS	26.6		26.6		26.6		26.7	
Avec EnR 44% pour le solaire thermique et 2 PAC gaz à absorption	73.10	60,0	17,92%	57,7	21,07%	54,5	25,44%	47,2	35,43%
	Cep Chauffage	28,4	21,33%	26,1	21,62%	23,1	21,69%	16	20,40%
	Cep ECS	18,7	29,70%	18,7	29,70%	18,7	29,70%	18,8	29,59%
Gain de Cep sur le Cep chauffage + ECS		24,88%		25,21%		25,49%		25,64%	
Gain de Cep sur le Cep total		20,63%		20,77%		20,78%		20,37%	
Ajout d'une récupération collective sur les eaux grises	73.10	55,7	23,80%	53,4	26,95%	50,2	31,33%	42,9	41,31%
	Cep Chauffage	28,4	21,33%	26,1	21,62%	23,1	21,69%	16	20,40%
	Cep ECS	14,4	45,86%	14,4	45,86%	14,4	45,86%	14,5	45,69%
Gain de Cep sur le Cep chauffage + ECS		31,74%		32,39%		33,16%		34,83%	
Gain de Cep sur le Cep total		26,32%		26,69%		27,03%		27,67%	

En associant les deux systèmes, les gains se cumulent, et on obtient des gains de Cep au niveau du Cep chauffage + Cep ECS proches des 25 % et de 20 % au niveau du Cep total. C'est un gain considérable.

De plus, en leur associant une récupération collective de chaleur sur les eaux grises en appoint eau froide du ballon d'ECS primaire, le gain de Cep au niveau du Cep chauffage + Cep ECS franchit le cap des 30% pour osciller entre 31 et 34%. En ce qui concerne le Cep total, ce gain est d'environ 26%.

Cependant, à l'heure actuelle, les gains d'énergie de récupération ne sont pas pris en compte dans les taux d'EnR que ce soit pour les subventions, ou, pour l'EnR imposée en maison individuelle (récupération sur eaux grises ou double flux). Il est à noter que des pourparlers sont en cours entre le gouvernement et les fabricants de ces systèmes pour les intégrer en tant qu'EnR dans les calculs règlementaires.

Pour finir, si on y ajoute les améliorations évoquées au § III.A.2 il est possible de gagner 10% de plus sur le Cep total, soit pour un Bbio règlementaire, un Cep d'environ 33 %.

5. Chaudières collectives gaz à condensation + PAC électrique en appoint ECS

Trois solutions seront étudiées, des solutions avec 1, 2 ou 3 PAC électriques en appoint des chaudières gaz. Elles disposent unitairement d'une puissance calorifique proche des 15 [kW]. Elles fonctionnent la nuit pour profiter de la tarification heure creuse et fournissent de l'ECS semi-accumulée ou totalement accumulée. Pour ces deux cas, les taux d'EnR seront calculés.

Tableau 56 : Résultats de la solution 5 pour différents niveaux de Bbio.

Niveau du taux d'EnR	Solutions	Niveau Bbio règlementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.00	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Sans EnR 0%	73.10	75,6	-3,42%	72,7	0,55%	68,8	5,88%	59,2	19,02%
	Cep Chauffage	36.1		33.3	7.75 %	29.5	18.28 %	20.1	44.32
	Cep ECS	26.6		26.6		26.6		26.7	
Avec 1 PAC	73.10	70,4	3,69%	67,6	7,52%	63,6	13,00%	54,0	26,13%
	Cep Chauffage	36,1	0,00%	33,3	0,00%	29,4	0,34%	20,0	0,50%
	Cep ECS	21,5	19,17%	21,5	19,17%	21,5	19,17%	21,6	19,10%
Avec 2 PAC	73.10	69,9	4,38%	66,7	8,76%	62,8	14,09%	53,2	27,22%
	Cep Chauffage	36,2	-0,28%	33,3	0,00%	29,5	0,00%	20,1	0,00%
	Cep ECS	20,6	22,56%	20,6	22,56%	20,6	22,56%	20,6	22,85%
Avec 3 PAC	73.10	70,5	3,56%	67,6	7,52%	63,7	12,86%	54,1	25,99%

	Cep Chauffage	36,2	-0,28%	33,4	-0,30%	29,5	0,00%	20,1	0,00%
	Cep ECS	21,4	19,55%	21,4	19,55%	21,4	19,55%	21,5	19,48%
Gain de Cep sur le Cep chauffage + ECS avec 2PAC		9,41%		10,02%		10,70%		13,03%	
Gain de Cep sur le Cep total avec 2PAC		7,80%		8,25%		8,72%		10,30%	
Ajout d'une récupération collective sur les eaux grises sur la solution 2 PAC	73.10	65,6	10,26%	62,4	14,64%	58,5	19,97%	48,9	33,11%
	Cep Chauffage	36,2	-0,28%	33,3	0,00%	29,5	0,00%	20,1	0,00%
	Cep ECS	16,3	38,72%	16,3	38,72%	16,3	38,72%	16,3	38,95%
Gain de Cep sur le Cep chauffage + ECS		16,27%		17,20%		18,36%		22,22%	
Gain de Cep sur le Cep total		13,49%		14,17%		14,97%		17,57%	

Il est à noter, pour chacun des niveaux de Bbio, que les Cep ECS des trois solutions sont sensiblement proches. Il n'y a ainsi que peu d'intérêt à placer 3 machines. En revanche, les taux d'EnR présents dans le tableau 57, ci-dessous, sont réellement différents de 30, 48 et 55 % pour respectivement 1, 2 et 3 machines. Les CEP ECS sont proches car leurs répartitions gaz/électrique sont différentes. En effet, avec 1 PAC, le CEP électrique est de 4.3 et le gaz de 10.6, soit un Cep primaire de $4.3 \cdot 2.58 + 10.6 = 21.6$. Avec deux PAC on a $6.4 \cdot 2.58 + 4.2 = 20.6$ et avec trois PAC $7.6 \cdot 2.58 + 1.9 = 21.5$.

Comme on raisonne en énergie primaire, valoriser plusieurs PAC n'a aucun sens alors qu'en énergie finale, les Cep sont de 14.9, 10.6 et 9.5 pour respectivement, 1, 2 et 3 PAC.

Le seul intérêt qu'il y a d'augmenter le nombre de machines est uniquement pour obtenir des forts taux d'EnR.

Tableau 57 : Valeurs des taux d'EnR pour la solution 5 pour différents nombres de PAC.

Taux d'EnR	Bbio RT	Bbio -10%	Bbio -20%	Bâti max
1PAC	31 %	31 %	31 %	30 %
2PAC	48 %	48 %	48 %	48 %
3PAC	55 %	55 %	55 %	55 %

Nota : Pour calculer les taux d'EnR, il faut recourir à une autre méthode que celles évoquées précédemment.

Il faut reprendre le fichier météo de la RT2012 en zone H1a (zone du projet) et calculer les températures mensuelles moyennes pondérées des consommations mensuelles. Grâce à cela, il est possible de déterminer la température moyenne de fonctionnement de (s) PAC (Cf. TAB.58). Elle est sur ce projet de 11.19°C.

Grâce aux matrices de la RT2012 déterminant les COP en fonction des valeurs pivots, il n'y a plus qu'à aller chercher la valeur du COP saisonnier pour une température extérieure de 11.19°C et pour une température aval de 55°C (Cf. TAB.59). Ici le COP saisonnier est d'au moins 2.52 puisqu'il a été pris à +7°C et non pas 11.19°C.

Grâce aux Cep finaux électriques (puissance électrique absorbée par le compresseur) et gaz du poste ECS ainsi que grâce au COP saisonnier on peut remonter au taux d'EnR.

Tableau 58 : Valeurs des températures mensuelles pondérées des ratios de consommations mensuelles.

Mois	Température moyenne [°C]	Cep mensuel ECS	Part de la consommation annuelle [%]	Température moyenne Pondérée [°C]
Janvier	5,64	2,3	11%	0,62
Février	7,13	2,0	10%	0,69
Mars	8,04	2,1	10%	0,81
Avril	11,07	1,7	8%	0,91
Mai	14,36	1,7	8%	1,17
Juin	18,10	1,5	7%	1,31
Juillet	19,51	1,4	7%	1,31
Août	19,81	1,1	5%	1,05
Septembre	15,62	1,5	7%	1,13
Octobre	11,91	1,7	8%	0,97
Novembre	7,97	1,9	9%	0,73
Décembre	5,47	1,9	9%	0,50
Bilan annuel	11,19	20,8	100%	11,19

Tableau 59 : Matrices des COP issues des TH-BCE-2012 en fonction de la valeur pivot à +7 [°C]/55 [°C].

PAC ECS air/eau		T aval [°C]						
Valeur pivot en rouge		5	15	25	35	45	55	65
T amont [°C]	-7	2,89	2,57	2,25	1,93	1,61	1,28	0,96
	2	4,62	4,11	3,60	3,08	2,57	2,05	1,54
	7	5,78	5,14	4,49	4,10	3,21	2,52	1,93
	20	7,22	6,42	5,62	4,82	4,01	3,21	2,41
	35	8,67	7,70	6,74	5,78	4,82	3,85	2,89

Peu importe le taux d'EnR demandé, cette solution apporte un gain de Cep entre 8 et 10% du Cep total. Elle peut être associée à une récupération collective sur les eaux grises ce qui peut permettre de faire passer ce gain de 8/10% à 13/17%. De plus, si on y ajoute les améliorations évoquées au § III.A.2 il est possible de gagner 10% de plus sur le Cep total, soit pour un Bbio réglementaire, un gain de Cep 24 %.

C'est une bonne solution pour le respect de l'EnR, en règle générale cette solution est moins onéreuse que des solutions solaires thermiques.

6. Chaudières individuelles gaz à condensation

Tableau 60 : Résultats de la solution 6 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%		
	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	
Bbio max	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %	
Cep max	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	
	73.10	68.9	5.75 %	65.9	9.85 %	62.0	15.18 %	51.7	29.27 %
Cep Chauffage	37.8		34.8	7.93 %	31.0	17.98 %	20.8	44.97 %	
Cep ECS	21.7		21.7		21.7		21.8		

En intégrant une ventilation double flux sur le niveau réglementaire le Cep passe de 68.9 à 76.2, soit une perte de 7.3 points de Cep. Cette mauvaise performance est due à l'augmentation des

consommations des ventilateurs qui augmentent de 11.8 points en énergie primaire, alors que le Cep chauffage lui, ne baisse que de 4.5 points. Si on raisonne en énergie finale, $11.8/2.58=4.57$. Ainsi en énergie finale le double flux est équivalent à la ventilation simple flux hygroréglable de type B qui est la norme aujourd'hui.

Tableau 61 : Valeurs des coefficients Cep en fonction des différents régimes de températures.

Valeurs des coefficients Cep pour un niveau de Bbio réglementaire		Régulation de la température		Gain de Cep	Gain en [%]
		À température de départ constante	En fonction de la température extérieure		
Régime de température	60/45	68.9	66.8	2.1	3.05 %
	55/40	68.3	66.7	1.6	2.34 %
Gain de Cep		0.6	0.1	2.2	3.19 %
Gain en [%]		0.87	0.15		

Tableau 62 : Valeurs des coefficients Cep chauffage en fonction des différents régimes de températures.

Valeurs des coefficients Cep chauffage pour un niveau de Bbio réglementaire		Régulation de la température		Gain de Cep	Gain en [%]
		À température de départ constante	En fonction de la température extérieure		
Régime de température	60/45	37,8	35,3	2,5	6,61%
	55/40	37,2	35,2	2,0	5,38%
Gain de Cep		0.6	0.1	2,6	6,88%
Gain en [%]		1,59%	0,28%		

En optimisant la régulation des chaudières ainsi que les régimes de températures, on gagne plus de points sur le Cep chauffage que le Cep total. Cet écart provient du fait qu'avec des régulations en fonction de la température extérieure, les consommations des auxiliaires de distribution (pompes) sont un peu plus importantes.

Tableau 63 : Résultats de la solution 6 pour différentes améliorations et pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max								
72.00	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
Cep max								
73.10	68.9	5.75 %	65.9	9.85 %	62.0	15.18 %	51.7	29.27 %
Amélioration n°1 : Régime radiateur 60/45 à 55/40 et régulation de température constante à température extérieure	66,7	8,76%	63,8	12,72%	59,8	18,19%	50,2	31,33%
Gain de Cep par rapport au tableau 62	2,2		2,1		2,2		1,5	
Amélioration n°2 : Variation temporelle des têtes thermostatiques de 0.56 à 0.21°C	65	11,08%	62,2	14,91%	58,4	20,11%	49,2	32,69%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 1	1,7		1,6		1,4		1,0	
Amélioration n°3 : Amélioration de l'étanchéité des réseaux aérauliques de par défaut à classe A	63,8	12,72%	61	16,55%	57,3	21,61%	48,1	34,20%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 2	1,2		1,2		1,1		1,1	
Amélioration n°4 : Amélioration de l'étanchéité des réseaux aérauliques de classe A à B	63,3	13,41%	60,5	17,24%	56,8	22,30%	47,5	35,02%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 3	0,5		0,5		0,5		0,6	
Amélioration n°5 : Amélioration de l'étanchéité des réseaux aérauliques de classe B à C	63,2	13,54%	60,4	17,37%	56,6	22,57%	47,4	35,16%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 4	0,1		0,1		0,2		0,1	
Amélioration n°6 : Passage à des extracteurs très basse consommation (13.7 à 7.0 W/Lgts)	60,9	16,69%	58,2	20,38%	54,4	25,58%	45,1	38,30%

Gain de Cep par rapport à l'amélioration 5	2,3		2,2		2,2		2,3	
Amélioration n°7 : Automatisation de la fermeture des occultations de manière crépusculaire	59,2	19,02%	56,5	22,71%	52,6	28,04%	43,8	40,08%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 6	1,7		1,7		1,8		1,3	
Amélioration n°8 : Diminution de la perméabilité à l'air du bâtiment de 1.0 à 0.5	58,7	19,70%	56	23,39%	52,1	28,73%	43,3	40,77%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 7	0,5		0,5		0,5		0,5	
Amélioration n°9 : Emetteurs radiateurs à plancher chauffant	62,7	14,23%	59,2	19,02%	54,9	24,90%	45,2	38,17%
Perte de Cep par rapport à l'amélioration 8	-4,0		-3,2		-2,8		-1,9	

En appliquant une partie ou la totalité des améliorations 1 à 7, il est possible de gagner jusqu'à environ 12% de Cep.

Tableau 64 : Valeurs des taux de fuite en fonction de la classe d'étanchéité des réseaux aérauliques.

Classe d'étanchéité du réseau	Coefficient d'étanchéité Kres [m ³ .s ⁻¹ .m ⁻²] sous 1 Pa	Taux des débits de fuite
Par défaut	0.0675.10 ⁻³	15.0 %
A	0.0270.10 ⁻³	6.0 %
B	0.0090.10 ⁻³	2.0 %
C	0.0030.10 ⁻³	0.7 %

7. Chaudières individuelles gaz à micro-cogénération

Tableau 65 : Résultats de la solution 7 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.00	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Chaudières individuelles gaz à micro-accumulation	73.10	66,7	8,76%	63,8	12,72%	59,8	18,19%	50,2	31,33%
	Cep Chauffage	35.2		32.3	8.23 %	28.5	19.03 %	19.1	45.73 %
	Cep ECS	21.7		21.7		21.7		21.8	
Micro cogénération	Cep	57,9	20,79%	56,2	23,12%	53,8	26,40%	47,3	35,29%
	Cep corrigée Prod. électrique max à 12 Cep	59,6	18,47%	56,3	22,98%	53,8	26,40%	47,3	35,29%
	Cep Chauffage	39,7	-12,78%	36,5	-13,00%	32,2	-12,98%	21,7	-13,61%
	Cep ECS	22,2	-2,30%	22,2	-2,30%	22,2	-2,30%	22,3	-2,29%
	Production électrique	-13,7		-12,1		-10,2		-6,0	
	Gain Cep	7,1		7,5		6		2,9	
	Cep projet avec production électrique en énergie finale	67,9		63,7		60,0		50,9	

La RT2012 limite la production électrique à demeure à 12 points de Cep. Ainsi, si l'on dépasse ce quota, la production supplémentaire ne sera pas prise en compte sur l'établissement du Cep réglementaire.

Cette solution est pertinente pour des niveaux de bâti qui sont plutôt proche du Bbio réglementaire. En effet, le principe de cette chaudière est de produire en même temps qu'elle produit de l'électricité de la chaleur pour le chauffage et l'ECS. Ainsi, plus la chaudière est sollicitée plus elle produira de l'électricité. Sachant que l'électricité est comptée en énergie primaire, la production électrique est valorisée 2.58 fois plus. De plus, les Cep chauffage et ECS étant nettement moins bons qu'en solution chaudière individuelle gaz à micro-accumulation, seule la production électrique permet de mieux valoriser ce système.

En effet, si l'on devait compter la production électrique en énergie finale, la solution chaudière individuelle gaz à micro cogénération consommerait réglementairement plus qu'une chaudière individuelle gaz à micro-accumulation. L'intérêt réglementaire est donc limité, de plus, le coût d'investissement est plus de 10 fois supérieur à celui d'une simple chaudière individuelle. En revanche, l'intérêt se trouve dans le fait de faire de l'électricité avec d'excellents rendements.

8. Chauffage assuré par des chaudières individuelles gaz à condensation et ECS thermodynamique individuelle sur l'air repris

Tableau 66 : Résultats de la solution 8 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.00	69.9	2,92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Chaudières individuelles gaz à micro-accumulation	73.10	66,7	8,76%	63,8	12,72%	59,8	18,19%	50,2	31,33%
	Cep Chauffage	35,2		32,3	8,24 %	28,5	19,03 %	19,1	45,74 %
	Cep ECS	21,7		21,7		21,7		21,8	
Biénergie Chaudière individuelle gaz + Ballons thermodynamiques sur l'air repris	Cep	70,2	3,97%	67,4	7,80%	63,5	13,13%	54,0	26,13%
	Cep Chauffage	32,0	9,09%	29,2	9,60%	25,5	10,53%	16,3	14,66%
	Cep ECS	28,5	-31,34%	28,5	-31,34%	28,4	-30,88%	28,3	-29,82%
	Gain Cep	-3,5		-3,6		-3,7		-3,8	

Pour le calcul du taux d'EnR, la température amont de fonctionnement des ballons thermodynamiques est d'au moins de 19 [°C], soit la consigne de chauffage. Hors le COP saisonnier à +15[°C]/55[°C] est de 2.20. Ainsi le COP saisonnier à +19[°C]/55[°C] sera forcément meilleur.

Tableau 67 : Matrices des COP issues des TH-BCE-2012 en fonction de la valeur pivot à +20 [°C]/45 [°C].

PAC ECS air extrait/eau		T amont [°C]					
Valeur pivot en rouge		5	10	15	20	25	30
T aval [°C]	5	3,86	4,41	4,96	5,51	6,06	6,61
	15	3,43	3,92	4,41	4,90	5,39	5,88
	25	3,00	3,43	3,86	4,28	4,71	5,14
	35	2,57	2,94	3,30	3,67	4,04	4,41
	45	2,14	2,45	2,75	3,06	3,37	3,67
	55	1,71	1,96	2,20	2,45	2,69	2,94
	65	1,29	1,47	1,65	1,84	2,02	2,20

Ainsi, suivant la même méthode qu'au § II.A.5 et sachant que règlementairement, le ballon thermodynamique n'a pas besoin de sa résistance de secours, le taux de couverture des besoins assurés par une EnR est d'au moins de $[1-(11/(11*2.2))] = 54\%$.

En ce qui concerne les résultats, cette solution est nettement moins bien valorisée qu'une solution chaudière individuelle gaz à condensation (écart de 3.5 points de Cep). Les seuls intérêts de cette solution sont d'apporter en logement collectif des solutions individuelles de chauffage et d'ECS tout en apportant un taux d'EnR. Cette solution est valorisée en règle générale uniquement par des bailleurs.

9. Chauffage par effet Joule et ECS individuelle thermodynamique sur l'air repris

Tableau 68 : Résultats de la solution 9 pour le niveau Bbio -45%.

Solutions/améliorations	Solutions bâti	Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]
	72.00	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Chauffage par effet Joule + ECS thermodynamique sur l'air repris	73.10	73.1	0.00%
	Cep Chauffage	35.5	45.74 %
	Cep ECS	28.6	
Amélioration n°1 : Optimisation des températures des réseaux ECS de 49°C à 45°C		73,1	0,00%
Gain de Cep par rapport à l'état initial		0,0	
Amélioration n°2 : Passer des émetteurs ECS de type baignoire à douche		72,6	0,68%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 1		0,5	
Amélioration n°3 : Amélioration l'étanchéité des réseaux aérauliques de par défaut à classe A		69,5	4,92%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 2		3,1	
Amélioration n°4 : Amélioration l'étanchéité des réseaux aérauliques de classe A à classe B		68,2	6,70%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 3		1,3	
Amélioration n°5 : Amélioration l'étanchéité des réseaux aérauliques de classe B à classe C		67,7	7,39%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 3		0,5	
Amélioration n°6 : Passage à des extracteurs très basse consommation (13.7 à 9.0 W/Lgts)		66,3	9,30%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 5		1,4	
Amélioration n°7 : Automatisation de la fermeture des occultations de manière crépusculaire		63,2	13,54%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 6		3,1	
Amélioration n°8 : Diminution de la perméabilité à l'air du bâtiment de 1.0 à 0.5		61,9	15,32%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 7		1,3	
Amélioration n°9 : Changement des émetteurs de panneaux rayonnants à un plancher chauffant		65,3	10,67%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 8		-3,4	

Avec cette solution il est ainsi possible de gagner jusqu'à 15% de gain de plus sur le Cep. Cela signifiera qu'en 2018, quand le Cep max sera diminué de 13%, cette solution pourra toujours être réglementaire.

Aussi, le taux des besoins assurés par une EnR est identique à celui du § II.A.8, soit 55%.

10. Chauffage par effet Joule et ECS collective thermodynamique à appoint électrique

Tableau 69 : Résultats de la solution 10 pour le niveau Bbio -45%.

Solutions/améliorations	Solutions bâti	Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]
	72.00	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Chauffage par effet Joule + ECS thermodynamique sur l'air repris	73.10	73.1	0.00%
	Cep Chauffage	35.5	45.74 %
	Cep ECS	28.6	
Avec 4 PAC	73.10	72,7	0,55%
	Cep Chauffage	41,5	-16,90%
	Cep ECS	19,9	30,42%
Gain de Cep sur le Cep chauffage + ECS		2,7	
Gain de Cep sur le Cep total		0,4	
Ajout d'une récupération collective sur les eaux grises	73.10	67,9	7,11%
	Cep Chauffage	41,5	-16,90%
	Cep ECS	15,1	47,20%
Gain de Cep sur le Cep chauffage + ECS		7,5	
Gain de Cep sur le Cep total		5,2	

Contrairement à la solution 5 du § II.A.5, où l'énergie d'appoint était une chaudière collective gaz, ici avec un appoint électrique pour la production d'ECS, les PAC doivent être dimensionnées pour assurer l'intégralité des besoins. Ainsi, dans cette solution 4 PAC seront nécessaires pour produire l'ECS avec un stockage de 8000L.

On peut voir dans le tableau 69 que les résultats des solutions 9 et 10 sont très proches. Le Cep ECS de la solution 10 est nettement meilleur que celui de la 9. En revanche pour le chauffage, c'est l'inverse. Cela s'explique simplement, dans la solution 9, les pertes d'énergie liées au stockage de l'ECS dans les ballons thermodynamiques sont dissipées dans le volume chauffé, ainsi elles viennent en déduction du chauffage alors que pour la solution 10, ces pertes sont définitivement perdues.

Enfin, il est possible de creuser l'écart en ajoutant une récupération collective de la chaleur des eaux grises en appoint des ballons de stockage d'ECS. Cela engendre un gain de Cep ECS de 4.8 points, ce qui représente un gain de Cep total de l'ordre de 7%. Cela en sachant qu'il est possible de trouver 10%/15% de gain supplémentaire en ajoutant les améliorations possibles du tableau 68.

11. Chauffage par effet Joule et ECS collective thermodynamique à appoint gaz

Tableau 70 : Résultats de la solution 11 pour le niveau Bbio -45%.

Solutions/améliorations	Solutions bâti		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	
	72.00	39.6	45.00 %	
	Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	
Chauffage par effet Joule + ECS thermodynamique sur l'air repris	73.10	73.1	0.00%	
	Cep Chauffage	35.5	45.74 %	
	Cep ECS	28.6		
Avec 1 PAC	73.10	74,2	-1,50%	
	Cep Chauffage	41,5	-16,90%	
	Cep ECS	21,3	25,52%	
Avec 2 PAC	73.10	73,2	-0,14%	
	Cep Chauffage	41,5	-16,90%	
	Cep ECS	20,4	28,67%	
Avec 3 PAC	73.10	74,1	-1,37%	
	Cep Chauffage	41,5	-16,90%	
	Cep ECS	21,2	25,87%	
Gain de Cep sur le Cep chauffage + ECS sur la solution 2 PAC		2,2		
Gain de Cep sur le Cep total sur la solution 2 PAC		-0,1		
Ajout d'une récupération collective sur les eaux grises	73.10	68,4	6,43%	
	Cep Chauffage	41,5	-16,90%	
	Cep ECS	15,6	45,45%	
Gain de Cep sur le Cep chauffage + ECS sur la solution 2 PAC		7,0		
Gain de Cep sur le Cep total sur la solution 2 PAC		4,7		

Tout comme pour la solution 5 du § II.A.5, pour ce bâtiment, les meilleurs résultats sont obtenus avec 2 PAC. Cependant cette solution est moins performante que les solutions 9 et 10, même s'il faut relativiser car l'écart est faible. La chaudière pénalise un peu le Cep ECS probablement à cause d'un faible fonctionnement (les départs/arrêts doivent être fréquents) et ils ne doivent pas favoriser la condensation. Cette solution pour un nombre important de logements est appréciée des bailleurs sociaux puisque qu'avec une petite chaudière gaz et dans ce cas avec environ 3 PAC de moins, on obtient le même résultat. De plus, même si les PAC tombent en panne ou sont en maintenance, l'ECS sera assurée plus rapidement par des chaudières que par les résistances électriques d'appoint. Enfin, le dernier argument vient de la tarification de l'électricité. En effet, l'abonnement gaz ne dépend pas de la puissance nominale alors qu'en électricité, le tarif de l'abonnement peut vite être très important en tout électrique (PAC + appoint).

12. Chaudières collectives bois

Tableau 71 : Résultats de la solution 12 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
Bbio max	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
72.0	89.3	1.22 %	85.7	5.20 %	80.9	10.51 %	69.0	23.67 %
Cep Chauffage	46.1		42.6	7.59 %	37.8	18.00 %	26.0	43.60 %
Cep ECS	30.3		30.3		30.4		30.5	
Gain de Cep avec la récupération sur les eaux-grises	4.6		4.6		4.6		4.6	
Cep	84.7	6.31 %	81.1	10.29 %	76.3	15.6 %	64.4	28.76 %

Il est à noter que, dès qu'au moins la moitié des besoins sont assurés par une énergie bois, le droit à consommer Cep max est beaucoup plus important. Ici le Cep max passe de 73.1 à 90.4, soit un droit à consommer de 25% supplémentaire. Cela est dû au coefficient M_{CGES} utilisé dans le calcul du Cep max (Cf. formule 1 ci-dessous).

Formule 1 : formule du Cep max.

$$Cep_{max} = 57.5 \times M_{ctype} \times (M_{cgéo} + M_{calt} + M_{c surf} + M_{CGES})$$

Avec M_{ctype} , coefficient de modulation selon le type de bâtiment et sa catégorie CE1/CE2. $M_{cgéo}$, coefficient de modulation selon la zone géographique. M_{calt} , en fonction de l'altitude. $M_{c surf}$ en fonction de la surface moyenne des logements. Et enfin, M_{CGES} est le coefficient de modulation selon les émissions de gaz à effet de serre GES des énergies utilisées. Pour l'énergie bois, ce coefficient est de 0.3, pour les autres énergies hors réseaux de chaleur, ce coefficient est de 0.

On peut également noter que, ce droit à consommer est en fait justifié par les mauvais rendements de combustion d'une chaudière bois, en comparaison à une chaudière à condensation, puisqu'avec un Cep max augmenté de 25% le Cep est tout juste réglementaire. En ce qui concerne le gain vis-à-vis du Cep max, cette solution dispose d'un gain de 1.22% là où la solution chaudière collective gaz est à -4.92 %.

Cependant, cette solution entraîne sur le papier un taux d'EnR de 100% si le bois brûlé est issu de forêts « gérées ».

Il est possible de gagner environ 5/6 % de gain de plus sur le Cep en ajoutant une récupération collective de chaleur sur les eaux grises en appoint du stockage collectif d'ECS. Cependant, même si le gain de ce système est le même qu'avec les autres solutions, il se trouve dilué en terme de gain puisque le Cep est beaucoup plus important.

13. Chaudières collectives bois + ECS solaire thermique

Pour cette variante, le même dimensionnement que pour la solution 2 du § II.A.2 est utilisé.

Tableau 72 : Résultats de la solution 13 pour différents niveaux de Bbio.

Niveau du taux de couverture du solaire thermique	Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.0	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Sans solaire thermique	90.4	89.3	1.22 %	85.7	5.20 %	80.9	10.51 %	69.0	23.67 %
	Cep Chauffage	46.1		42.6	7.59 %	37.8	18.00 %	26.0	43.60 %
	Cep ECS	30.3		30.3		30.4		30.5	
Avec une couverture de 30%	90.4	84.0	7,08%	80,4	11,06%	75,6	16,37%	63,7	29,54%
	Cep Chauffage	46,1		42,6		37,8		26,0	
	Cep ECS	25,0	17,49%	25,0	17,49%	25,1	17,43%	25,2	17,38%
Avec une couverture de 44%	90.4	80,7	10,73%	77,2	14,60%	72,3	20,02%	60,4	33,19%
	Cep Chauffage	46,1		42,6		37,8		26,0	
	Cep ECS	21,7	28,38%	21,7	28,38%	21,8	28,29%	21,9	28,20%
Gain de Cep avec la récupération sur les eaux-grises		4,6		4,6		4,6		4,6	
Cep		76,1	15,82%	72,6	19,69%	67,7	25,11%	55,8	38,27%

L'ajout du solaire thermique entraîne un gain de Cep de 6 à 9% suivant son dimensionnement. Ce gain peut aller jusqu'à 14 % en lui associant une récupération collective de chaleur sur les eaux grises en fournissant un appoint de chaleur au stockage d'ECS primaire.

14. Réseau de chaleur

Tout comme les solutions 12 et 13, les réseaux de chaleur peuvent avoir un « droit à consommer » supérieur en fonction du poids Carbonne du kilowattheure d'énergie (Cf. TAB. 73).

Tableau 73 : Valeurs du coefficient $M_{c,GES}$ en fonction du poids carbone du kilowattheure.

Contenu CO ² des réseaux de chaleur en [g.kWh ⁻¹]				
	Contenu CO ² ≤ 50	50 ≤ Contenu CO ² ≤ 100	100 ≤ Contenu CO ² ≤ 150	Contenu CO ² ≥ 150
$M_{c,GES}$	0.3	0.2	0.1	0.0

Tableau 74 : Résultats de la solution 14 pour différents niveaux de Bbio pour un coefficient $M_{cGES}=0.0$.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
Bbio max	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
73.1	78.3	-7.11 %	75.2	-2.87 %	70.9	3.01 %	60.4	17.37 %
Cep Chauffage	38,4		35.3	8.07 %	31.2	18.75 %	20.9	45.57 %
Cep ECS	27,0		27.0		27.0		27.0	
Gain de Cep avec la récupération sur les eaux-grises	4,0		4.0		4.0		4.0	
Cep	74.3	-1.64 %	71.2	2.60 %	66.9	8.48 %	56.4	22.85 %

Tableau 75 : Résultats de la solution 14 pour différents niveaux de Bbio et pour différentes valeurs de M_{cGES} .

M_{cGES}	Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.00	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
0.0	73.1	78.3	-7.11 %	75.2	-2.87 %	70.9	3.01 %	60.4	17.37 %
0.1	78,3	78,3	0,00%	75,2	3,96%	70,9	9,45%	60,4	22,86%
0.2	84.6	78,3	7,45%	75,2	11,11%	70,9	16,19%	60,4	28,61%
0.3	90.4	78,3	13,38%	75,2	16,81%	70,9	21,57%	60,4	33,19%

On peut voir que suivant le poids carbone du kilowattheure, le Cep ne varie pas, seul, le Cep max évolue. Ce droit à consommer supplémentaire est de 7, 15 et 23% pour respectivement des coefficients M_{cGES} de 0.1, 0.2 et 0.3. Pour information, les réseaux de chaleurs actuels entraînent des coefficients M_{cGES} de 0.0, et 0.1. En revanche, les nouveaux réseaux émettant moins de GES, les coefficients M_{cGES} se situent entre 0.1 et 0.3. L'inconvénient d'un réseau peu émetteur de GES est que les promoteurs vont en profiter pour faire des économies sur l'enveloppe, ce qui entraînera une augmentation de consommation des bâtiments neufs jusqu'à 23% en comparaison à d'autres énergie.

15. Réseau de chaleur + ECS solaire thermique

Pour cette variante, le même dimensionnement que pour la solution 2 du § II.A.2 est utilisé.

Tableau 76 : Résultats de la solution 15 pour différents niveaux de Bbio.

Niveau du taux de couverture du solaire thermique	Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.0	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
Sans solaire thermique	73.1	78,3	-7,11%	75,2	-2,87%	70,9	3,01%	60,4	17,37%
	Cep Chauffage	38,4		35,3		31,2		20,9	
	Cep ECS	27,0		27,0		27,0		27,0	
Avec une couverture de 30%	73.1	73,5	-0,55%	70,4	3,69%	66,1	9,58%	55,6	23,94%
	Cep Chauffage	38,4		35,3		31,2		20,9	
	Cep ECS	22,2	17,78%	22,2	17,78%	22,2	17,78%	22,2	17,78%
Avec une couverture de 44%	73.1	70,6	3,42%	67,4	7,80%	63,1	13,68%	52,6	28,04%
	Cep Chauffage	38,4		35,3		31,2		20,9	
	Cep ECS	19,3	28,52%	19,3	28,52%	19,3	28,52%	19,3	28,52%
Gain de Cep avec la récupération sur les eaux-grises		4,0		4,0		4,0		4,0	
Cep		66,6	8,89%	63,4	13,27%	59,1	19,15%	48,6	33,52

Tableau 77 : Résultats de la solution 15 pour différents niveaux de Bbio et pour différentes valeurs de M_{cGES}.

M _{cGES}	Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio max	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
	72.00	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
	Cep max	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
0.0	73.1	70,6	3,42%	67,4	7,80%	63,1	13,68%	52,6	28,04%
0.1	78,3	70,6	9,83%	67,4	13,92%	63,1	19,41%	52,6	32,82%
0.2	84,6	70,6	16,55%	67,4	20,33%	63,1	25,41%	52,6	37,83%
0.3	90,4	70,6	21,90%	67,4	25,44%	63,1	30,20%	52,6	41,81%

Ainsi, la production solaire thermique permet aux solutions Bbio réglementaires et Bbio-10% d'être réglementaires pour toutes valeurs de M_{cGES}. Le solaire entraîne des gains d'environ 10% sur le Cep. Avec un réseau de chaleur justifiant d'un M_{cGES} de 0.3 sur un bâti réglementaire, il est possible d'obtenir plus de 25% de gain sur le Cep avec l'association de solaire thermique et de récupération de chaleur sur les eaux grises. Cela peut permettre de « perdre » jusqu'à 24 points de Cep sur les autres leviers, bâti, ventilation, éclairage et auxiliaires. Il est à noter qu'il

n'est pas possible de réduire de manière significative le niveau du bâti sur le niveau Bbio réglementaire, puisque celui-ci dispose que d'un léger gain.

16. Géothermie

Pour cette variante, la puissance nécessaire pour le chauffage et l'ECS est d'environ 450 [kW], il faut compter, par exemple, pour un captage horizontal à une profondeur de 2m environ 7000m linéaire de sonde.

Tableau 78 : Résultats de la solution 16 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]	Bbio	Gain [%]
Bbio max	69.9	2.92 %	64.70	10.14 %	57.5	20.14 %	39.6	45.00 %
Cep max	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]	Cep [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Gain [%]
72.00	61,2	16,28%	59,3	18,88%	57,3	21,61%	51,7	29,27%
Cep Chauffage	23,2		21,7	6,47%	19,5	15,95%	14,1	39,22%
Cep ECS	25,1		25,1		25,1		25,1	
Gain de Cep avec la récupération sur les eaux-grises	4,5		4,5		4,5		4,5	
Cep	56,7	22,44%	54,8	25,03%	52,8	27,77%	47,2	35,43%

Avec cette solution on obtient des gains de consommation très intéressants pour des niveaux de Bbio réglementaires et des Bbio-10%. En effet, il y a un écart de 15% entre le gain du Bbio et le gain du Cep sur le niveau Bbio réglementaire. C'est l'un des gains les plus importants de ce comparatif avec les solutions chaudières individuelles à micro-cogénération et les solutions chaudières + PAC gaz + solaire thermique. Cependant, pour des niveaux de Bbio plus importants, le gain sur le Cep n'est pas plus important que pour d'autres solutions beaucoup moins onéreuses, comme les solutions chaudières individuelles gaz ou collective avec solaire thermique.

Enfin, les simulations ont été effectuées avec des radiateurs moyenne température ce qui ne favorise pas nécessairement le COP. Cependant, même si en intégrant un plancher chauffant on diminue le Cep chauffage, on augmente la consommation des circulateurs puisque la différence de température au niveau d'un radiateur passe de 15°C à 5°C sur un plancher chauffant. Et comme la consommation des pompes est de la forme $P=a \times Q^2$, une augmentation du débit de 3 entraîne une augmentation de la consommation de 9. Ainsi, on obtient à peu de choses près le même Cep que l'on soit en émetteur radiateur ou plancher chauffant.

17. Photovoltaïque

Simuler cette variante n'a pas spécialement de sens. En effet, du point de vue du calcul réglementaire, on ne peut déduire que jusqu'à 12 kWhep/m².an d'énergie produite. Cette solution peut s'associer à toutes les solutions évoquées dans ce document.

Elle permet d'économiser sur ce projet jusqu'à 16% de Cep ($12/73.1=16\%$).

Aujourd'hui, le photovoltaïque a le vent en poupe en logements neufs puisqu'il est désormais principalement commercialisé en autoconsommation.

En logement collectif, le champ de capteurs est divisé par le nombre de logements. Chaque logement dispose ainsi de sa propre production qui est raccordée sur le tableau électrique. Comme, il n'y a pas de contrat de rachat d'énergie, il faut dans l'idéal que l'énergie produite soit consommée. C'est pour cela que l'on parle de micro-PV, PV pour photovoltaïque. En effet, chaque logement dispose d'une puissance crête d'environ 500W, ce qui couvre une partie des consommations domestiques, comme par exemple les réfrigérateurs, le chauffage électrique et les ballons thermodynamiques s'il y a.

C'est pour cela que cette solution est principalement proposée sur des bâtiments tout électriques.

Enfin, certains industriels sont en train de réaliser des régulations permettant de faire fonctionner le chauffage et la production d'ECS en même temps que l'énergie est captée. L'idée est d'accumuler l'énergie en chauffage en se servant de l'inertie thermique des bâtiments, et aussi de stocker cette énergie dans les ballons d'ECS en vue d'une utilisation future.

18. Conclusions sur les collectifs

Tableau 79 : Classement des différentes solutions, hors réseau de chaleur par ordre d'efficacité.

Classement des solutions	N° des solutions	Désignations des solutions	Cep réglementaire		Cep-10%		Cep-20%		Cep-30%		Cep-45%	
			Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep
1	4	Chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption + Solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR		
							Bbio-10%	/	Bbio-10%	[+ et DWHR]		
									Bbio-20%	/	Bbio-45%	+ ou DWHR
2	7	Chaudières individuelles à micro-cogénération	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio-10%	++		
							Bbio-10%	/	Bbio-20%	+		
									Bbio-45%	/	Bbio-45%	++
3	22	Géothermie	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR		
							Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]		
							Bbio-20%	/	Bbio-20%	[+ et DWHR]		
									Bbio-45%	+ ou DWHR	Bbio-45%	++ ET DWHR
4	13	Chaudière collective bois + ECS solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	[+ et DWHR]	Bbio-10%	++ ET DWHR		
							Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-20%	[+ et DWHR]		
									Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR
5	2	Chaudières collectives gaz + ECS Solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]		
							Bbio-10%	/	Bbio-20%	+ ou DWHR	Bbio-45%	++ ET DWHR
									Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR
6	6	Chaudières individuelles gaz	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio-10%	++	Bbio-20%	+		
							Bbio-10%	/	Bbio-45%	/		
7	3	Chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]		
							Bbio-10%	/	Bbio-20%	+ ou DWHR	Bbio-45%	++ ET DWHR
									Bbio-45%	/	Bbio-45%	+ ou DWHR
8	5	Chaudières collectives gaz + PAC électrique en appoint ECS	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]		
							Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-20%	+ ou DWHR	Bbio-45%	++ ET DWHR
							Bbio-20%	/	Bbio-45%	+ ou DWHR		
9	8	Chaudières individuelles gaz + ballons thermodynamiques	Bbio RT	/	Bbio RT	++	Bbio-10%	+	Bbio-20%	++		
							Bbio-20%	/	Bbio-45%	/	Bbio-45%	+
10	12	Chaudière collective bois	Bbio RT	/	Bbio RT	[+ et DWHR]	Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-10%	++ ET DWHR		
							Bbio-20%	/	Bbio-20%	[+ et DWHR]		
									Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR]
11	1	Chaudières collectives gaz	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	[+ et DWHR]	Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-20%	++ ET DWHR		
							Bbio-10%	/	Bbio-45%	+ ou DWHR	Bbio-45%	[+ et DWHR]
									Bbio-20%	/		
12	10	Effet Joule + ECS via PAC électrique à appoint électrique	Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR]						
13	11	Effet Joule + ECS via PAC électrique à appoint gaz	Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR]						
14	9	Effet Joule + ballons thermodynamiques	Bbio-45%	/	Bbio-45%	++						

Tableau 80 : Classement des différentes solutions 1 à 16 par ordre d'efficacité.

Classement des solutions	N° des solutions	Désignations des solutions	Cep réglementaire		Cep-10%		Cep-20%		Cep-30%		Cep-45%	
			Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep
1	21	Réseau de chaleur McGES=0,3 + solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	[+ et DWHR]		
									Bbio-10%	+ ou DWHR		
									Bbio-20%	/	Bbio-20%	++ ET DWHR
											Bbio-45%	+ ou DWHR
2	4	Chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption + Solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR		
								Bbio-10%	/	Bbio-10%	[+ et DWHR]	
									Bbio-20%	/		
											Bbio-45%	+ ou DWHR
3	7	Chaudières individuelles à micro-cogénération	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio-10%	++		
								Bbio-10%	/	Bbio-20%	+	
									Bbio-45%	/	Bbio-45%	++
4	20	Réseau de chaleur McGES=0,2 + solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR		
								Bbio-10%	/	Bbio-10%	[+ et DWHR]	
									Bbio-20%	+ ou DWHR		
									Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR]
5	22	Géothermie	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR		
								Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]	
								Bbio-20%	/	Bbio-20%	[+ et DWHR]	
									Bbio-45%	+ ou DWHR	Bbio-45%	++ ET DWHR
6	13	Chaudière collective bois + ECS solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	[+ et DWHR]	Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-10%	++ ET DWHR
								Bbio-20%	/	Bbio-20%	[+ et DWHR]	
									Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR
7	17	Réseau de chaleur McGES=0,3	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	[+ et DWHR]	Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-10%	++ ET DWHR
								Bbio-20%	/	Bbio-20%	++ ET DWHR	
									Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR
8	19	Réseau de chaleur McGES=0,1 + solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]		
								Bbio-20%	+ ou DWHR	Bbio-20%	[+ et DWHR]	
								Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR	
9	2	Chaudières collectives gaz + ECS Solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]		
								Bbio-20%	+ ou DWHR	Bbio-20%	++ ET DWHR	
								Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR	
10	18	Réseau de chaleur McGES=0,0 + solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	[+ et DWHR]	Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-10%	++ ET DWHR		
								Bbio-20%	+ ou DWHR	Bbio-20%	[+ et DWHR]	
								Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR	
11	6	Chaudières individuelles gaz	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio-10%	++	Bbio-20%	+		
								Bbio-45%	/	Bbio-45%	/	
12	16	Réseau de chaleur McGES=0,2	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]	Bbio-20%	++ ET DWHR
								Bbio-20%	+ ou DWHR	Bbio-45%	+ ou DWHR	
								Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR	
13	3	Chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]	Bbio-20%	++ ET DWHR
								Bbio-20%	+ ou DWHR	Bbio-45%	+ ou DWHR	
								Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR	
14	5	Chaudières collectives gaz + PAC électrique en appoint ECS	Bbio RT	/	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	++ ET DWHR	Bbio-10%	[+ et DWHR]	Bbio-20%	++ ET DWHR
								Bbio-20%	+ ou DWHR	Bbio-45%	+ ou DWHR	
								Bbio-45%	/	Bbio-45%	++ ET DWHR	
15	8	Chaudières individuelles gaz + ballons thermodynamiques	Bbio RT	/	Bbio RT	++	Bbio-10%	+	Bbio-20%	++	Bbio-45%	+
								Bbio-45%	/	Bbio-45%	+	

16	12	Chaudière collective bois	Bbio RT	/	Bbio RT	[+ et DWHR]	Bbio-10%	++ ET DWHR		
			Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-20%	/	Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR]
17	15	Réseau de chaleur McGES=0,1	Bbio RT	/	Bbio RT	[+ et DWHR]				
			Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-20%	[+ et DWHR]	Bbio-20%	[+ et DWHR]		
			Bbio-45%	/	Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR]		
18	1	Chaudières collectives gaz	Bbio RT	+ ou DWHR	Bbio RT	[+ et DWHR]				
			Bbio-10%	/	Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-20%	++ ET DWHR		
			Bbio-20%	/	Bbio-20%	/	Bbio-45%	+ ou DWHR	Bbio-45%	[+ et DWHR]
19	14	Réseau de chaleur McGES=0,0	Bbio RT	[+ et DWHR]						
			Bbio-10%	+ ou DWHR	Bbio-10%	++ ET DWHR				
			Bbio-20%	/	Bbio-20%	[+ et DWHR]	Bbio-45%	+ ou DWHR	Bbio-45%	++ ET DWHR
20	10	Effet Joule + ECS via PAC électrique à appoint électrique	Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR]	Bbio-45%	+ ou DWHR	Bbio-45%	++ ET DWHR
21	11	Effet Joule + ECS via PAC électrique à appoint gaz	Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR]				
22	9	Effet Joule + ballons thermodynamiques	Bbio-45%	/	Bbio-45%	++				

Légende		
Bbio RT	/	Aucun effort à faire
Bbio-10%	+ ou DWHR	Léger effort
Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++	Contraintes importantes
Bbio-45%	++ ET DWHR	Contraintes très lourdes et qui peuvent être irrationnelles
		Impossibilité d'atteindre le niveau d'exigence

Deux tableaux comparatifs ont été effectués, dans le second (TAB. 80) toutes les solutions étudiées y sont présentes, alors que dans le premier (TAB. 79), les solutions faisant appel à un réseau de chaleur ont été retirées puisque tous les projets ne sont pas situés à proximité de celui-ci.

En ce qui concerne les solutions qui sont les plus pertinentes, pour des niveaux d'exigences réglementaires, c'est-à-dire qu'elles apportent un gain de Cep réglementaire pour un niveau de Bbio réglementaire, on peut énumérer les solutions qui sont classées de la 5^{ème} à la 10^{ème} place :

- Solution 2 : chaudières collectives gaz + ECS solaire thermique.
- Solution 6 : chaudières individuelles gaz.
- Solution 3 : chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption en appoint chauffage.
- Solution 5 : chaudières collectives gaz + PAC électrique en appoint ECS.
- Solution 8 : chaudières individuelles gaz pour le chauffage et ECS via des ballons individuels thermodynamiques.

Remarque : les solutions 4/7/22/13 atteignent bien évidemment le niveau Cep RT, mais si la contrainte est d'obtenir uniquement et pas plus, un Cep RT, ces solutions ne seront pas retenues à cause d'un coût d'investissement plus important.

Pour les projets nécessitant des niveaux de Bbio de -10%, on peut citer les solutions qui sont classées de la 4^{ème} à la 8^{ème} place :

- Solution 13 : chaudières collectives bois + ECS solaire thermique.
- Solution 2 : chaudières collectives gaz + ECS solaire thermique.
- Solution 6 : chaudières individuelles gaz.
- Solution 3 : chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption en appoint chauffage.
- Solution 5 : chaudières collectives gaz + PAC électrique en appoint ECS.

Pour les projets nécessitant des niveaux de Bbio de -20%, on peut inventorier les solutions qui sont classées de la 1^{ème} à la 4^{ème} place :

- Solution 4 : chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption en appoint chauffage + ECS solaire thermique.
- Solution 7 : chaudières individuelles gaz à micro-cogénération.
- Solution 22 : géothermie.
- Solution 13 : chaudières collectives bois + ECS solaire thermique.

Pour les projets nécessitant des niveaux de Bbio de -30%, on peut désigner les solutions qui sont classées de la 1^{ème} à la 3^{ème} place :

- Solution 4 : chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption en appoint chauffage + ECS solaire thermique.
- Solution 7 : chaudières individuelles gaz à micro-cogénération.
- Solution 22 : géothermie.

Pour les projets nécessitant des niveaux de Bbio de -45%, on peut lister uniquement la 1^{ère} solution :

- Solution 4 : chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption en appoint chauffage + ECS solaire thermique.

Au regard de cette première analyse on peut en déduire que les solutions qui passent le mieux sont les solutions 2/4/7/13 et 22 qui permettent d'atteindre, avec un faible niveau de bâti, des niveaux de consommation très faibles. En effet, avec ces solutions, il est possible d'atteindre des gains sur le Cep de l'ordre de -10 et -20% tout en ayant des niveaux de Bbio faibles, niveaux réglementaires, voire Bbio-10%. La solution la plus efficace est la solution 4 « chaudières collectives gaz + PAC gaz + ECS solaire thermique », vient ensuite, les chaudières individuelles gaz à micro-cogénération, puis la géothermique, et enfin, les solutions ECS solaire thermique et chaudières collectives bois et gaz.

Ces solutions sont pertinentes pour des projets ayant de forts niveaux d'exigences puisqu'ils peuvent permettre d'atteindre des niveaux de gains sur le Cep de l'ordre de 45%. Cela donne un niveau de Cep proche de 40. Pour information la ville de BONDY, dans le 93, impose pour les constructions neuves un niveau de consommation de 40. Cependant, pour les solutions bois, même si le gain sur le Cep est très important, le niveau du Cep est quant à lui très moyen. En effet, pour cette énergie et ainsi que pour les réseaux de chaleur, un droit à consommer plus important est accordé au regard des émissions de GES par kilowattheure d'énergie. Cela a pour conséquence de biaiser les comparatifs de ces deux solutions vis-à-vis des autres, puisqu'on ne compare plus les valeurs sur une même échelle de Cep max. Ainsi pour des projets où les niveaux de Cep sont très faibles ces solutions ne seront pas forcément pertinentes. En effet, à cause de rendements de combustions plus mauvais qu'en chaudières collectives gaz, la solution chaudières collectives bois (solution 12), pour un niveau de Bbio réglementaire, dispose d'un Cep de 89 pour 76 pour le gaz (solution 1).

Toujours dans le peloton de tête, il est important de noter que les solutions 7 et 22, respectivement, chaudières individuelles gaz à micro-cogénération et géothermie, engendrent des gains et des niveaux de Cep très faibles. Néanmoins, ces solutions pèchent sur un coût d'investissement exorbitant par rapport aux autres solutions qui est de l'ordre d'un facteur 2 à 3. Même si ce coût d'investissement est en partie rentabilisé dans le temps, peu de promoteurs se soucient du coût d'exploitation, par conséquent, ces solutions sont très rarement préconisées. De plus, même en termes de temps de retour sur investissement, ces solutions ne sont pas forcément rentables puisque le coût de l'énergie en France est beaucoup trop faible pour réellement valoriser ces solutions. Pour information, en Allemagne ces solutions sont rentables, mais avec des coûts de l'énergie 3 fois plus importants qu'en France.

Ainsi, si l'on intègre l'aspect consommation nette et coût d'investissement, les solutions les plus polyvalentes et, à la fois les plus performantes sont les solutions 4 et 2, respectivement « Chaudières collectives gaz + PAC gaz à absorption + solaire thermique » et « Chaudières collectives gaz + solaire thermique ».

En ce qui concerne les solutions de chauffage par effet Joule 10, 11 et 9, elles sont très employées depuis le début de l'année 2015. En effet, à l'heure actuelle, l'individualisation des charges est demandée par les acquéreurs, et également le fait d'avoir des systèmes avec peu d'entretien. De plus, même si ces solutions nécessitent d'excellents niveaux de Bbio, elles engendrent une plus grande rapidité de construction avec moins de contraintes comme la présence des chaufferies, des conduits de fumées ainsi que toutes les normes qui y sont

appliquées. Enfin ces solutions entraînent également des gains financiers sur les réseaux de distribution de chauffage et d'ECS.

Et même en terme de coût d'exploitations ces systèmes nécessitant d'être réglementaires doivent ainsi consommer 2.58 fois moins qu'en gaz, soit 60% à 70% de moins. Chose qui engendre des coûts d'exploitation aussi moins important qu'en gaz même avec un facteur 3 sur le coût de l'énergie.

Il est possible de gagner, pour un même niveau de bâti, jusqu'à 9/12% de gain supplémentaire sur le Cep en améliorant des choses comme la régulation des chaudières et des radiateurs, la classe d'isolation des calorifuges, la perméabilité à l'air du bâtiment, l'étanchéité à l'air des réseaux aérauliques, la puissance des extracteurs de ventilation et en intégrant une fermeture automatique des occultations de manière crépusculaire.

Enfin, il est possible de gagner encore 4/5 % de gain supplémentaire sur le Cep en ajoutant si cela est possible une récupération collective ou individuelle de chaleur sur les eaux grises des douches ou baignoires, en appoint des mitigeurs thermostatiques et/ou de l'arrivée d'eau froide du stockage d'ECS.

Il est à noter que pour les solutions individuelles, aucun récupérateur de chaleur sur les eaux grises n'a été intégré car il est très difficile d'en intégrer dans les logements collectifs. Cependant, pour des logements en duplex avec salles de bains aux étages il est possible d'en intégrer aux premiers étages de ces logements.

Ainsi, sans dire d'aller saisir des perméabilités à l'air et des étanchéités des réseaux aérauliques très ou trop performantes, il est facilement possible de gagner sans changer un principe de chauffage et d'ECS et sans changer fondamentalement le projet 10% de gain de consommation. Au regard du faible niveau de consommation des bâtiments neufs, cette fourchette de 10% est très intéressante et importante et peut éviter de passer sur une technologie de chauffage et/ou d'ECS plus onéreuse.

Enfin, en projection de 2018, année pour laquelle le niveau maximum de consommation chutera de 13%, la récupération de chaleur sur les eaux grises devrait trouver sa place, puisqu'elle entraîne des gains de consommation d'ECS très important. Sur cette étude, le gain est d'environ 5% du Cep. Cependant, les produits évoluent, les efficacités nominales d'après les fabricants devraient grimper de 63 à 75%, soit un gain de 16%. De plus, ces efficacités sont pénalisées de 10% pour la bonne raison que ces produits ne sont pas encore certifiés. Ainsi dans un futur proche, les gains réglementaires de ces systèmes devraient augmenter de $1-75 / (63*0.9) = 32\%$. Ainsi, le gain supplémentaire sur le Cep devrait être de l'ordre de $5*1.32 = 6/7\%$. Ce qui signifie que la moitié de la baisse de la consommation maximale pourrait être absorbée par ce système. Pour finir, ces systèmes devraient pouvoir dans un futur proche se généraliser aux productions individuelles puisque cette récupération pourra se placer dans le même étage que les émetteurs ECS grâce à des petites pompes de relevage en 24V.

En ce qui concerne les solutions retenues par les clients, les projets A1, A2, A4 et A5 sont chauffés par des solutions effet Joule et l'ECS est effectuée par des ballons thermodynamiques

(solution 9). Le chauffage et l'ECS du projet A3 sont assurés par des chaudières individuelles gaz à condensation.

Concernant le tableau 80 intégrant les différents réseaux de chaleur possibles, on peut dire que les résultats sont vraiment hétérogènes. En effet, avec les réseaux de chaleur actuels, les coefficients M_{cGES} se situent principalement à 0 et 0.1. Ainsi, pour ces valeurs, les résultats réglementaires sont comparables à de la chaudière collective gaz. Ces solutions sont ainsi pertinentes pour des niveaux d'exigences réglementaires mais sans réellement apporter de la performance. Pour en avoir, il faut lui associer de l'ECS solaire thermique, ce qui permet de prétendre à des niveaux d'exigence de Cep-10% voir Cep -20%

En ce qui concerne les futurs réseaux de chaleur, les coefficients M_{cGES} sont plutôt compris entre 0.1 et 0.2, voir 0.3. Pour de tels niveaux de M_{cGES} les solutions réseaux de chaleur sont équivalentes des réseaux de chaleur disposant de solaire thermique, mais pour des coefficients M_{cGES} de 0.0 et 0.1. Ainsi, si on leurs associe du solaire thermique, elles prennent les meilleures places du classement. Il est ainsi possible d'obtenir des gains sur le Cep max de 30% avec des niveaux de bâti tout juste réglementaires.

Mais comparer ces solutions entre elles n'a pas fondamentalement de sens, puisque si un réseau de chaleur est à proximité du projet, il est souvent imposé au promoteur de s'y raccorder. Et comme ce dernier ne peut influencer sur les émissions de GES de ce réseau, il n'a d'autre choix que de se plier aux résultats bons ou mauvais de ce réseau.

Pour terminer, le photovoltaïque peut permettre de gagner entre 12 et 16% de gain supplémentaire sur le Cep suivant les coefficients M_{cGES} employés. Cela peut permettre d'atteindre des niveaux de consommation très faibles dans le cadre de projets passifs ou positifs, mais également à des projets en tout électriques d'atteindre des niveaux de Cep max de -20%.

B. Application sur un bâtiment de maison individuelle

Pour ce faire, les différents systèmes ci-dessous seront étudiés pour différents niveaux de Bbio, niveaux réglementaires, -10%, -20%, -30% et -45%. Le projet qui servira de comparatif sera le projet B1. En revanche comme il est extrêmement difficile d'obtenir des gains sur le Bbio supérieurs à 30% sans accoler des maisons (projet B2), les coefficients U_p des murs seront améliorés pour obtenir 45% de gain. Cela permettra de comparer les projets sur la même base, typologie/surface/exigence. Tout en sachant que ce niveau ne pourrait être obtenu quasiment qu'avec des maisons accolées.

Petite précision, contrairement aux logements collectifs, les maisons doivent disposer d'une énergie renouvelable au sens de la réglementation thermique RT2012, ainsi, toutes les solutions étudiées ici en auront une.

Les solutions étudiées sont :

- 1 – Chaudière individuelle gaz à condensation + capteurs PV.
- 2 – Chaudière individuelle gaz à micro-cogénération.
- 3 – Chaudière individuelle gaz + ECS solaire thermique.
- 4 – Chauffage via une chaudière individuelle gaz à condensation et ECS via un ballon thermodynamique sur l'air extérieur à appoint électrique.
- 5 – Chauffage via une chaudière individuelle gaz à condensation et ECS via un ballon thermodynamique sur l'air extérieur à appoint gaz.
- 6 – Chauffage via une chaudière individuelle gaz à condensation et ECS via un ballon thermodynamique sur l'air repris à appoint électrique.
- 7 – PAC électrique assurant le chauffage + chaudière individuelle gaz assurant l'appoint chauffage et la totalité de l'ECS.
- 8 – Chaudière individuelle bois à condensation.
- 9 – Chaudière individuelle bois à condensation + ECS solaire thermique.
- 10 - PAC électrique assurant à la fois le chauffage et l'ECS.
- 11 – Géothermique.
- 12 – Chauffage par effet Joule + ECS via un ballon thermodynamique sur l'air extérieur à appoint électrique.
- 13 – Chauffage assuré en majorité via un poêle à bois et l'appoint via de l'effet Joule + ECS via un ballon thermodynamique sur l'air extérieur à appoint électrique.

1. Chaudière individuelle gaz à condensation + Photovoltaïque PV

Tableau 81 : Résultats de la solution 1 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWh _{ep} .m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
76.00	59,0	7,81%	54,3	15,16%	50,5	21,09%	46,1	27,97%	40,4	36,88%
Cep Chauffage	36,3		31,6	12,95%	27,9	23,14%	23,3	35,81%	17,6	51,52%
Cep ECS	21,6		21,7		21,9		22,2		22,4	
Production photovoltaïque	5.9									
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-3,1		-3,3		-2,9		-3,1		-1,4	

Comme la RT2012 impose une énergie renouvelable à hauteur de 5.0 [kWh_{EP}.m⁻²SRT.an⁻¹], l'installation photovoltaïque a été dimensionnée pour respecter tout juste cette contrainte. Ainsi, pour cette maison de 79.27 [m²] de SHAB, la surface des capteurs doit être d'au moins 3.00 [m²] pour une puissance crête de 392 [W] et une production de 5.9 [kWh_{EP}.m⁻²SRT.an⁻¹].

Cependant, la RT2012 permet aussi de déduire jusqu'à 12.0 points (avec le dimensionnement suivant 11.7 points) de Cep en production photovoltaïque. Par conséquent, il est possible de gagner des points de Cep supplémentaires en doublant la surface des capteurs à 6.00 [m²] pour une production d'une puissance crête de 792 [W].

En ce qui concerne les chaudières, des chaudières à accumulation ont été intégrées. Ces chaudières sont recommandées dès lors qu'une maison dispose de plus d'une salle de bains afin d'assurer un confort au niveau de l'ECS. Cependant, ces chaudières sont moins performantes que des chaudières à micro-accumulation (idéales pour des maisons à une salle de bains), puisqu'elles préparent constamment de l'ECS en vue d'un futur tirage important. Cela engendre une consommation de gaz pour maintenir la température dans le ballon et d'une manière générale, les rendements de ces chaudières sont plus mauvais que ceux des chaudières à micro-accumulation.

D'un point de vue réglementaire, la RT2012 ne différencie pas les besoins en ECS d'une maison ayant une ou plus d'une salle de bains, uniquement un besoin surfacique d'ECS est défini. De plus, sur la maison B1 servant de base, une seule salle de bain est présente, une chaudière à micro-accumulation est ainsi plus pertinente. Les deux chaudières ont donc été simulées pour quantifier l'écart entre des maisons disposant d'un nombre différent de salle de bains. De plus, même si une maison dispose de plus d'une salle de bains, il est possible de proposer une chaudière à micro-accumulation tout en l'associant à une récupération de chaleur sur les eaux grises, ce qui aura pour conséquences de diminuer le débit en ECS venant de la chaudière et ainsi pouvoir obtenir un même confort sanitaire tout en apportant de la performance.

Tableau 82 : Valeurs des coefficients Cep en fonction des différents régimes de température.

Valeurs des coefficients Cep pour un niveau de Bbio réglementaire		Régulation de la température en fonction de la température extérieure		Gain de Cep	Gain en [%]
Régime de température	70/55	59,0			
	65/50	58,8		0,2	0,31%
	60/45	58,6		0,4	0,62%
	55/40	58,4		0,6	0,94%

Tableau 83 : Résultats de la solution 1 pour différentes améliorations et pour différents niveaux de Bbio.

Solutions Cep / Solutions Bbio	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	76,00		67,1	11,71 %	60,3	20,66 %	52,3	31,18 %	41,2	45,79 %
Cep max [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	64,00		54,3	15,16%	50,5	21,09%	46,1	27,97%	40,4	36,88%
n°1 : Régime radiateur 70/55 à 55/40	58,4	8,75%	53,7	16,09%	50,0	21,88%	45,6	28,75%	40,0	37,50%
Gain de Cep	0,6		0,6		0,5		0,5		0,4	
n°2 : DØVT des têtes thermostatiques de 0.56°C à 0.21°C	56,8	11,25%	52,2	18,44%	48,7	23,91%	44,5	30,47%	39,1	38,91%
Gain de Cep	1,6		1,5		1,3		1,1		0,9	
n°3 : Etanchéité des réseaux aérauliques de par défaut à classe A	56,1	12,34%	51,6	19,38%	48,1	24,84%	43,9	31,41%	38,5	39,84%
Gain de Cep	0,7		0,6		0,6		0,6		0,6	
n°4 : Etanchéité des réseaux aérauliques de classe A à B	55,8	12,81%	51,3	19,84%	47,8	25,31%	43,6	31,88%	38,3	40,16%
Gain de Cep	0,3		0,3		0,3		0,3		0,2	
n°5 : Etanchéité des réseaux aérauliques de classe B à C	55,8	12,81%	51,2	20,00%	47,7	25,47%	43,5	32,03%	38,2	40,31%
Gain de Cep	0,0		0,1		0,1		0,1		0,1	
n°6 : Intégration d'une chaudière individuelle à micro-accumulation	49,2	23,13%	44,7	30,16%	41,1	35,78%	36,9	42,34%	31,2	51,25%
Gain de Cep	6,6		6,5		6,6		6,6		7,0	
n°7 : Ajout d'une récupération de chaleur sur les eaux grises	44,8	30,03%	40,3	37,03%	36,9	42,34%	32,7	48,91%	26,9	57,97%
Gain de Cep	4,4		4,4		4,2		4,2		4,3	
n°8 : Augmentation de la production photovoltaïque à 12 points de Cep	39,0	39,06%	34,5	46,09%	31,1	51,41%	26,9	57,97%	21,1	67,03%
Gain de Cep	5,8		5,8		5,8		5,8		5,8	
n°9 : Diminution de la perméabilité à l'air de l'enveloppe de 0.6 à 0.3	36,7	42,66%	32,3	49,53%	28,7	55,16%	24,6	61,56%	19,0	70,31%
Gain de Cep	2,3		2,2		2,4		2,3		2,1	
n°10 : Automatisation de la fermeture des occultations de manières crépusculaire	35,6	44,38%	31,0	51,56%	27,7	56,72%	23,5	63,28%	18,0	71,88%
Gain de Cep	1,1		1,3		1,0		1,1		1,0	
n°11 : Ventilation simple flux Hygro B à double flux auto réglable	34,6	45,94%	30,3	52,66%	27,0	57,81%	23,1	63,91%	18,1	71,72%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 10	1,0		0,7		0,7		0,4		-0,1	

n°12 : Ventilation simple flux Hygro B à double flux hygroréglable	30,9	51,72%	26,5	58,59%	23,3	63,59%	19,4	69,69%	14,5	77,34%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 10	4,7		4,5		4,4		4,1		3,5	
n°13 : Intégration de la chaudière hors volume chauffé	34,0	46,88%	29,8	53,44%	26,2	59,06%	22,5	64,84%	15,9	75,16%
Perte de Cep	-3,1		-3,3		-2,9		-3,1		-1,4	
n°14 : Radiateur à plancher chauffant	37,2	41,88%	32,3	49,53%	28,7	55,16%	24,4	61,88%	18,0	71,88%
Perte de Cep	-3,2		-2,5		-2,5		-1,9		-2,1	

En ajoutant à un projet de maisons individuelles les améliorations possibles 1 à 12, il est possible de gagner environ 40% de gain supplémentaire sur le Cep ce qui est colossal !

Il est également à noter qu'une ventilation double flux est réellement intéressante si elle est associée à des bouches de soufflage et de reprise hygroréglables. Grâce à ces bouches, les débits de renouvellement d'air sont mieux équilibrés et garantis, de ce fait, il est intégré des débits de renouvellement d'air plus faible.

En effet, sans les bouches hygroréglables, les débits sont pris par défaut à 180 [m³.h⁻¹] en pointe et 105 [m³.h⁻¹] en reprise, alors qu'avec les bouches hygroréglables, ils sont respectivement de 61.5 et de 60.9 [m³.h⁻¹] pour un logement de typologie 4 pièces à une salle de bains et un WC.

2. Chaudière individuelle gaz à micro-cogénération

Tableau 84 : Résultats de la solution 2 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
64.00	47,5	25,78%	44,5	30,47%	42,0	34,38%	39,0	39,06%	34,9	45,47%
Cep Chauffage	44,1		36,1	18,14%	32,1	27,21%	27,1	38,55%	20,3	53,97%
Cep ECS	15,4		15,4		15,4		15,4		15,5	
Production électrique	-16,2		-13,9		-12,2		-10,0		-7,2	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-4,3		-4,3		-4,0		-3,9		-3,7	

Tableau 85 : Valeurs des coefficients Cep en fonction des différents régimes de température.

Valeurs des coefficients Cep pour un niveau de Bbio réglementaire		Régulation de la température en fonction de la température extérieure		Gain de Cep	Gain en [%]
Régime de température	70/55	47,5			
	65/50	47,3		0,2	0,31%
	60/45	47,1		0,4	0,62%
	55/40	46,9		0,6	0,94%

3. Chaudière individuelle gaz à condensation + ECS solaire thermique

Tableau 86: Résultats de la solution 3 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWh _{ep} .m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
76.00	58,8	8,13%	54,2	15,31%	50,5	21,09%	46,0	28,13%	40,5	36,72%
Cep Chauffage	36,7		32,1	12,53%	28,5	22,34%	23,9	34,88%	18,3	50,14%
Cep ECS	15,1		15,2		15,4		15,7		16,00	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-6.8		-6.7		-6.8		-6.9		-6.5	

Pour cette variante, la solution retenue est une solution avec un seul capteur solaire thermique de 2.35 [m²]. Il est possible d'ajouter un capteur supplémentaire, cependant, le gain sur le Cep est voisin de 1.0. Cela n'a pas beaucoup de sens de doubler la surface pour ne gagner qu'un seul point de Cep tout en augmentant le risque de surchauffe estivale des capteurs.

La solution photovoltaïque avec uniquement une couverture réglementaire de 5.0 [kWh_{EP}.m⁻²_{SRT}.an⁻¹] est identique à la solution solaire thermique. Cependant, si on ajoute des capteurs PV, le Cep diminuera en conséquence, ce qui n'est pas le cas avec du solaire thermique.

4. Chaudière individuelle gaz à condensation + ECS thermodynamique sur l'air extérieur à appoint électrique

Tableau 87 : Résultats de la solution 4 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWh _{ep} .m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
76.00	60,8	5,00%	55,2	13,75%	51,4	19,69%	47,1	26,41%	41,0	35,94%
Cep Chauffage	34,7		30,0	13,54%	26,5	23,63%	22,3	35,73%	16,4	52,74%
Cep ECS	18,3		18,3		18,3		18,3		18,3	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-5.9		-5.9		-5.8		-5.5		-5.0	

Cette solution passe légèrement moins bien que les deux solutions précédentes. Même si l'écart est faible, le Cep chauffage est quant à lui nettement meilleur avec une chaudière en chauffage

seul, alors que le Cep ECS en ballon thermodynamique est quant à lui beaucoup plus mauvais. Cela s'explique facilement, la chaudière individuelle condense mieux en chauffage seul et dispose d'une puissance plus adaptée, 12 [kW] en chauffage seul et 24 [kW] en chauffage + ECS, et cela se retrouve également sur la puissance minimale. Ainsi en chauffage seul, la chaudière subit moins de cycles marches/arrêts.

En revanche, la perte de Cep, si la production est située hors volume chauffé HVC est moins importante qu'avec les deux solutions précédentes.

5. Chaudière individuelle gaz à condensation + ECS thermodynamique sur l'air extérieur à appoint gaz

Tableau 88 : Résultats de la solution 5 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
64.00	62,0	3,13%	56,5	11,72%	52,9	17,34%	48,5	24,22%	42,9	32,97%
Cep Chauffage	34,2		29,7	13,16%	26,2	23,39%	21,7	36,55%	16,2	52,63%
Cep ECS	20,0		20,0		20,1		20,3		20,4	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-6,90		-6,90		-6,80		-6,80		-6,40	

La solution 5 diffère de la solution 4 uniquement sur l'énergie d'appoint du ballon thermodynamique qui était une résistance électrique pour la solution 4, alors que dans la solution 5, l'appoint est apporté par la chaudière gaz. Cette solution 5 est réglementairement moins performante que la solution 4 et est plus défavorisée que la 4 si la production est située hors volume chauffé.

Cependant, cette solution est probablement plus intéressante que la précédente en ce qui concerne l'usage. En effet, lors d'une panne du ballon thermodynamique, les occupants disposeront toujours d'une production d'ECS via la chaudière qui sera capable de fournir 100% des besoins en ECS.

6. Chaudière individuelle gaz à condensation + ECS thermodynamique sur l'air repris à appoint électrique

Tableau 89 : Résultats de la solution 6 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWh _{ep} .m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
64.00	62,5	2,34%	56,9	11,09%	53,1	17,03%	48,8	23,75%	42,6	33,44%
Cep Chauffage	34,7		30,1	13,26%	26,5	23,63%	22,4	35,45%	16,5	52,45%
Cep ECS	18,3		18,3		18,3		18,2		18,2	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-6,00		-6,00		-5,90		-5,60		-5,40	

Cette solution n'apporte pas de gain par rapport aux autres solutions « ballons thermodynamiques » ce qui est plutôt étrange puisque normalement, les consommations d'ECS devraient être plus faibles, puisque la source chaude ne descend pas en théorie en dessous des 19°C, puisque cette source est l'air extrait. Cependant, la consommation du moteur de ventilation voit sa consommation plus que doublée et les performances du compresseur de cette machine ne sont malheureusement, à l'heure actuelle, pas aussi bonnes que l'on pourrait l'espérer. Il est probable que ce type de machine se valorise mieux dans le futur.

7. PAC électrique pour le chauffage + appoint chauffage et ECS via une chaudière gaz à condensation

Tableau 90 : Résultats de la solution 7 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWh _{ep} .m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
64.00	53,1	17,03%	48,8	23,75%	46,1	27,97%	42,9	32,97%	38,5	39,84%
Cep Chauffage	28,5		25,2	11,58%	22,7	20,35%	19,6	31,23%	15,1	47,02%
Cep ECS	16,6		16,7		16,7		16,8		17,1	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-3,4		-3,5		-3,4		-3,4		-3,2	

Cette solution est excellente d'un point de vue réglementaire puisqu'elle permet à un niveau Bbio réglementaire de frôler les 20% de gain sur le Cep. L'impact d'une variation de la position de la production hors volume chauffé reste correct, entre 3 et 4 points de Cep.

8. Chaudière bois à condensation

Tableau 90 : Résultats de la solution 5 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWh _{EP} .m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
76.00	79.00	18,86%	59,4	24,81%	55,7	29,49%	51,2	35,19%	45,5	42,41%
Cep Chauffage	35,7		31,0	13,17%	27,3	23,53%	22,8	36,13%	17,1	52,10%
Cep ECS	21,6		21,7		21,8		22,0		22,2	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-8,2		-8,1		-7,9		-7,8		-7,0	

Grâce à l'énergie bois, le coefficient M_{CGES} passe de 0.0 à 0.3, ainsi le Cep max passe de 64.0 à 79.0 [kWh_{EP}.m⁻²srt.an⁻¹]. La chaudière retenue correspond aux toutes nouvelles chaudières à énergie bois avec un procédé de condensation des fumées, comme pour les chaudières gaz. Le procédé de condensation est surtout intégré aux chaudières individuelles à l'heure actuelle.

Même sans l'augmentation du Cep max, cette solution serait tout juste réglementaire, grâce à la condensation.

En tout cas, cette solution apporte un réel gain réglementaire en obtenant quasiment un gain de 20% pour un niveau de Bbio réglementaire.

Tableau 91 : Valeurs des coefficients Cep en fonction des différents régimes de température.

Valeurs des coefficients Cep pour un niveau de Bbio réglementaire		Régulation de la température en fonction de la température extérieure		Gain de Cep	Gain en [%]
Régime de température	70/55	64,1			
	65/50	64,1		0,0	0,00%
	60/45	64,1		0,0	0,00%
	55/40	64,1		0,0	0,00%

La RT2012 ne valorise aucune variation du régime de température sur une chaudière bois. Cela est « normal » puisque d'après le §10.17.3.6.2.1 des règles Th-BCE [4] : « on considère conventionnellement que la chaudière bois fonctionne à sa température nominale (70°C) quelque soit le cas ».

Tableau 92 : Résultats de la solution 8 pour différentes améliorations et pour différents niveaux de Bbio.

Solutions Cep / Solutions Bbio	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWh _{EP} .m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
76.00	79.00	18,86%	59,4	24,81%	55,7	29,49%	51,2	35,19%	45,5	42,41%
n°1 : DOVT des têtes thermostatiques de 0.56°C à 0.21°C	62,5	20,89%	58,0	26,58%	54,4	31,14%	50,1	36,58%	44,6	43,54%

Gain de Cep	1,6		1,4		1,3		1,1		0,9	
n°2 : Etanchéité des réseaux aérauliques de par défaut à classe A	61,8	21,77%	57,3	27,47%	53,8	31,90%	49,5	37,34%	44,0	44,30%
Gain de Cep	0,7		0,7		0,6		0,6		0,6	
n°3 : Etanchéité des réseaux aérauliques de classe A à B	61,6	22,03%	57,0	27,85%	53,5	32,28%	49,2	37,72%	43,7	44,68%
Gain de Cep	0,2		0,3		0,3		0,3		0,3	
n°4 : Etanchéité des réseaux aérauliques de classe B à C	61,5	22,15%	56,9	27,97%	53,4	32,41%	49,1	37,85%	43,7	44,68%
Gain de Cep	0,1		0,1		0,1		0,1		0,0	
n°5 : Ajout d'une récupération de chaleur sur les eaux grises	57,6	27,09%	53,1	32,78%	49,5	37,34%	45,2	42,78%	39,8	49,62%
Gain de Cep	3,9		3,8		3,9		3,9		3,9	
n°6 : Diminution de la perméabilité à l'air de l'enveloppe de 0.6 à 0.3	55,1	30,25%	50,6	35,95%	47,3	40,13%	43,0	45,57%	37,6	52,41%
Gain de Cep	2,5		2,5		2,2		2,2		2,2	
n°7 : Automatisation de la fermeture des occultations de manières crépusculaire	54,1	31,52%	49,7	37,09%	46,4	41,27%	42,1	46,71%	36,7	53,54%
Gain de Cep	1,0		0,9		0,9		0,9		0,9	
n°8 : Ventilation simple flux Hygro B à double flux hygroréglable	49,2	37,72%	45,2	42,78%	42,5	46,20%	38,3	51,52%	33,9	57,09%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 10	4,9		4,5		3,9		3,8		2,8	
n°9 : Radiateur à plancher chauffant	51,9	34,30%	47,5	39,87%	44,5	43,67%	39,8	49,62%	34,8	55,95%
Perte de Cep	-2,7		-2,3		-2,0		-1,5		-0,9	

9. Chaudière bois à condensation + ECS solaire thermique

Tableau 93 : Résultats de la solution 9 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	76.00	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
79.00	56,0	29,11%	51,3	35,06%	47,6	39,75%	43,2	45,32%	37,1	53,04%
Cep Chauffage	38.2		33,5	12,30%	29,9	21,73%	25,5	33,25%	19,3	49,48%
Cep ECS	11,0		11,0		11,1		11,2		11,6	
Gain de Cep avec le solaire	8.1		8.1		8.1		8.0		8.4	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-4,7		-4,6		-4,4		-4,1		-3,8	

Cette solution est très performante puisqu'elle permet d'obtenir pour un niveau de Bbio tout juste réglementaire un gain sur le Cep max de l'ordre de 30%.

10. PAC électrique assurant à la fois l'ECS et le chauffage

Tableau 94 : Résultats de la solution 10 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
76.00	59,9	6,41%	54,8	14,38%	51,3	19,84%	47,1	26,41%	41,6	35,00%
Cep Chauffage	34,1		29,9	12,32%	26,6	21,99%	22,5	34,02%	17,2	49,56%
Cep ECS	18,1		18,1		18,1		18,2		18,2	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-13,1		-12,7		-12,5		-12,2		-11,3	

La solution PAC électrique est une bonne solution puisqu'elle dispose de bons résultats réglementaires, en comparaison, elle est plus performante que les solutions ballons thermodynamiques. De plus, si l'on regarde les gains obtenus en optimisant les régimes de température des radiateurs, cette solution devance même la solution 1, chaudière individuelle gaz + photovoltaïque, tout en ayant une seule et unique énergie. Il est donc crucial sur une pompe à chaleur de bien optimiser le régime de température puisque celui-ci conditionne de manière beaucoup plus nette la performance que sur une chaudière gaz à condensation.

Tableau 95 : Valeurs des coefficients Cep en fonction des différents régimes de température.

Valeurs des coefficients Cep pour un niveau de Bbio réglementaire		Régulation de la température en fonction de la température extérieure		Gain de Cep	Gain en [%]
Régime de température	70/55	59,9			
	65/50	58,9		1,0	1,56%
	60/45	58,1		1,8	2,81%
	55/40	57,0		2,9	4,53%

Tableau 96 : Résultats de la solution 10 pour différentes améliorations et pour différents niveaux de Bbio.

Solutions Cep / Solutions Bbio	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
76.00	59,9	6,41%	54,8	14,38%	51,3	19,84%	47,1	26,41%	41,6	35,00%
n°1 : Régime radiateur 70/55 à 55/40	57,0	10,94%	52,1	18,59%	48,9	23,59%	45,0	29,69%	40,0	37,50%
Gain de Cep	2,9		2,7		2,4		2,1		1,6	
n°2 : DØVT des têtes thermostatiques de 0.56°C à 0.21°C	55,6	13,13%	50,9	20,47%	47,8	25,31%	44,1	31,09%	39,2	38,75%
Gain de Cep	1,4		1,2		1,1		0,9		0,8	
n°3 : Etanchéité des réseaux aérauliques de par défaut à classe A	55,0	14,06%	50,3	21,41%	47,2	26,25%	43,6	31,88%	38,7	39,53%
Gain de Cep	0,6		0,6		0,6		0,5		0,5	

n°4 : Etanchéité des réseaux aérauliques de classe A à B	54,7	14,53%	50,0	21,88%	47,0	26,56%	43,3	32,34%	38,4	40,00%
Gain de Cep	0,3		0,3		0,2		0,3		0,3	
n°5 : Etanchéité des réseaux aérauliques de classe B à C	54,7	14,53%	49,9	22,03%	46,9	26,72%	43,2	32,50%	38,3	40,16%
Gain de Cep	0,0		0,1		0,1		0,1		0,1	
n°6 : Ajout d'une récupération de chaleur sur les eaux grises	49,8	22,19%	45,0	29,69%	42,0	34,38%	38,2	40,31%	33,4	47,81%
Gain de Cep	4,9		4,9		4,9		5,0		4,9	
n°7 : Diminution de la perméabilité à l'air de l'enveloppe de 0.6 à 0.3	47,7	25,47%	43,0	32,81%	40,0	37,50%	36,4	43,13%	31,5	50,78%
Gain de Cep	2,1		2,0		2,0		1,8		1,9	
n°8 : Automatisation de la fermeture des occultations de manières crépusculaire	46,6	27,19%	42,1	34,22%	39,0	39,06%	35,5	44,53%	30,6	52,19%
Gain de Cep	1,1		0,9		1,0		0,9		0,9	
n°9 : Ventilation simple flux Hygro B à double flux hygro réglable	42,7	33,28%	38,5	39,84%	35,7	44,22%	32,2	49,69%	27,8	56,56%
Gain de Cep	3,9		3,6		3,3		3,3		2,8	
n°10 : Radiateur à plancher chauffant	43,6	31,88%	39,2	38,75%	35,0	45,31%	32,9	48,59%	27,1	57,66%
Perte de Cep	-0,9		-0,7		-0,7		-0,7		-0,7	

11. Géothermie

Tableau 97 : Résultats de la solution 11 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	76.00		76.00		76.00		76.00		76.00	
Cep max [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]										
76.00	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
64.00	47,4	25,94%	44,2	30,94%	41,8	34,69%	39,0	39,06%	35,1	45,16%
Cep Chauffage	21,6		18,5		16,4		13,8		10,2	
Cep ECS	18,6		18,6		18,6		18,6		18,5	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-3,4		-3,5		-3,5		-3,4		-3,3	

Pour ce mode de chauffage, l'émetteur retenu est le plancher chauffant. En effet, étant donné que le coût d'investissement est très important avec une machine géothermique et, comme en maison individuelle, il y a bien souvent présence de chapes thermo/acoustiques, la plus-value du plancher chauffant est faible au regard du meilleur fonctionnement de la PAC dans le temps. Le COP saisonnier de l'installation sera ainsi plus optimisé.

12. Chauffage par effet Joule et ECS thermodynamique sur l'air extérieur à appoint électrique

Tableau 98 : Résultats de la solution 12 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
64.00	104,5	-63,28%	92,9	-45,16%	84,1	-31,41%	73,7	-15,16%	59,4	7,19%
Cep Chauffage	80,5		68,7	14,66%	60,0	25,47%	49,7	38,26%	35,4	56,02%
Cep ECS	18,3		18,3		18,3		18,3		18,3	
Perte de Cep si les productions sont situées hors volume chauffé	-8,1		-8,2		-8,1		-7,7		-7,3	

Tableau 99 : Résultats de la solution 12 pour différentes améliorations et pour différents niveaux de Bbio.

Solutions Cep / Solutions Bbio	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWhep. m ⁻² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
64.00	104,5	-63,28%	92,9	-45,16%	84,1	-31,41%	73,7	-15,16%	59,4	7,19%
n°1 : Etanchéité des réseaux aérauliques de par défaut à classe A	102,8	-60,63%	91,3	-42,66%	82,5	-28,91%	71,9	-12,34%	58,1	9,22%
Gain de Cep	1,7		1,6		1,6		1,8		1,3	
n°2 : Etanchéité des réseaux aérauliques de classe A à B	102,1	-59,53%	90,6	-41,56%	81,8	-27,81%	71,2	-11,25%	57,3	10,47%
Gain de Cep	0,7		0,7		0,7		0,7		0,8	
n°3 : Etanchéité des réseaux aérauliques de classe B à C	101,8	-59,06%	90,3	-41,09%	81,6	-27,50%	71,0	-10,94%	57,1	10,78%
Gain de Cep	0,3		0,3		0,2		0,2		0,2	
n°4 : Ajout d'une récupération de chaleur sur les eaux grises	97,6	-52,50%	86,1	-34,53%	77,4	-20,94%	66,7	-4,22%	52,9	17,34%
Gain de Cep	4,2		4,2		4,2		4,3		4,2	
n°5 : Ajout d'une production photovoltaïque à hauteur de 12 points de Cep	85,6	-33,75%	74,1	-15,78%	65,4	-2,19%	54,7	14,53%	40,9	36,09%
Gain de Cep	12,0		12,0		12,0		12,0		12,0	
n°6 : Diminution de la perméabilité à l'air de l'enveloppe de 0.6 à 0.3	79,8	-24,69%	68,3	-6,72%	59,6	6,88%	49,2	23,13%	35,6	44,38%
Gain de Cep	5,8		5,8		5,8		5,5		5,3	
n°7 : Automatisation de la fermeture des occultations de manière crépusculaire	77,0	-20,31%	65,6	-2,50%	57,1	10,78%	46,8	26,88%	33,4	47,81%
Gain de Cep	2,8		2,7		2,5		2,4		2,2	
n°8 : Ventilation simple flux Hygro B à double flux hygroréglable	60,8	5,00%	50,1	21,72%	42,3	33,91%	33	48,44%	22,3	65,16%
Gain de Cep par rapport à l'amélioration 7	16,2		15,5		14,8		13,8		11,1	

n°9 : Intégration de la chaudière hors volume chauffé	68,9	-7,66%	58,3	8,91%	50,4	21,25%	40,7	36,41%	29,6	53,75%
Perte de Cep	-8,1		-8,2		-8,1		-7,7		-7,3	
n°10 : panneaux rayonnants à plancher chauffant	74,1	-15,78%	62,5	2,34%	54,0	15,63%	43,7	31,72%	31,2	51,25%
Perte de Cep	-5,2		-4,2		-3,6		-3,0		-1,6	

Tout comme pour les logements collectifs, le chauffage par effet Joule nécessite des niveaux de Bbio très importants, avec un Bbio réglementaire, il faut un gain d'au moins 30 à 45%.

Cependant, associant une production PV, une récupération de chaleur sur les eaux grises, ainsi qu'une centrale double flux, le niveau de Bbio nécessaire diminue de 45% à 10%, ce qui est plus raisonnable. Il est à noter qu'avec cette énergie, il est plus aisé de valoriser et de proposer à son client une centrale de traitement de l'air double flux puisque celle-ci peut faire économiser une quinzaine de points de Cep en prestation bâti, ce qui absorbe le coût d'installation de celle-ci.

13. Chauffage via un poêle à bois / Effet Joule et ECS thermodynamique sur l'air extérieur à appoint électrique

Tableau 100 : Résultats de la solution 13 pour différents niveaux de Bbio.

Solutions	Niveau Bbio réglementaire		Bbio -10%		Bbio -20%		Bbio -30%		Bbio -45%	
	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain	Bbio	Gain
Bbio max	75.6	0.53 %	67.1	11.71 %	60.3	20.66 %	52.3	31.18 %	41.2	45.79 %
Cep max [kWhep. m ² srt.an ⁻¹]	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain	Cep	Gain
79.00	95,5	-20,89%	86,1	-8,99%	78,8	0,25%	70,3	11,01%	58,5	25,95%
Cep Chauffage	71,4		62,0	13,17%	54,8	23,25%	46,3	35,15%	34,5	51,68%
Cep ECS	18,3		18,3		18,3		18,3		18,3	

Cette solution, similaire dans l'esprit à la solution 12, diffère par le fait qu'il est possible de se chauffer partiellement à l'électricité avec un Bbio-20% au lieu de -30/-45%.

14. Conclusions sur les maisons

Tableau 101 : Classement des différentes solutions par ordre d'efficacité.

Classement des solutions	N° des solutions	Désignations des solutions	Cep réglementaire		Cep-10%		Cep-20%		Cep-30%		Cep-45%	
			Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep	Niveau de Bbio	Niveau des améliorations du Cep
1	9	Chaudière bois à condensation + ECS solaire	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	[+ et DWHR] ou ++	Bbio RT	[++ et DF] ou +++
									Bbio-10%	/	Bbio-10%	[+ et DWHR] ou ++
											Bbio-20%	+
											Bbio-30%	/
2	11	Géothermie	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[++ et DF] ou +++
									Bbio-10%	/	Bbio-10%	[+ et DWHR] ou ++
											Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++
											Bbio-30%	+
3	2	Chaudière individuelle gaz à micro-cogénération	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[++ et DF] ou +++
									Bbio-10%	/	Bbio-10%	[+ et DWHR] ou ++
											Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++
											Bbio-30%	+
4	8	Chaudière bois à condensation	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[+ et DWHR] ou ++	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****
							Bbio-10%	/	Bbio-10%	+	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++
									Bbio-20%	+	Bbio-20%	[++ et DF] ou +++
									Bbio-30%	/	Bbio-30%	[+ et DWHR] ou ++
5	7	PAC électrique pour le chauffage et appoint + ECS via une chaudière gaz à condensation	Bbio RT	/	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[++ et DF] ou +++	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****
							Bbio-10%	/	Bbio-10%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++
									Bbio-20%	+	Bbio-20%	[++ et DF] ou +++
									Bbio-30%	/	Bbio-30%	[+ et DWHR] ou ++
6	1	Chaudière individuelle gaz + Capteurs PV	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[+ et DWHR] ou ++	Bbio RT	[++ et DF] ou +++	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****
					Bbio-10%	/	Bbio-10%	+	Bbio-10%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-10%	[+++ et PV] ou ****
							Bbio-20%	/	Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-20%	[++ et DF] ou +++
									Bbio-30%	+	Bbio-30%	[++ et DF] ou +++
7	3	Chaudière individuelle gaz + ECS solaire thermique	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[+ et DWHR] ou ++	Bbio RT	[++ et DF] ou +++	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****
					Bbio-10%	/	Bbio-10%	+	Bbio-10%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-10%	[+++ et PV] ou ****
							Bbio-20%	/	Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-20%	[+++ et PV] ou ****
									Bbio-30%	+	Bbio-30%	[++ et DF] ou +++
8	10	PAC électrique pour le chauffage et l'ECS	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[+ et DWHR] ou ++	Bbio RT	[++ et DF] ou +++	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****
					Bbio-10%	/	Bbio-10%	+	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++	Bbio-10%	[+++ et PV] ou ****
							Bbio-20%	+	Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-20%	[+++ et PV] ou ****
							Bbio-30%	/	Bbio-30%	+	Bbio-30%	[++ et DF] ou +++
9	4		Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[+ et DWHR] ou ++	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****	[+ et DWHR] ou ++	

		Chaudière individuelle gaz + ECS thermodynamique à appoint élec.		Bbio-10%	/	Bbio-10%	+	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++	Bbio-10%	[+++ et PV] ou ****	
						Bbio-20%	/	Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-20%	[+++ et PV] ou ****	
						Bbio-30%	+	Bbio-30%	+	Bbio-30%	[++ et DF] ou +++	
						Bbio-45%	/	Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR] ou ++	
10	6	Chaudière individuelle gaz + ECS thermodynamique sur l'air repris	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[++ et DF] ou +++	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****		
				Bbio-10%	/	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++	Bbio-10%	[+++ et PV] ou ****	
						Bbio-20%	+	Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-20%	[+++ et PV] ou ****	
						Bbio-30%	/	Bbio-30%	+	Bbio-30%	[++ et DF] ou +++	
						Bbio-45%	/	Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR] ou ++	
11	5	Chaudière individuelle gaz + ECS thermodynamique à appoint gaz	Bbio RT	/	Bbio RT	+	Bbio RT	[++ et DF] ou +++	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****		
				Bbio-10%	/	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++	Bbio-10%	[+++ et PV] ou ****	
						Bbio-20%	+	Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-20%	[+++ et PV] ou ****	
						Bbio-30%	/	Bbio-30%	+	Bbio-30%	[++ et DF] ou +++	
						Bbio-45%	/	Bbio-45%	/	Bbio-45%	[+ et DWHR] ou ++	
12	13	Chauffage via un poêle à bois et appoint via de l'effet Joule + Ballon thermodynamique	Bbio RT	[+ et DWHR] ou ++	Bbio RT	[++ et DF] ou +++	Bbio RT	[++ et DF] ou +++	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****
			Bbio-10%	+	Bbio-10%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++	Bbio-10%	[++ et DF] ou +++	Bbio-10%	[+++ et PV] ou ****
			Bbio-20%	/	Bbio-20%	+	Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-20%	[++ et DF] ou +++	Bbio-20%	[+++ et PV] ou ****
					Bbio-30%	/	Bbio-30%	+	Bbio-30%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-30%	[++ et DF] ou +++
						Bbio-45%	/	Bbio-45%	+	Bbio-45%	[+ et DWHR] ou ++	
13	12	Chauffage par effet Joule + Ballon thermodynamique	Bbio RT	[+++ et PV] ou ****								
			Bbio-10%	[++ et DF] ou +++	Bbio-10%	[+++ et PV] ou ****	Bbio-10%	[+++ et PV] ou ****				
			Bbio-20%	[++ et DF] ou +++	Bbio-20%	[++ et DF] ou +++	Bbio-20%	[+++ et PV] ou ****	Bbio-20%	[+++ et PV] ou ****		
			Bbio-30%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-30%	[++ et DF] ou +++	Bbio-30%	[++ et DF] ou +++	Bbio-30%	[+++ et PV] ou ****	Bbio-30%	[+++ et PV] ou ****
			Bbio-45%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-45%	+	Bbio-45%	[+ et DWHR] ou ++	Bbio-45%	[++ et DF] ou +++	Bbio-45%	[++ et DF] ou +++

Légende	
Bbio RT	/
Bbio-10%	+ ou DWHR
Bbio-20%	[+ et DWHR] ou ++
Bbio-30%	[++ et DF] ou +++
Bbio-45%	[+++ et PV] ou ****
Aucun effort à faire	
Léger effort – DWHR Drain Water Heat Recovery - Récupération de chaleur sur eaux grises	
Contraintes moyennes	
Contraintes importantes – recours probable à une centrale de traitement de l'air double flux DF	
Contraintes très lourdes et qui peuvent être irrationnelles - recours probable à du photovoltaïque PV	
Impossibilité d'atteindre le niveau d'exigence	

Les solutions les plus adaptées à un niveau réglementaire et -10% en termes de Bbio et de Cep sont les solutions 1, 3, 10 et 4/5/6, qui sont respectivement, la chaudière individuelle gaz + PV, la chaudière + ECS solaire, la PAC électrique pour le chauffage et l'ECS et les solutions chaudières + ballons thermodynamiques. Elles permettent facilement d'être réglementaires. Aujourd'hui, la solution la plus fréquemment employée est la solution 1, chaudière + capteurs PV. C'est une solution qui reste simple du point de vue fonctionnement, qui ne cumule pas des systèmes différents, et les deux systèmes sont dissociés et fonctionnent indépendamment.

En revanche, les solutions solaires ont tendance à disparaître du paysage énergétique pour des raisons principalement liées à des mauvaises expériences, fuites en toiture et surdimensionnements.

La solution thermodynamique reste une solution classique aujourd'hui, cependant, les ballons thermodynamiques ne voient leurs implantations uniquement liées à l'obligation de recourir à une énergie renouvelable. En effet, se pose la pertinence de produire de l'ECS avec une machine thermodynamique qui doit remonter un delta de température pour chauffer l'eau allant jusqu'à 65 °C... D'où des COP saisonnier proches des 2,20/2,58.

En ce qui concerne le niveau Cep-10%/-20%, les solutions les plus adaptées sont les solutions 8 et 7, respectivement, chaudières bois à condensation et PAC électrique en mode chauffage et appoint + ECS via une chaudière individuelle gaz (PAC hybrides). Ces solutions permettent d'obtenir facilement les niveaux demandés tout en apportant de la performance. La chaudière bois voit ses performances s'améliorer avec l'arrivée de la condensation. Cependant, le condenseur nécessite une attention toute particulière lors de l'entretien annuel pour assurer la rentabilité de l'installation. Les solutions PAC hybrides sont assez fréquentes aujourd'hui, mais plus en province qu'en IDF. En effet, l'unité extérieure générant du bruit, elle ne convient pas ou peu à un paysage urbain excessivement dense. Cependant, quand cette solution est envisageable, elle apporte d'excellentes performances. Celles-ci sont nettement meilleures qu'en solution chaudières + ballons thermodynamiques puisque la température de fonction peut être mieux valorisée en mode chauffage.

S'il faut aller vers plus de performances, au-delà des 20 % de gain et éviter de surenchérir avec un niveau d'isolation trop important, les solutions performantes sont les solutions 9, 11 et 12, respectivement, chaudières bois à condensation + solaire, géothermique et micro-cogénération. En ce qui concerne les deux dernières solutions, bien que très performantes au regard de la réglementation, elles le sont en revanche un peu moins dans la réalité. Ces systèmes sont très performants dès lors qu'il y a une demande en chaleur importante et constante. Hors, à des niveaux d'isolation importants et pour des maisons de petites tailles, ces machines se révèlent inadaptées puisqu'elles ne fonctionneront pas aussi souvent que nécessaire pour engendrer un temps de retour sur investissement. Ainsi, avant de proposer ces solutions, il faudra bien étudier la rentabilité future de ces machines afin d'éviter des aberrations énergétiques.

Enfin, les solutions effet Joule trouvent difficilement leurs places à des niveaux de Cep RT et -10%. En revanche, dès lors qu'il est possible de les intégrer, elles se révèlent plutôt adaptées à des forts niveaux d'isolation. Pour les mêmes raisons évoquées précédemment, pour la géothermie et la micro-cogénération, l'effet Joule apporte une réactivité de chauffe intéressante, tout en assurant un coût d'investissement système très faible. À des niveaux d'isolation Bbio-30 à Bbio-45%, la maison est quasiment passive. Il n'y a plus vraiment besoin d'une unité de production conventionnelle pour la chauffer, ainsi l'effet Joule vient en « appoint » des apports internes et externes pour chauffer la maison. La présence d'un poêle à bois permet d'obtenir un droit à consommer qui se paie au détriment d'un bâti beaucoup moins performant. Même si cette solution est fréquemment employée elle se fait au détriment de la performance énergétique.

Pour finir, d'une manière générale, il faut implanter les systèmes dans le volume chauffé afin de récupérer les pertes thermiques dans le volume habitable. Sans cela, il est possible de perdre entre 5 et 10% de points de Cep. De plus, une attention toute particulière doit être apportée au choix des régimes de températures des différentes machines afin de favoriser la performance de ces derniers. Et ce en particulier pour les machines utilisant les procédés de condensation et ainsi que les machines thermodynamiques fournissant du chauffage. Cela favorise les performances des machines, leur bon fonctionnement ainsi qu'un coût d'exploitation maîtrisé.

Même si des systèmes sont performants du point de vue réglementaire, il ne faut pas oublier leurs fonctionnements réels. Il faut proposer des systèmes adaptés aux besoins des bâtiments et surtout dimensionnés en conséquence. Enfin, même en faisant tout cela, les coûts d'exploitation doivent être maîtrisés et il est important de proposer des alternatives minimisant ces coûts.

III. CONCLUSION

Afin d'atteindre les niveaux d'exigences réglementaires ainsi que les niveaux plus importants imposés par les maîtres d'ouvrage/villes/bailleurs, il est primordial bien avant de définir le procédé d'isolation, d'analyser les points forts et faibles d'un bâtiment. Car en proposant des solutions bâties adaptées, on atteint avec plus de facilité les niveaux d'exigence tout en maîtrisant les coûts de construction. Même sans cela, des solutions existent pour atteindre d'importants niveaux de Bbio, ce qui peut permettre de proposer d'autres solutions énergétiques (Cf. chauffage électrique).

Il a été montré que les procédés d'isolation par l'extérieur conviennent particulièrement aux bâtiments ayant beaucoup d'étages mais également aux bâtiments disposant de terrasses et de retraits de façade.

Les solutions en briques isolantes prennent leurs sens pour les maisons et les bâtiments compacts ou non, ayant peu d'étage, ayant des combles légers aux derniers niveaux ainsi qu'un traitement des ponts thermiques bas avec une chape thermique.

Les solutions bétons et isolations intérieures sont adaptées aux bâtiments très compacts, cependant, les volumes de rupteur thermique seront très importants.

Enfin, les solutions ossatures bois conviennent à tous les types de constructions, individuelles ou collectives. Elles associent les avantages de l'ITI et de l'ITE pour une performance optimale. En revanche, ce procédé est très peu présent en IDF.

Enfin, des gisements d'économies d'énergie importants sont à réaliser en apportant des solutions ponctuelles d'isolations extérieures et intérieures, en créant des doubles isolations locales traitant à la fois des ponts thermiques bas/hauts et mêmes verticaux. Ces traitements de ponts thermiques ne sont pas à négliger car il est possible de gagner entre 5 et 15% de gain supplémentaire sur le Bbio, ce qui est colossal.

Quand les bureaux d'études en ont la possibilité, il faudrait même aider les architectes à concevoir des bâtiments plus performants au niveau de leurs compacités et leur proposer des alternatives permettant de lier leurs envies architecturales avec de bonnes compacités. Cela peut aller de jouer sur les volumes, créer des bâtiments avec plus de niveaux, une plus grande profondeur, sortir les volumes non chauffés de l'intérieur des bâtiments vers l'extérieur, ou bien les agglomérer pour pouvoir mieux les traiter. Il a été montré que des gains de compacité de X % peuvent entraîner également X % de gain sur le Bbio.

Enfin, valoriser un certain confort d'été en apportant des occultations motorisées et pilotées à toutes les baies peuvent également entraîner un gain d'environ 5%.

En ce qui concerne les productions de chaleur pour le chauffage et l'ECS, les tableaux classant les diverses solutions, en fonction des niveaux de Bbio, sont une bonne base pour choisir des systèmes adaptés aux niveaux d'exigence. Car c'est en partant sur de bonnes bases qu'il est possible d'atteindre de la performance.

Cependant, ce rapport a montré qu'au-delà des systèmes produisant l'énergie de chauffage et d'ECS, il est tout aussi important d'accorder un soin particulier à la bonne régulation de ces derniers. En effet, il est possible de gagner jusqu'à 10% de gain de Cep en proposant des régimes de températures adaptés aux différentes machines, des régulations adaptées au niveau des systèmes de production mais également d'émission, et aussi accorder un soin particulier au choix du matériel de ventilation, mais aussi à sa bonne étanchéité.

De plus, il ne faut pas avoir peur d'aller chercher des points supplémentaires, facilement récupérables, en récupérant les énergies fatales comme la récupération de chaleur sur les eaux grises. Il en est de même pour la perméabilité à l'air qui est aujourd'hui maîtrisée par les entreprises. Des niveaux de perméabilité à l'air en dessous de $0,5 \text{ [m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}]$ sous 4 Pa sont régulièrement atteints. Ces gisements sont légèrement inférieurs à 10%.

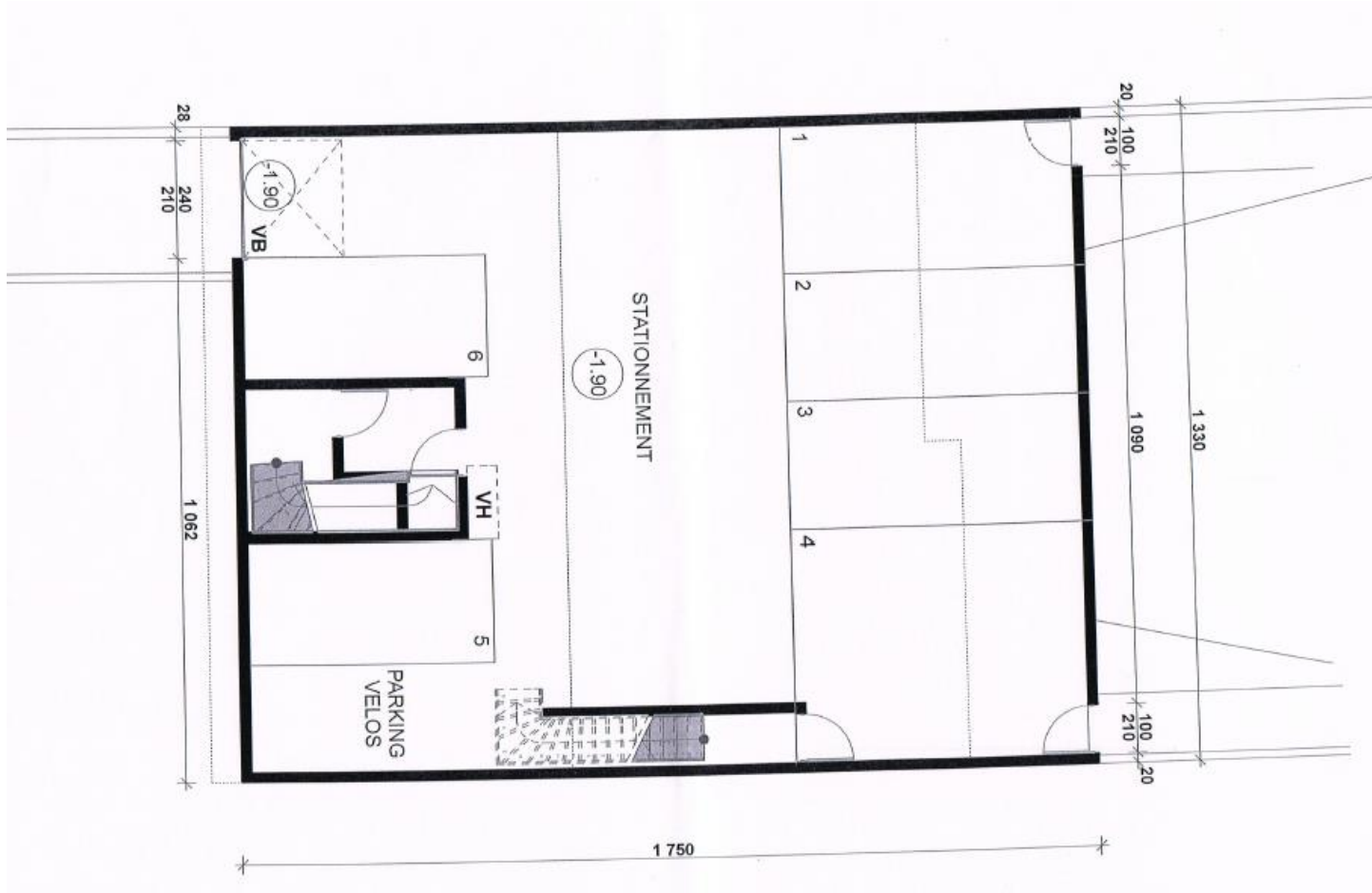
Le mot de la fin serait de concevoir et de proposer des solutions qui sont raisonnées de manière globale en prenant en considération chaque particularité des projets. Cela peut être de proposer des associations intelligentes de système, comme l'ITI et l'ITE, les chaudières hybrides ou l'association d'une production PV et d'un chauffage par effet Joule et ECS thermodynamique, le tout avec une régulation adaptée. Cela permet de cumuler les avantages des différents systèmes. Car il ne faut pas oublier que les systèmes sont conçus pour une durée de vie de 15 à 20 ans.

Cette étude a été effectuée sur un parc de bâtiments d'habitation, et il y a déjà beaucoup à dire, une ouverture de ce rapport sur d'autres bâtiments serait intéressante, comme sur les bâtiments de bureaux et de crèches par exemple. La même remarque serait à faire au niveau des systèmes de production de chaleur en bâtiment tertiaire comme pour la climatisation, l'éclairage et les modes de chauffage propres à ces bâtiments.

IV. ANNEXES

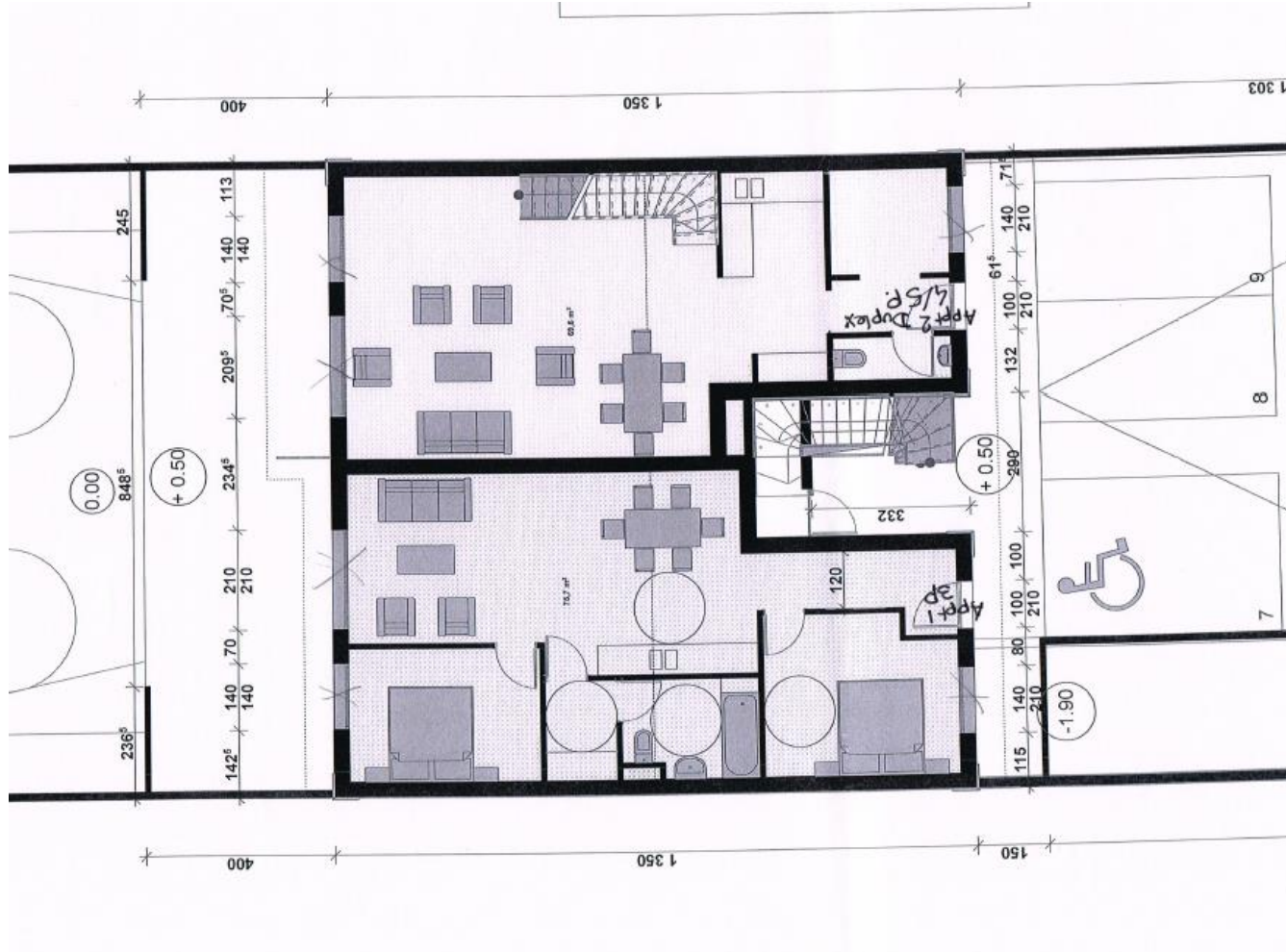
- Annexe : A1

Plan du sous-sol



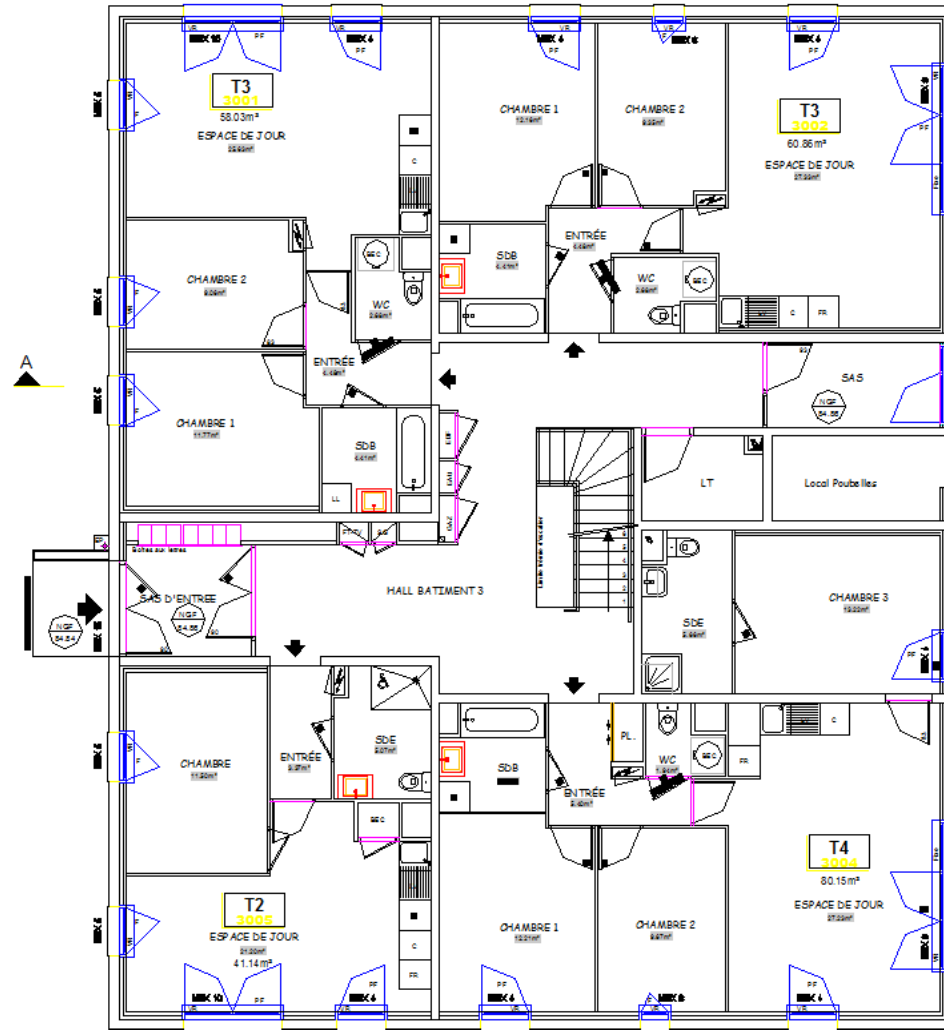
- Annexe : A1

Plan du RDC

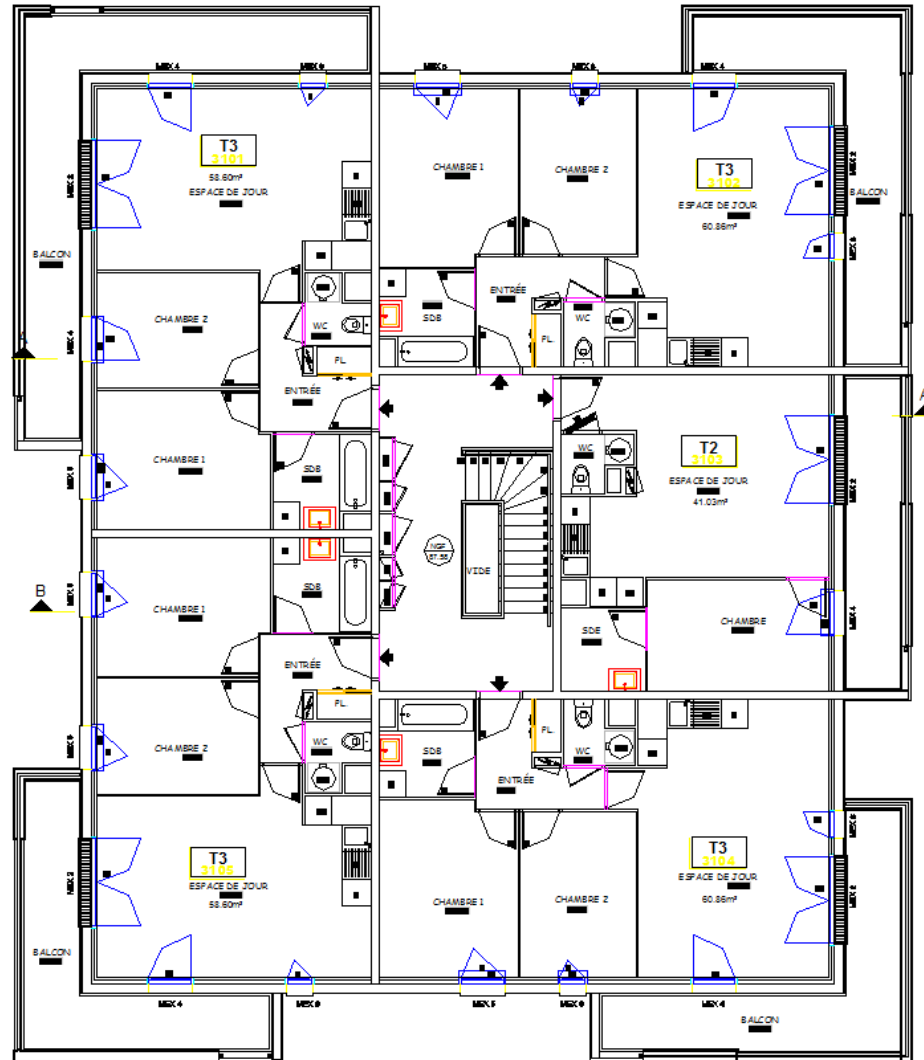


- Annexe : A2

Plan du RDC



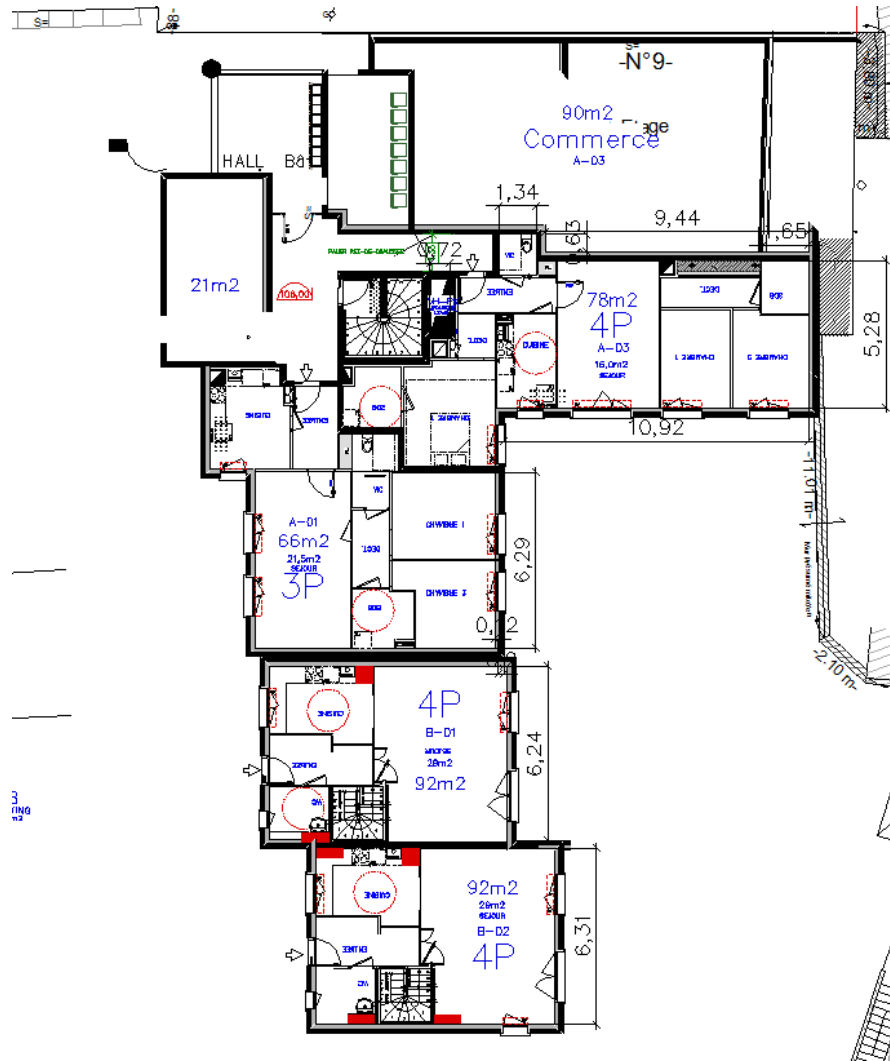
- Annexe : A2



Plan du R+1 et R+2

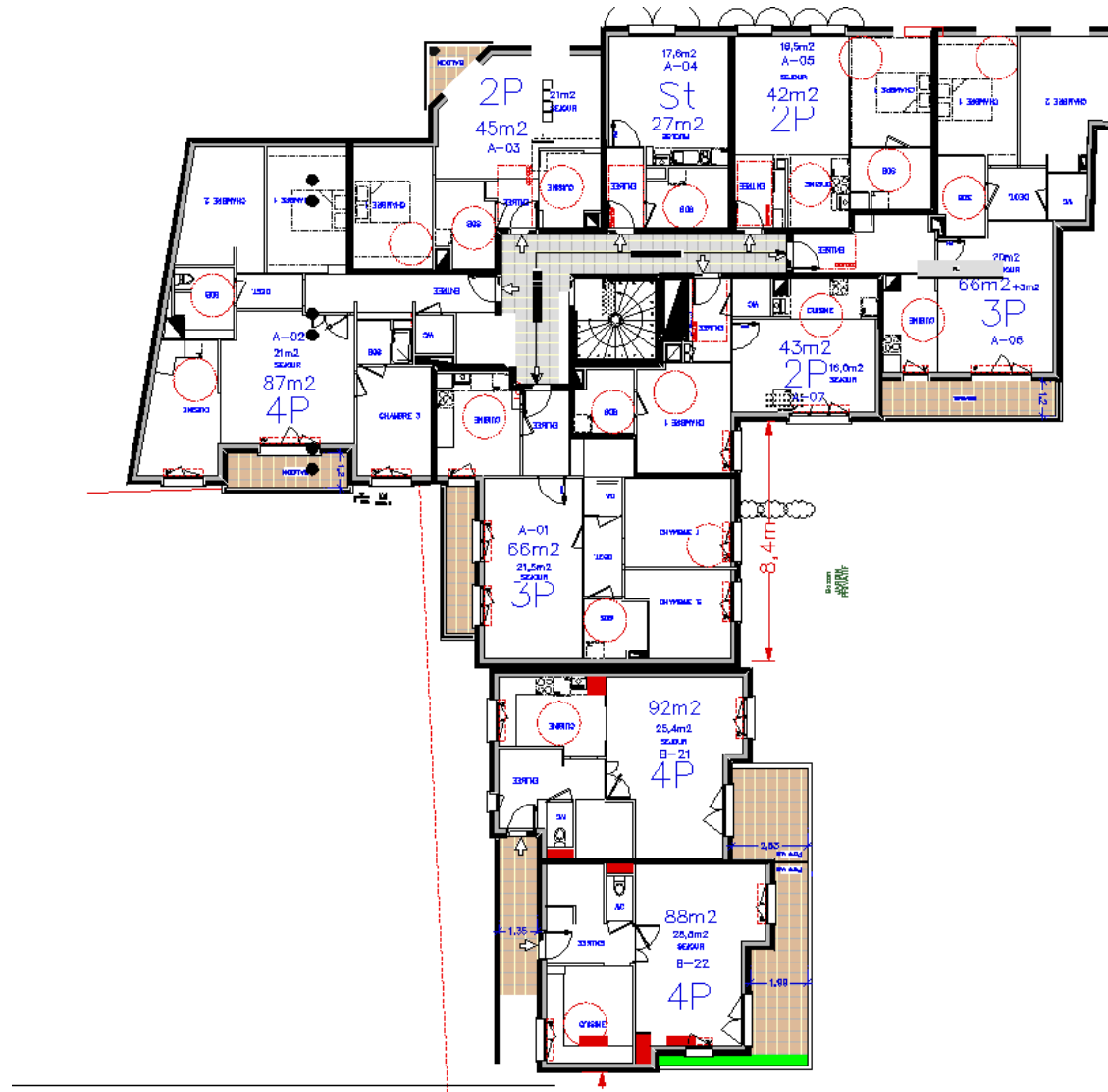
- Annexe : A3

Plan du RDC



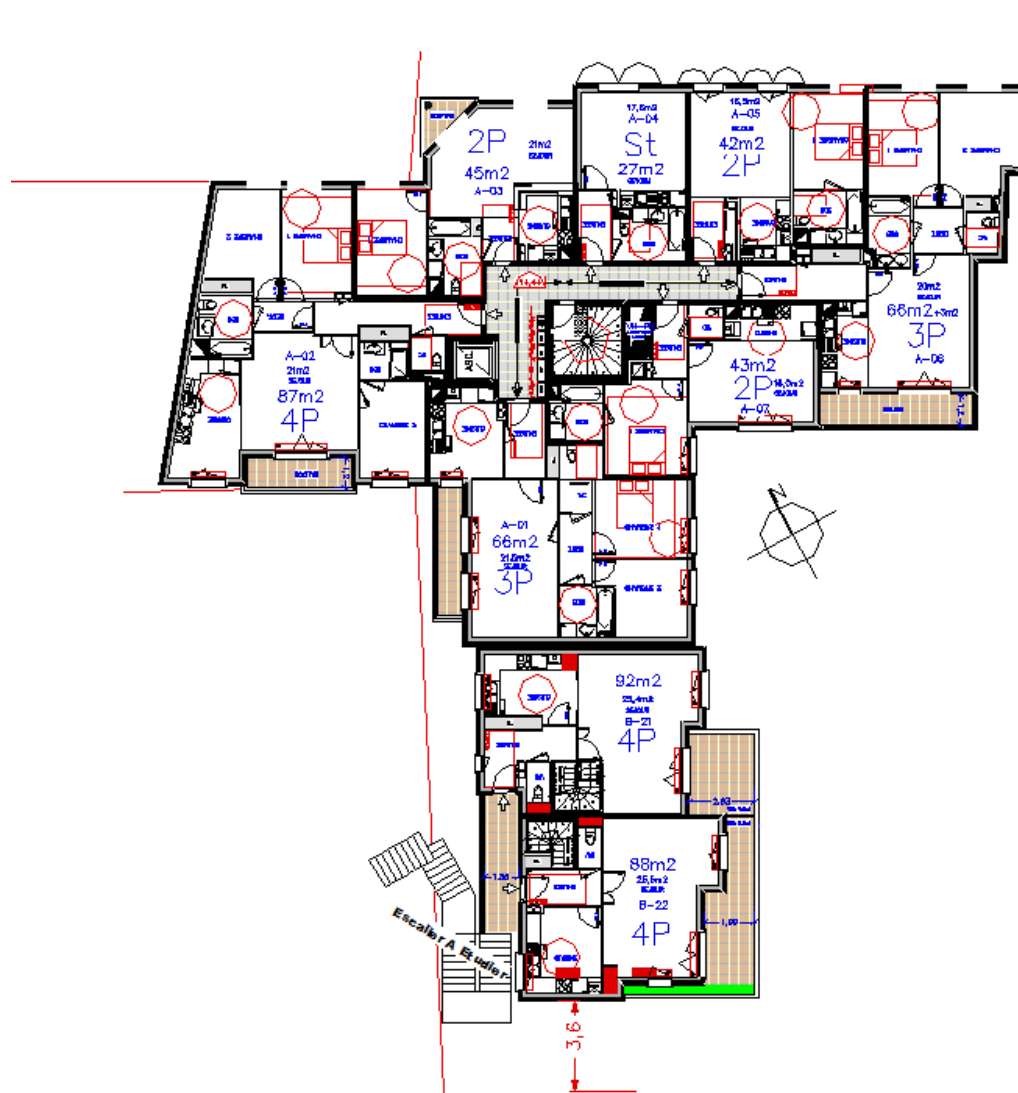
- Annexe : A3

Plan du R+1



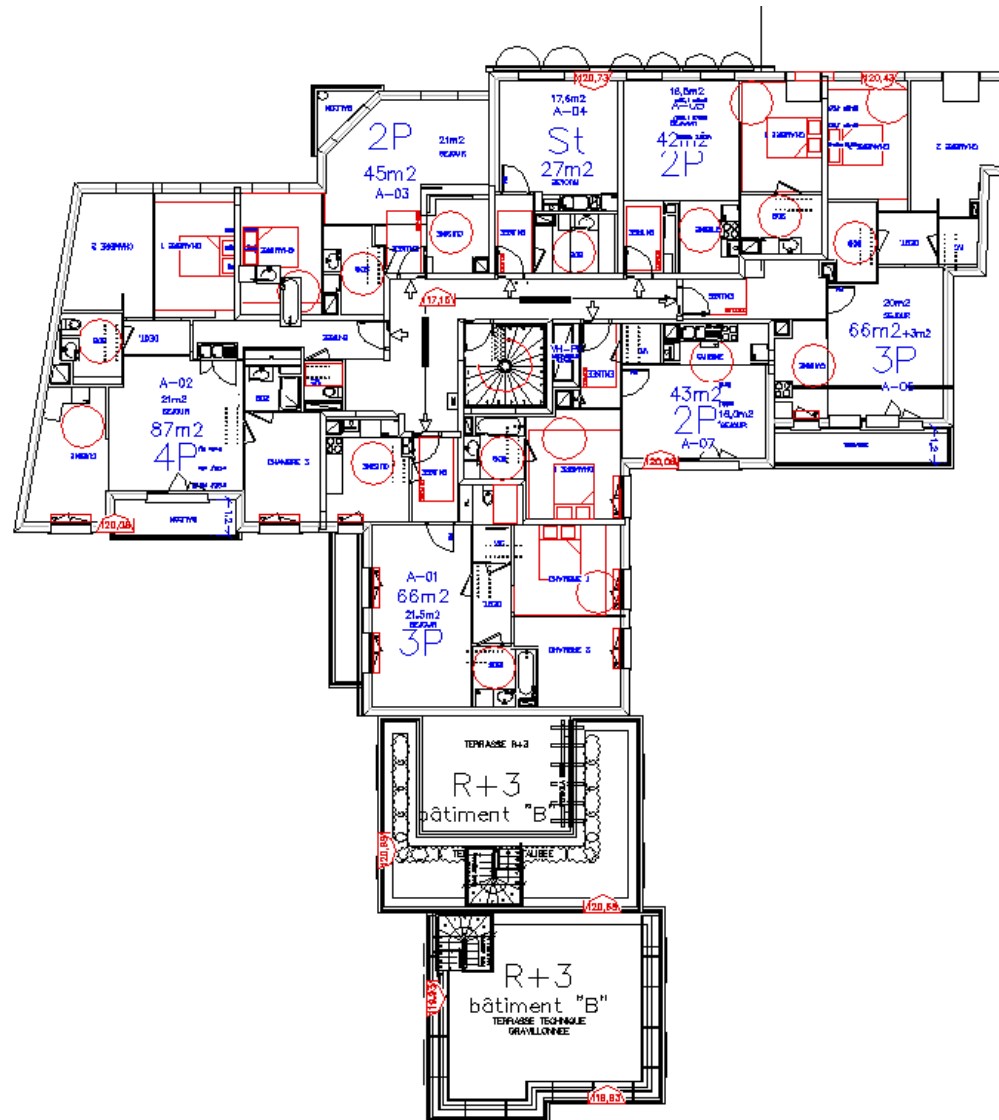
- Annexe : A3

Plan du R+2



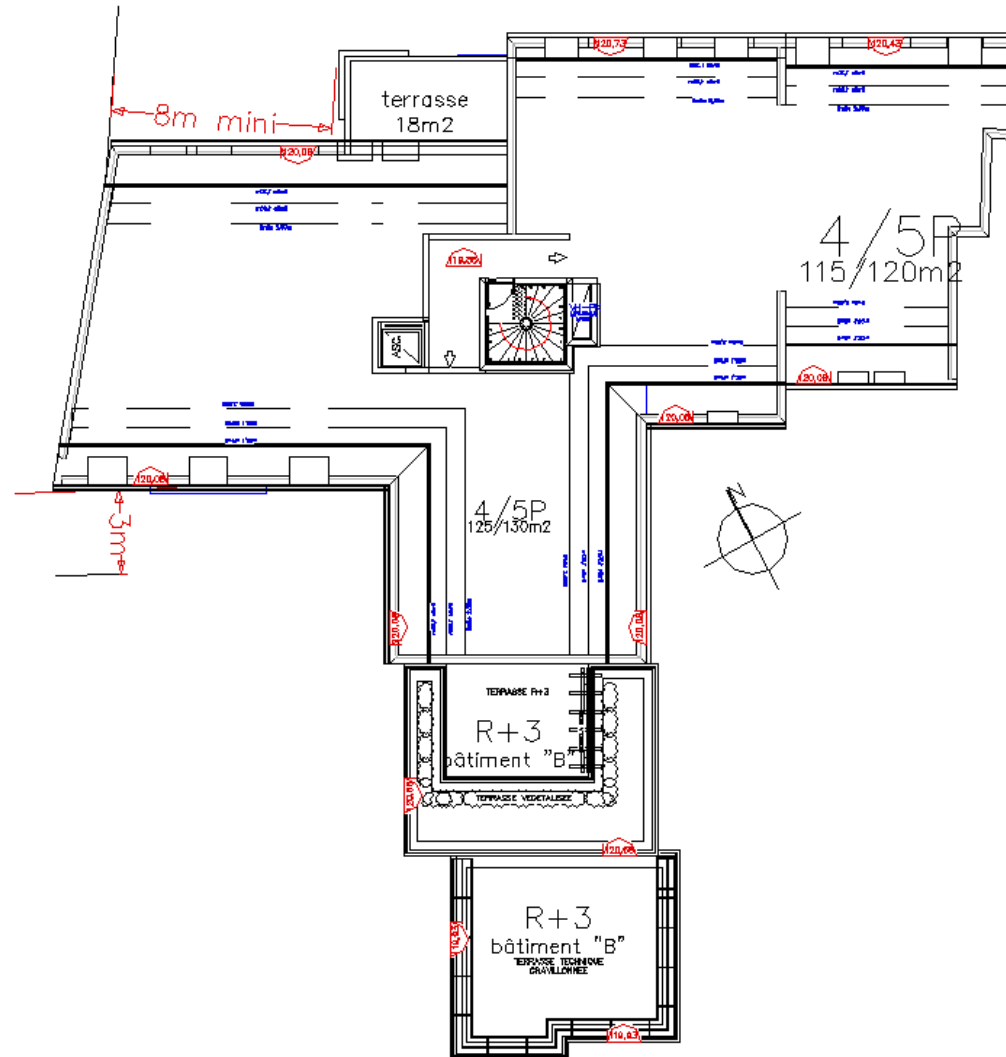
- Annexe : A3

Plan du R+3



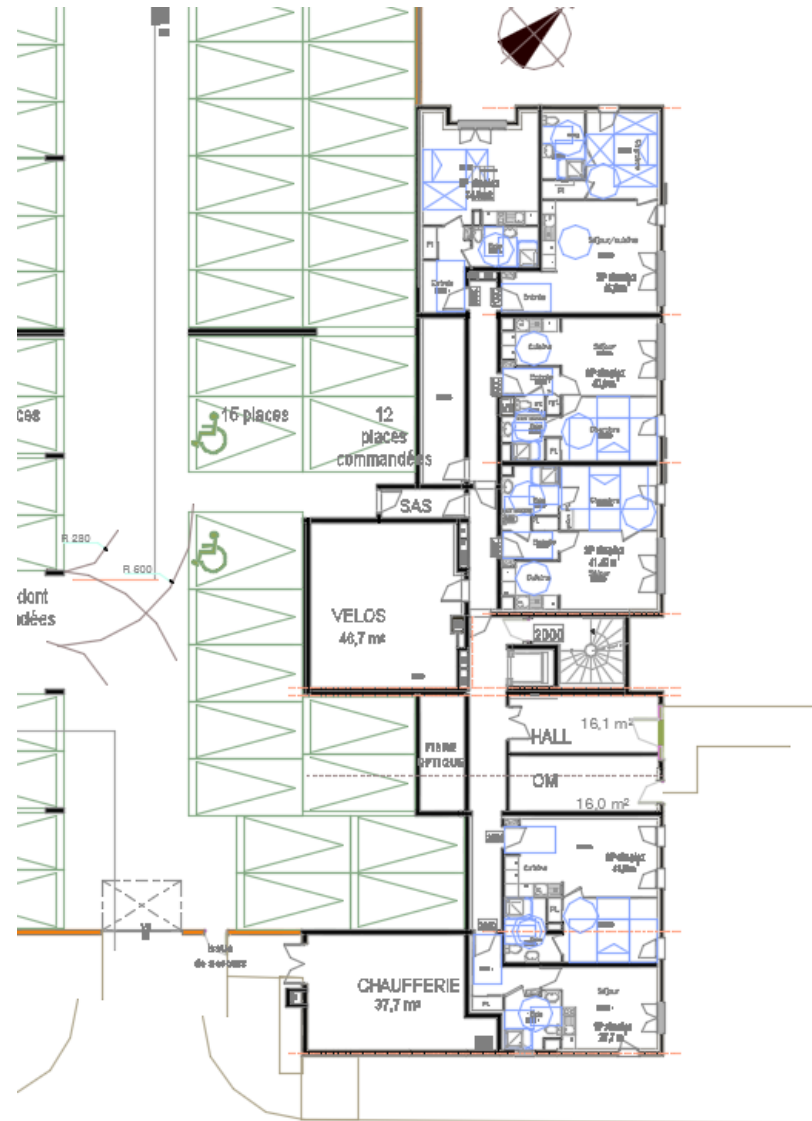
- Annexe : A3

Plan du R+4 (combles)



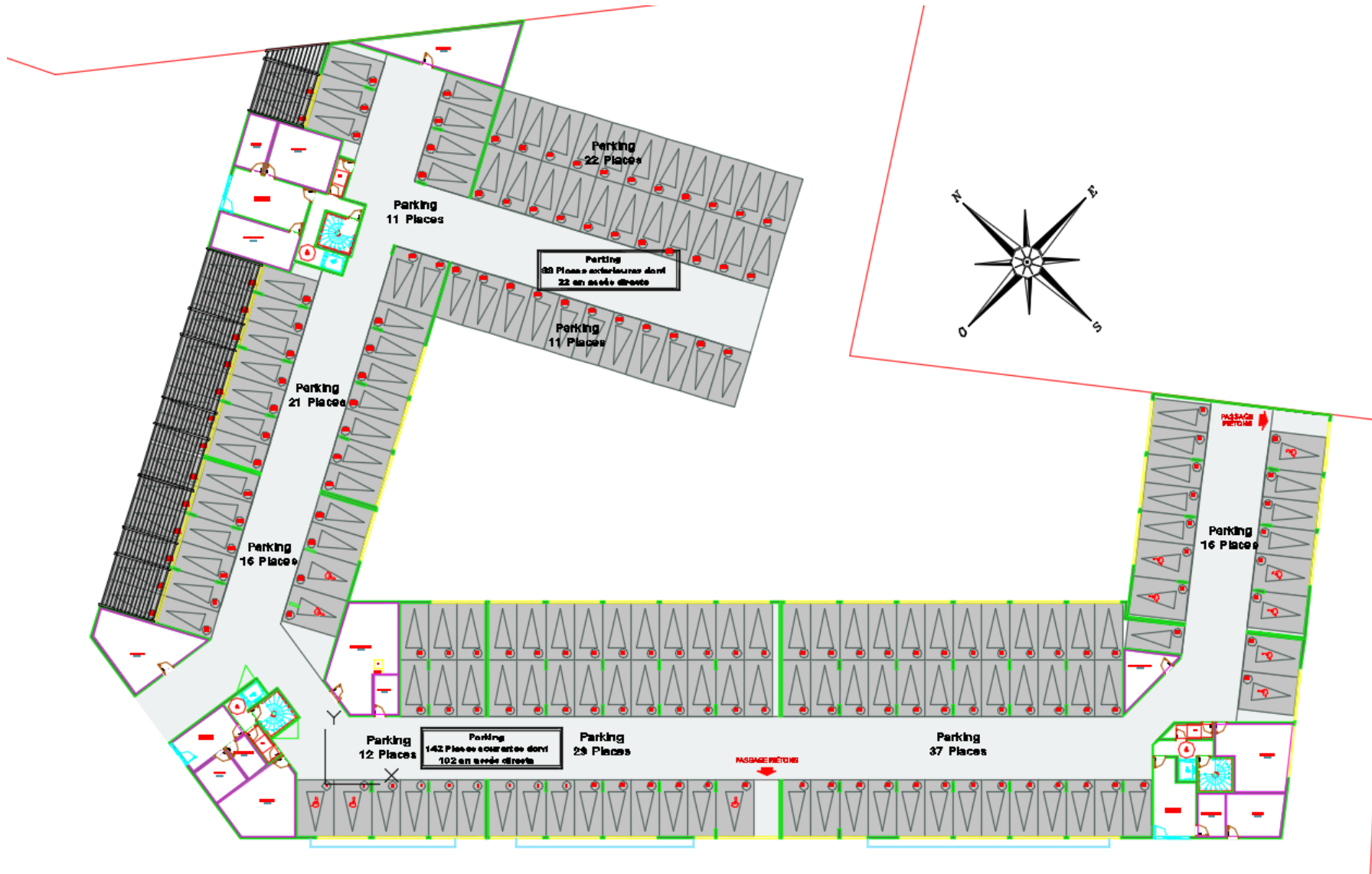
- Annexe : A4

Plan du RDC



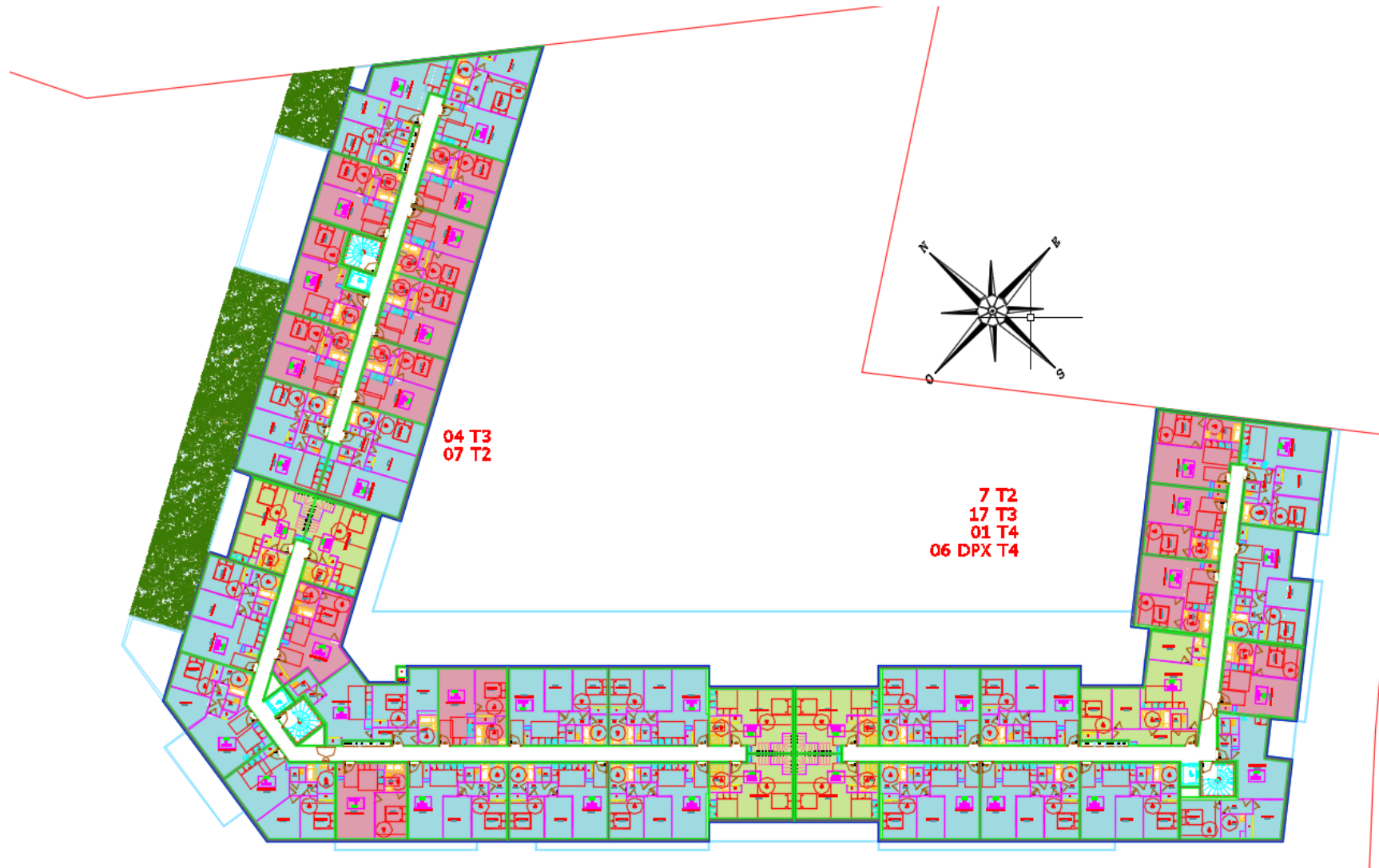
- Annexe : A5

Plan du RDC, parking sur pilotis



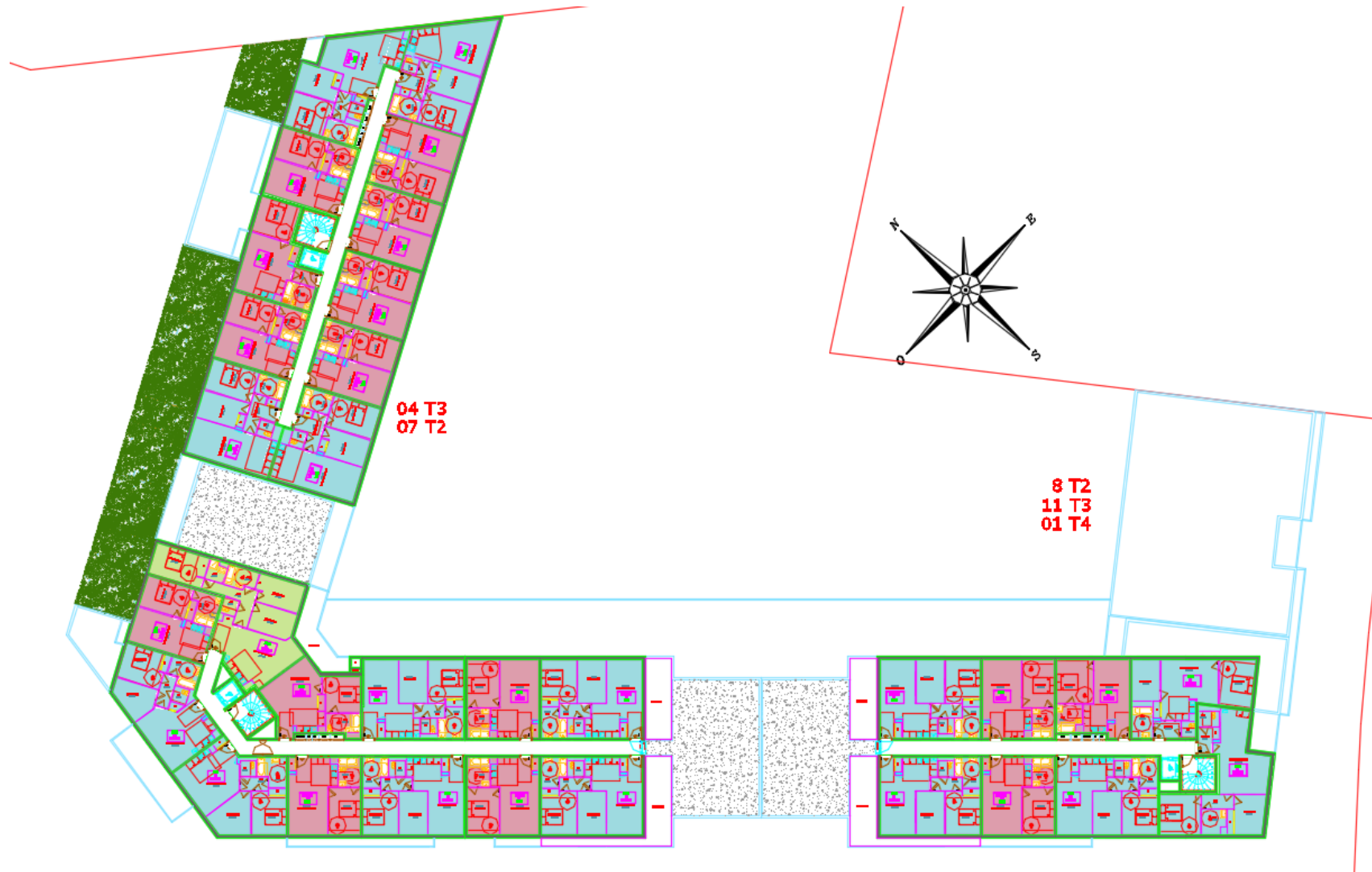
- Annexe : A5

Plan du R+1 (1^{er} niveau chauffé)



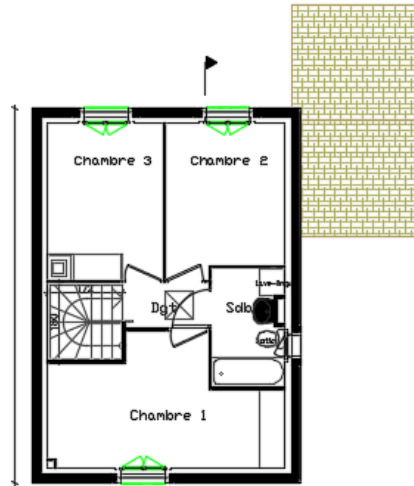
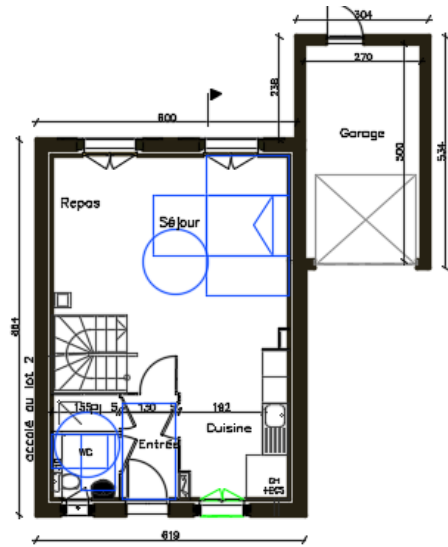
- Annexe : A5

Plan du R+3, attique



- Annexe : B1

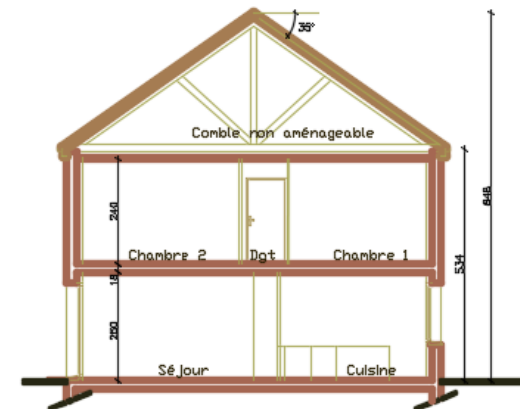
Plans de niveaux, façades et coupe



FAÇADE AVANT



FAÇADE ARRIERE



- Annexe : B2

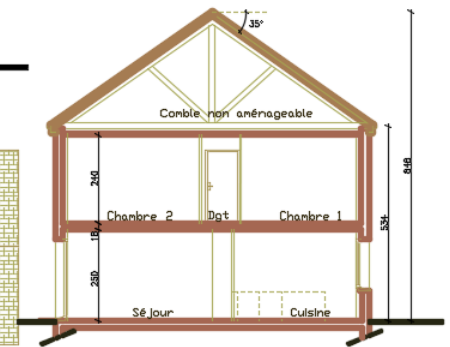
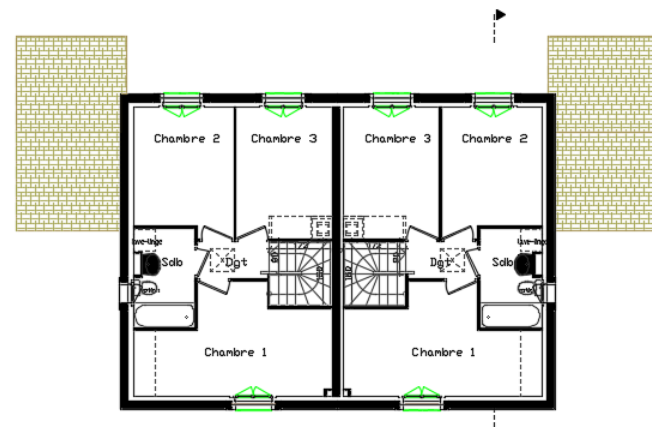
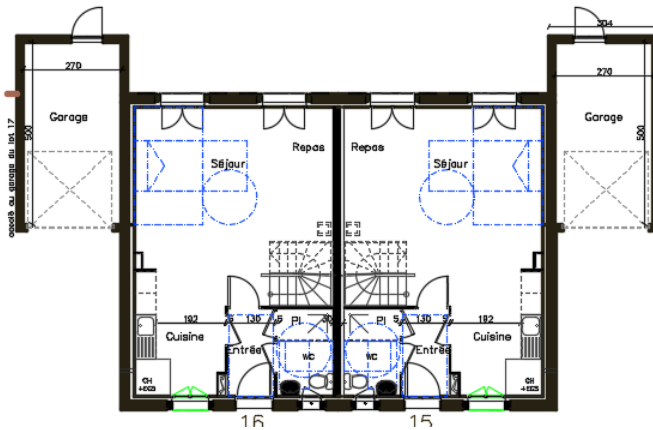
Plans de niveaux, façades et coupe



FACADE AVANT

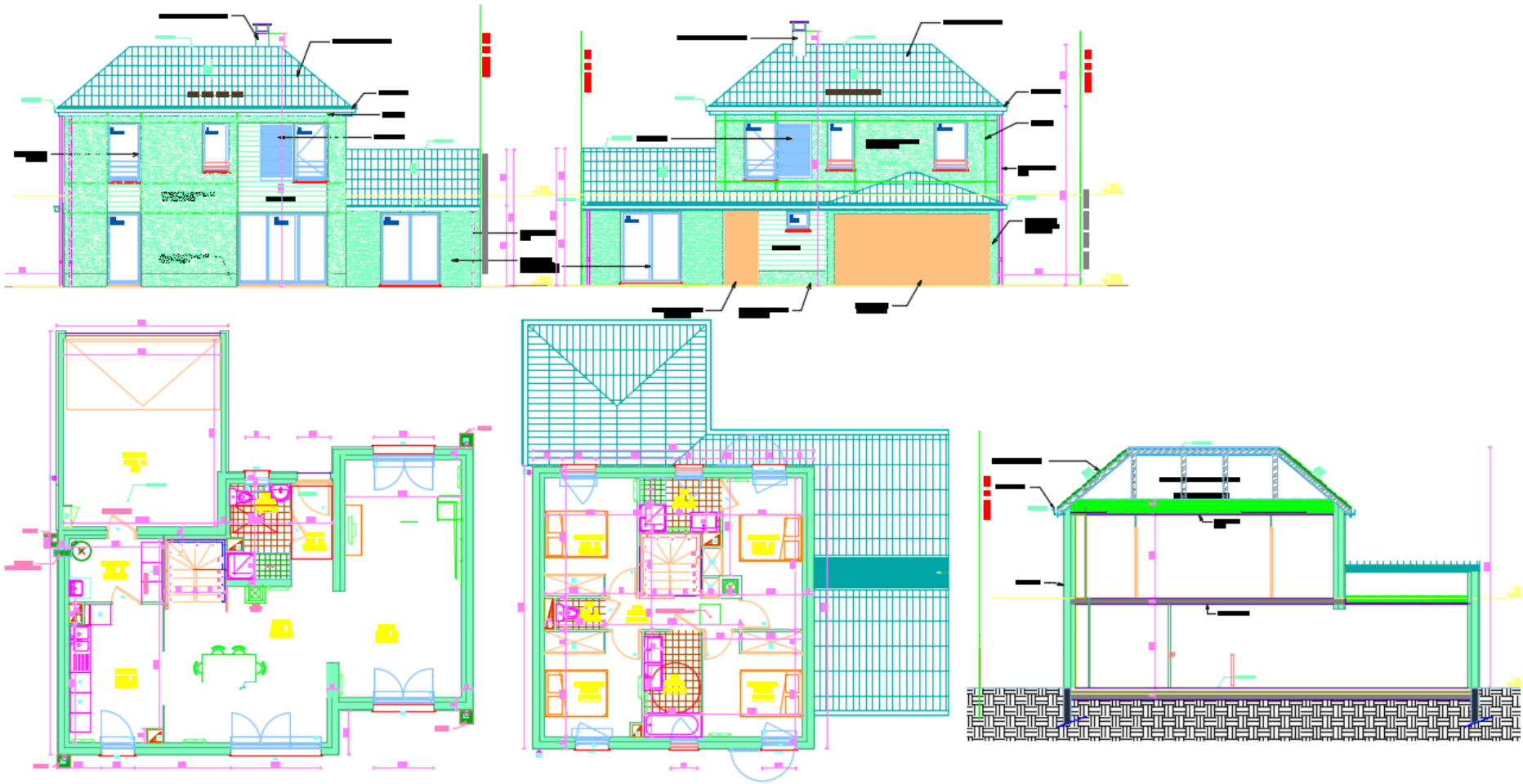


FACADE ARRIERE



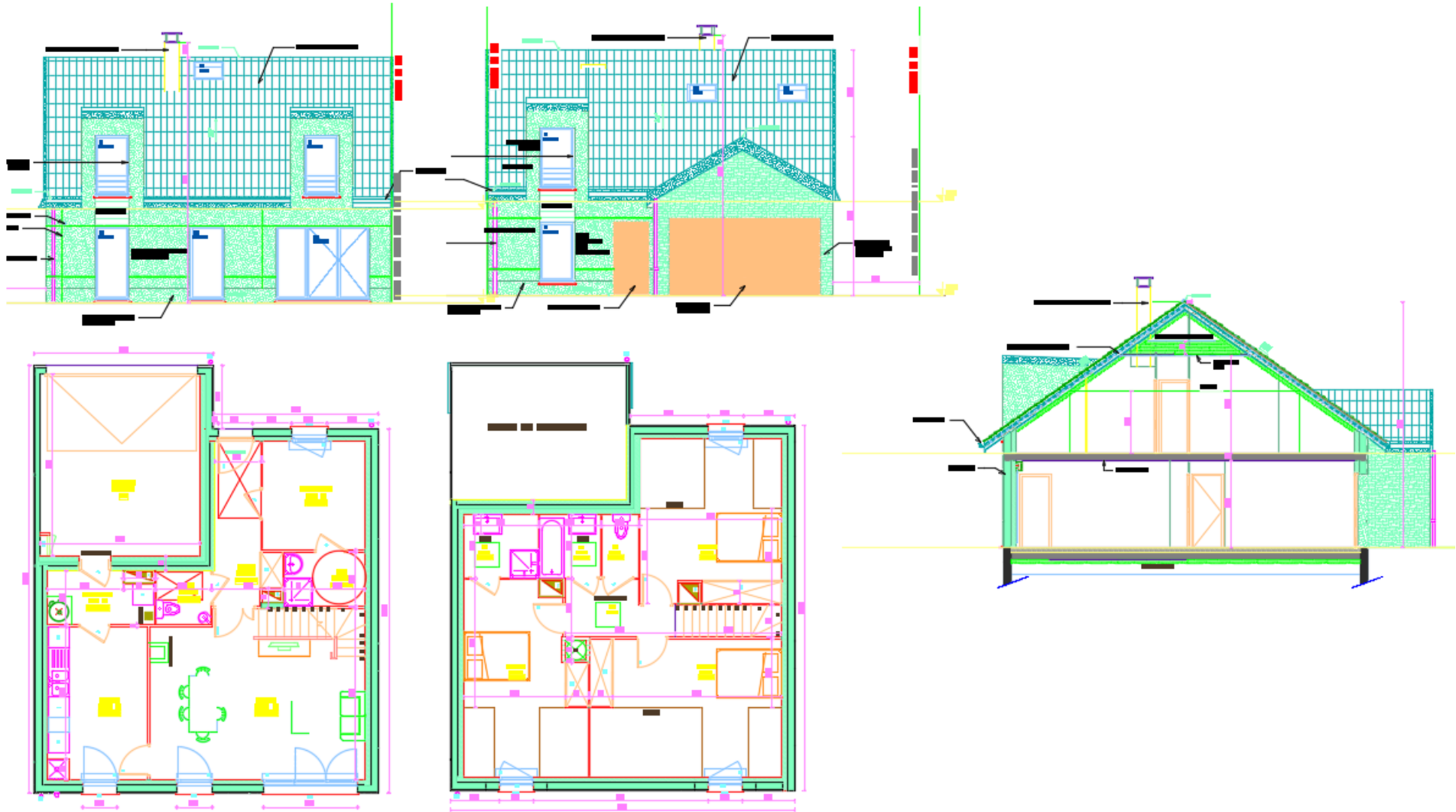
- Annexe : B3

Plans de niveaux, façades et coupe



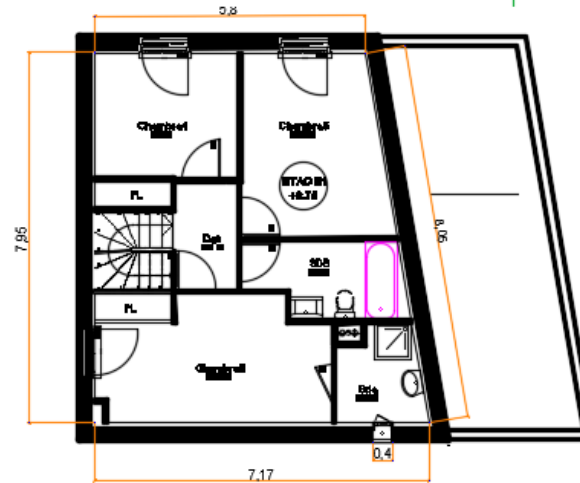
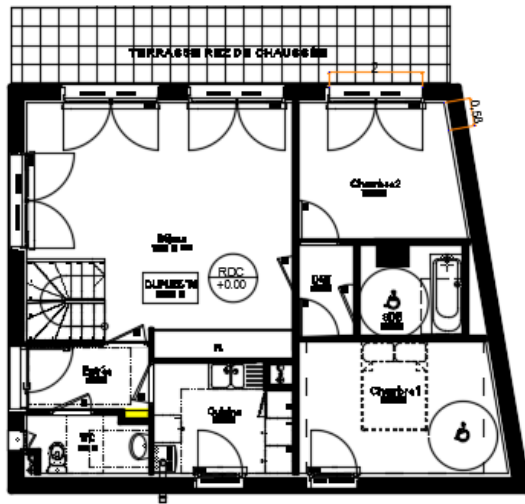
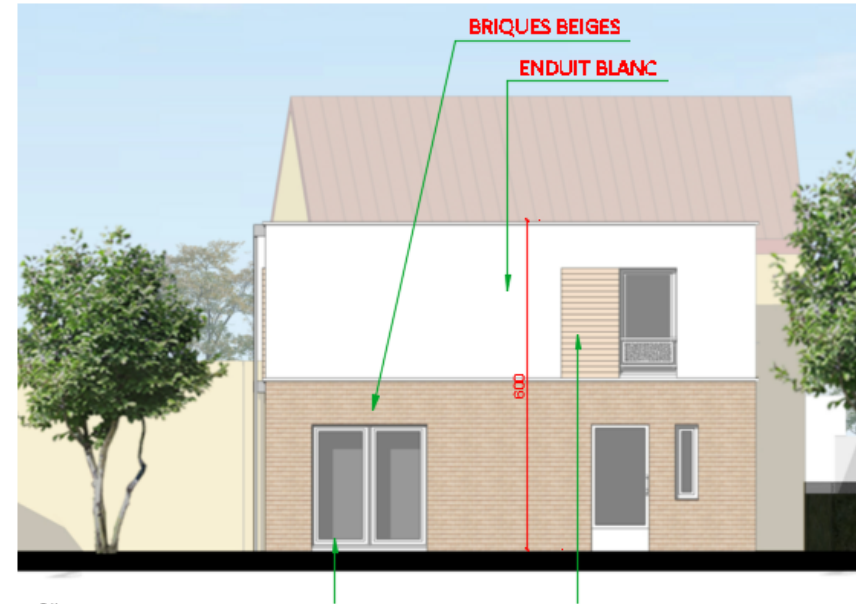
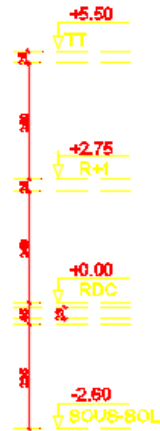
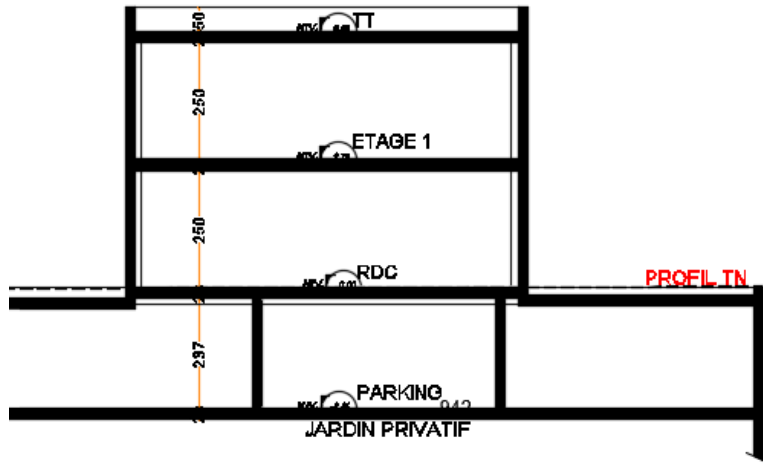
- Annexe : B4

Plans de niveaux, façades et coupe



- Annexe : B5

Plans de niveaux, façades et coupe



- Annexe : C1

Détails de calcul du taux de couverture solaire de 30%

Cergy-Pontoise, Latitude: 49°3

Données météo

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T° extérieure	4,1	5,8	8,2	10	14	17	18,7	19,8	15,5	12,2	7,3	4,7
T° eau froide	10,77	11,62	12,82	13,72	15,72	17,22	18,07	18,62	16,47	14,82	12,37	11,07

T° eau froide : Methode ESM2 +3.0°C

Installation

Capteurs		Stockage	
Surface	60 m ²	Situation	Exterieur
Solar Plan 230V Atlantic Industrie (30 x 2 m ²)		Temperature ECS	60 °C
Inclinaison	30 °/Horiz	Volume de stockage	3000 Litres
Orientation	0°/Sud	Cste de refroidissement	0,07Wh/jour.l.°C
Coefficient B	0,82	Type d'installation	Circulation forcee, echangeur separe
Coefficient K	4,3W/m ² .°C		

	Irradiation capteurs (Wh/m ² .jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	1148	11606	1041	33,6	9,0	6541
Fevrier	2018	10302	1717	61,3	16,7	6541
Mars	3087	11123	2962	95,6	26,6	6541
Avril	4306	10559	3959	132,0	37,5	6541
Mai	4738	10439	4543	146,5	43,5	6541
Juin	5106	7541	4495	149,8	59,6	5054
Juillet	5403	6740	4654	150,1	69,1	4460
Aout	4868	6652	4305	138,9	64,7	4460
Septembre	3770	8124	3446	114,9	42,4	5351
Octobre	2560	10166	2480	80,0	24,4	6243
Novembre	1589	10867	1433	47,8	13,2	6541
Decembre	900	11535	810	26,1	7,0	6541

Taux couverture solaire	31,0	%	Apport solaire annuel	35844	kWh/an
Besoin annuel	115653	kWh/an	Productivite annuelle	597	kWh/m ² .an

calcul realise sur www.tecsol.fr

- Annexe : C2

Détails de calcul du taux de couverture solaire maxi de 44%

Cergy-Pontoise, Latitude: 49°3	
--------------------------------	--

Donnees meteo

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
T° exterieure	4,1	5,8	8,2	10	14	17	18,7	19,8	15,5	12,2	7,3	4,7
T° eau froide	10,77	11,62	12,82	13,72	15,72	17,22	18,07	18,62	16,47	14,82	12,37	11,07

T° eau froide : Methode ESM2 +3.0°C

Installation

Capteurs

Stockage

Surface	96 m2	Situation	Exterieur
Solar Plan 230V Atlantic Industrie (48 x 2 m ²)		Temperature ECS	60 °C
Inclinaison	30 °/Horiz	Volume de stockage	5000 Litres
Orientation	0°/Sud	Cste de refroidissement	0,07Wh/jour.l.°C
Coefficient B	0,82	Type d'installation	Circulation forcee, echangeur separe
Coefficient K	4,3W/m2.°C		

	Irradiation capteurs (Wh/m2.jour)	Besoins (kWh/mois)	Apports (kWh/mois)	Apports (kWh/jour)	Taux (%)	Volume (litres)
Janvier	1148	11606	1567	50,5	13,5	6541
Fevrier	2018	10302	2570	91,8	24,9	6541
Mars	3087	11123	4425	142,7	39,8	6541
Avril	4306	10559	5859	195,3	55,5	6541
Mai	4738	10439	6665	215,0	63,8	6541
Juin	5106	7541	6144	204,8	81,5	5054
Juillet	5403	6740	5987	193,1	88,8	4460
Aout	4868	6652	5684	183,4	85,5	4460
Septembre	3770	8124	4984	166,1	61,4	5351
Octobre	2560	10166	3688	119,0	36,3	6243
Novembre	1589	10867	2142	71,4	19,7	6541
Decembre	900	11535	1224	39,5	10,6	6541

Taux couverture solaire	44,0	%	Apport solaire annuel	50938	kWh/an
Besoin annuel	115653	kWh/an	Productivite annuelle	531	kWh/m2.an

calcul realise sur www.tecsol.fr

V. BIBLIOGRAPHIE

[1] – l'arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments.

[2] – www.tecsol.fr en juillet 2015.

[3] – « Ratio des besoins en ECS pour le dimensionnement des installations en solaire thermique » extrait du site : http://www.solaire-collectif.fr/photo/img/outils/Fiche_Ratios_Besoins_ECS-juin_2014.pdf, le 1er juillet 2014.

[4] - D'une manière générale, l'ensemble des calculs ont été effectués conformément aux règles TH-U et Th-BCE 2012.

RÉSUMÉ

La nouvelle réglementation thermique, RT2012, entraîne de profonds bouleversements dans la manière de construire et de concevoir des bâtiments. Là où avant, les choix des isolants et des équipements étaient généralement décidés après que les plans soient dessinés, aujourd'hui, cette manière de travailler est obsolète. En effet, beaucoup d'obligations réglementaires doivent être anticipées lors de la phase esquisse, et ainsi, éviter une non-conformité. Il en est de même pour les principes d'isolation et d'équipement, en fonction de la géométrie du bâtiment, de l'usage du bâtiment et du niveau d'exigence demandé. Bien souvent, un expert thermicien doit être présent en phase conception pour assister les architectes. Ce document a ainsi pour objectif de trouver des solutions permettant d'atteindre facilement les objectifs en termes de Bbio et de consommation. Il explique l'intérêt de bien choisir la géométrie d'un bâtiment afin d'atteindre plus facilement les exigences. En effet, la compacité du bâtiment en dépend. Il propose des solutions adaptées à une architecture donnée. Enfin, en fonction des différents niveaux d'exigences de besoin bioclimatique et de consommation, des solutions d'équipements adaptées sont proposées.

Mots clés : Bbio, Compacité, Consommation, Énergie, Isolation, RT2012.

SUMMARY

The new French thermal regulation of the year 2012, names RT2012, generates dramatic changes about methods we used to design a building. In the past, the choice of insulations and equipment was often decided after that layout of the project was finished. Today, this way of working is impossible. In fact, many regulatory obligations should be anticipated when plans are drawn up to avoid a non-compliance. It's the same for the choice of insulations and equipment, which depending on the building geometry, the destination of building (house, office ...) and naturally, instead of requested use required. Often, an energy engineer must be present in the design period to assist architects. This document can be used to quickly find simple solutions to help one decrease the bioclimatic need and the amount of energy consumed. My thesis explains why it is important to choose a good geometrical shape of a building, that not only pleases the architect, but one that also fulfills the requirements of the thermal regulation required by RT2012. This document offers adaptable solutions for a building geometry. In conclusion, I propose suitable equipment based on the different levels of bioclimatic need and consumption level.

Key words : Bioclimatic need, compactness building, energy, energy consumption, thermal insulation, thermal regulation of the year 2012.