

# Quelles solutions pour des bâtiments de bureaux climatisés à moins de 100 kWh/m<sup>2</sup>/an ?

## Rapport final

Contrat ARMINES/ADEME n° C02 04 100

Référence CSTB : DDD/PEB - 05.044 R

*Dominique Marchio, Sila Filfli (ARMINES - CEP)*

*Jean Robert Millet, Emmanuel Fleury, Jean-Marie Alessandrini, Augustine Fery, Philippe Tournie (CSTB)*

*Pierre Damolis, Daniel Gourmez (ALTO ingénierie)*

*Septembre 2005*

## SOMMAIRE

---

<b>AVANT PROPOS .....</b>	<b>4</b>
<b>I. STATISTIQUES DU PARC DE BATIMENTS EN FRANCE .....</b>	<b>5</b>
<b>II. DESCRIPTION DES BATIMENTS TYPES.....</b>	<b>8</b>
2.1. TYPOLOGIE DE BATIMENTS RETENUE .....	8
2.2. CARACTERISTIQUES GEOMETRIQUES DES BATIMENTS TYPES .....	9
2.2.1. <i>Bâtiment de grande surface – TYPE 1</i> .....	9
2.2.2. <i>Immeuble rénové - TYPE 2</i> .....	11
2.2.3. <i>Immeuble de petite taille - TYPE 3</i> .....	12
2.3. CARACTERISTIQUES THERMIQUES DE L'ENVELOPPE .....	12
2.4. CARACTERISTIQUES DES USAGES DU BATIMENT .....	13
2.4.1. <i>Profil d'occupation et de charge interne</i> .....	13
2.5. RECAPITULATIF DES CARACTERISTIQUES DES BATIMENTS .....	16
<b>III. GESTION DES PROTECTIONS SOLAIRES ET DE L'ECLAIRAGE ARTIFICIEL .....</b>	<b>18</b>
3.1. GESTION DES PROTECTIONS SOLAIRES .....	18
3.2. GESTION DE L'ECLAIRAGE ARTIFICIEL .....	18
<b>IV. MODELES DE SYSTEMES.....</b>	<b>20</b>
4.1. CLIMATISEUR INDIVIDUEL TYPE SPLIT .....	20
4.2. SYSTEME A DEBIT DE REFRIGERANT VARIABLE.....	21
4.3. CENTRALE DOUBLE FLUX HYGIENIQUE .....	21
4.4. CENTRALE A DEBIT D'AIR CONSTANT.....	22
4.5. CENTRALE A DEBIT D'AIR VARIABLE .....	22
4.6. SYSTEME A VENTILLO CONVECTEURS .....	23
4.7. SYSTEME A DESSICATION .....	24
4.8. CHAUDIERE.....	25
4.9. GROUPE FRIGORIFIQUE A COMPRESSION ELECTRIQUE.....	25
4.10. GROUPE ABSORPTION A CHAUFFAGE AU GAZ.....	26
<b>V. MODELISATION CONSOCLIM DES 5 TYPES DE BATIMENT .....</b>	<b>27</b>
5.1. BATIMENT 1A .....	27
5.2. BATIMENT 1B.....	29
5.3. BATIMENT 1C.....	31
5.4. BATIMENT 2.....	33
5.5. BATIMENT 3.....	35
<b>VI. DETERMINATION DES CHOIX CONSTRUCTIFS CONCOURANT A L'OBJECTIF DE CONSUMMATION.....</b>	<b>37</b>
6.1. METHODE DES PLANS D'EXPERIENCES .....	37
6.2. SOLUTIONS 1, 2 ET 3 POUR LES DIFFERENTS BATIMENTS.....	39
6.3. CONCLUSIONS SUR LES RESULTATS.....	41
<b>VII. CHOIX DES SYSTEMES, DIMENSIONNEMENT ET PLAN D'EXPERIENCES.....</b>	<b>42</b>
7.1. CONDITIONS DU DIMENSIONNEMENT .....	42
7.2. DIMENSIONNEMENT DE LA SOLUTION VENTILLO CONVECTEURS.....	44
7.3. VALEURS DES BESOINS POUR LES DIFFERENTS TYPES DE BATIMENT .....	45
7.4. PLAN D'EXPERIENCES POUR LA SOLUTION VENTILLO CONVECTEURS.....	46
7.5. PLAN D'EXPERIENCES POUR LE SYSTEME A DEBIT D'AIR VARIABLE .....	47
7.6. PLAN D'EXPERIENCES POUR LE SYSTEME A DEBIT D'AIR CONSTANT .....	47

7.7.	PLAN D'EXPERIENCES POUR LE SYSTEME SPLIT .....	47
7.8.	PLAN D'EXPERIENCES POUR LE SYSTEME A DESSICCATION .....	47
7.9.	PLAN D'EXPERIENCES POUR LE SYSTEME A DEBIT DE REFRIGERANT VARIABLE .....	48
<b>VIII.</b>	<b>DETERMINATION DES PARAMETRES DES SYSTEMES CONCOURANT A L'OBJECTIF DE CONSOMMATION .....</b>	<b>48</b>
8.1.	BATIMENT 1A .....	48
8.1.1.	<i>Système ventilo convecteurs (VC)</i> .....	48
8.1.2.	<i>Système à débit d'air variable (DAV)</i> .....	49
8.1.3.	<i>Système à débit d'air constant (DAC)</i> .....	50
8.1.4.	<i>Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 1a S1, S2, S3 à Trappes et à Nice</i> .....	51
8.2.	BATIMENT 1B.....	53
8.2.1.	<i>Système ventilo convecteurs (VC)</i> .....	53
8.2.2.	<i>Système à débit d'air variable (DAV)</i> .....	53
8.2.3.	<i>Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 1b S1, S2, S3 à Trappes et à Nice</i> .....	55
8.3.	BATIMENT 1C.....	56
8.3.1.	<i>Système à ventilo convecteurs (VC)</i> .....	56
8.3.2.	<i>Système à débit d'air variable (DAV)</i> .....	56
8.3.3.	<i>Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 1c S1, S2, S3 à Trappes et à Nice</i> .....	58
8.4.	BATIMENT 2.....	59
8.4.1.	<i>Système à ventilo convecteurs (VC)</i> .....	59
8.4.2.	<i>Système à débit de réfrigérant variable (DRV)</i> .....	59
8.4.3.	<i>Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 2 S1, S2, S3 à Trappes et à Nice</i> .....	60
8.5.	BATIMENT 3.....	62
8.5.1.	<i>Système à ventilo convecteurs (VC)</i> .....	62
8.5.2.	<i>Système à débit de réfrigérant variable (DRV)</i> .....	62
8.5.3.	<i>Système split</i> .....	63
8.5.4.	<i>Système à dessiccation (DEC)</i> .....	63
8.5.5.	<i>Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 3 S1, S2, S3 à Trappes et à Nice</i> .....	64
<b>IX.</b>	<b>RESULTATS SYSTEME PAR SYSTEME POUR LES SOLUTIONS MEILLEURS CHOIX CONSTRUCTIFS (BESOINS MINIMAUX – S1 MINI).....</b>	<b>66</b>
9.1.	SYSTEME VENTIL-CONVECTEURS POUR LA SOLUTION S1.....	66
9.2.	SYSTEME DEBIT D'AIR VARIABLE POUR LA SOLUTION S1 .....	71
9.3.	SYSTEME DEBIT D'AIR CONSTANT POUR LA SOLUTION S1 .....	74
9.4.	SYSTEME A DESSICCATION POUR LA SOLUTION S1 .....	75
9.5.	SYSTEME SPLIT POUR LA SOLUTION S1 .....	76
9.6.	SYSTEME DRV POUR LA SOLUTION S1 .....	77
9.7.	SYSTEME POMPE A CHALEUR .....	79
9.8.	SYSTEME DE GROUPE ABSORPTION A CHAUFFAGE AU GAZ.....	79
	<b>CONCLUSION GENERALE .....</b>	<b>81</b>
<b>X.</b>	<b>REFERENCES.....</b>	<b>84</b>

## AVANT PROPOS

L'objectif de cette étude est de proposer des solutions pour réduire les consommations d'énergie dans le secteur du bâtiment. Dans un premier temps, il est dressé une typologie de bâtiments qui fait apparaître **5 types de bâtiments de bureaux dans 2 climats : Nice et Trappes**. Il est ensuite étudié les effets des paramètres du bâti et des gestions sur les besoins du bâtiment pour réduire les besoins. Les paramètres testés sont au nombre de neuf :

1. Isolation du toit et des murs
2. Choix des baies
3. Orientation
4. Gestion des protections solaires
5. Ventilation
6. Apports internes
7. Gestion de l'éclairage
8. Inertie
9. Perméabilité

Pour chacun des types de bâtiment, on sélectionne ensuite les systèmes les mieux adaptés et on teste leurs paramètres pour 3 solutions constructives

Solution à besoins minimum

Avec optimiseur éclairage et ventilation : S1

Sans optimiseur éclairage et ventilation : S2

Solution à besoins maximum (dans les limites du plan d'expérience) : S3

Pour l'ensemble des trios (solution constructive, climat, système retenu), on teste l'effet des paramètres suivant en valeur haute et basse :

1. Générateur gaz ou électricité à haut rendement ou moins bon rendement
2. Ventilateurs et pompes à haut rendement ou moins bon rendement
3. Réseaux bien isolés ou moins bien isolés
4. Emetteur basse température ou non en chauffage et inversement en refroidissement

L'étude Objectif 100 n'a pas pour objectif l'optimisation technico économique visant à proposer les solutions optimales. Il s'agit avant tout de montrer qu'on peut atteindre techniquement une consommation de moins de 100 kWh/m<sup>2</sup>.an avec les technologies présentes sur le marché. Le guide des solutions contiendra des indications économiques pour que les maîtres d'ouvrage aient envie de tester les solutions.

L'objectif visé de 100 kWh se rapporte à l'ensemble des consommations exprimées en énergie payante (éclairage, chauffage, refroidissement, bureautique et auxiliaires). Celles ci pouvant provenir de sources fossiles ou d'électricité, les consommations atteintes seront donc également évaluées en énergie primaire en utilisant le ratio de  $2,58 \text{ kWh}_{ep}/\text{kWh}_{elec}$ .

## I. STATISTIQUES DU PARC DE BATIMENTS EN FRANCE

### *Parc*

En France, on estime [4] en 2001 à 150 millions de m<sup>2</sup> les surfaces climatisées du secteur tertiaire (19 % des 785 millions de m<sup>2</sup> du secteur tertiaire [7]).

Sur la base des flux observés sur les dix dernières années [7], environ **54 millions de m<sup>2</sup> de bureaux seraient climatisés** sur un total de 165 millions de m<sup>2</sup> de bureaux, donc environ un tiers. Ce chiffre est à comparer à 550 millions de m<sup>2</sup> de bureaux climatisés pour toute l'Europe d'après l'étude [4]. La France correspondrait donc à environ 10 % du parc des bureaux climatisés en Europe.

	Tertiaire		Bureaux	
	Total (en millions de m <sup>2</sup> )	Climatisés (en millions de m <sup>2</sup> )	Total (en millions de m <sup>2</sup> )	Climatisés (en millions de m <sup>2</sup> )
France	785	150	165	<b>54</b>
Europe		1300		550

**Tableau 1 : Parc de bureaux climatisés**

Le taux de renouvellement du parc de bureaux est de l'ordre de 3%, environ 5 millions de m<sup>2</sup> par an. Si on se reporte à [10], en 2001 70 % étaient climatisés. On peut donc estimer un **flux annuel de 3,5 millions de m<sup>2</sup> par an de bureaux neufs climatisés. Selon [10], une surface à peu près identique fait l'objet d'une installation de climatisation dans le parc existant.**

	Bureaux	
	Total (en millions de m <sup>2</sup> )	Climatisés (en millions de m <sup>2</sup> )
Neuf	5	<b>3,5</b>
Existant		<b>3,5</b>

**Tableau 2 : Flux annuel de bureaux climatisés**

Avec les chiffres qui précèdent, on peut faire une estimation des surfaces concernées par les 5 types retenus (1a, 1b, 1c, 2, 3). Les clés de répartition sont déduites de [11].

	Parc (en millions de m <sup>2</sup> )	Flux annuel (en millions de m <sup>2</sup> )
1-a – Plateau large bureaux paysagés : 14 %	7,5	1
1-b – Plateau large bureaux cloisonnés : 20 %	11	1,5
1-c – Plateau mince bureaux paysagés : 33 %	18	2,3
2 – Immeuble rénové : 8 %	4	0,5
3 – Immeuble de petite taille en zone péri urbaine : 25 %	13	1,7

Tableau 3 : Répartition des bureaux climatisés par type

On peut également approcher leur répartition géographique

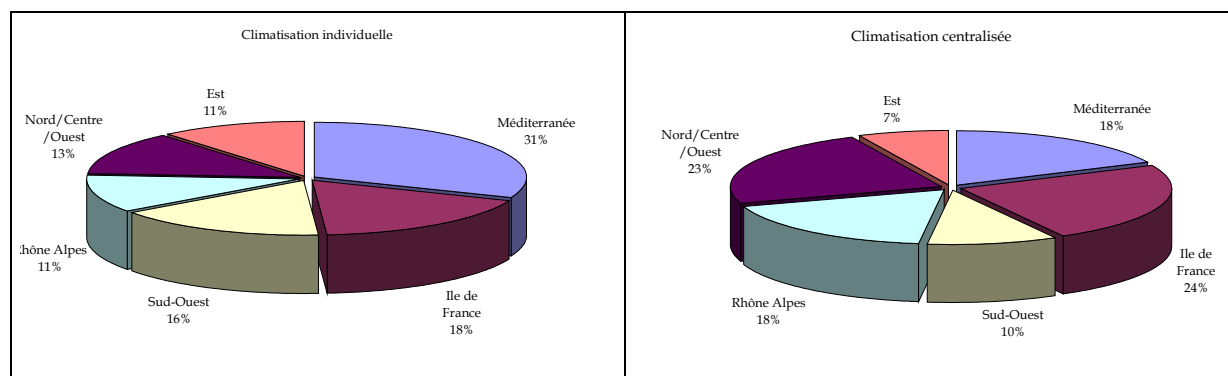
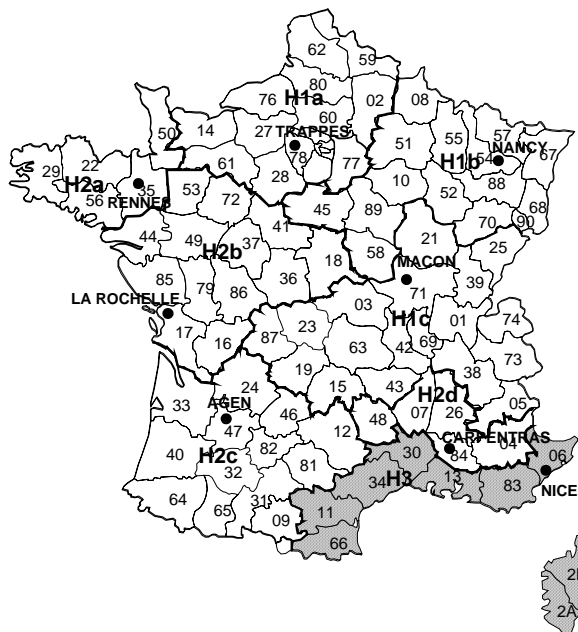


Figure 1 : Répartition géographique des installations en 1999 [9]



En retenant les chiffres de la **climatisation centralisée** (il peut s'installer aussi de la climatisation individuelle au coup par coup) comme représentatifs du parc des bureaux, on a réparti par zone (en pourcentage de la surface climatisée, c'est à dire 54 millions de m<sup>2</sup>) :

- Zone H1a + H2a + H2b : **47 %** (simulations sur la base du climat de Trappes)
- Zone H1b : **7 %** (pas de simulations)
- Zone H2c : **10 %** (pas de simulations)
- Zone H2d + H1c : **18 %** (simulations sur la base du climat de Mâcon)
- Zone H3 : **18 %** (simulations sur la base du climat de Nice)

Selon [7], la consommation moyenne en bureaux seraient de 280 kWh/(m<sup>2</sup>.an) :

- Eclairage (ecl) : 40 kWh/(m<sup>2</sup>.an)
- Chauffage (ch) : 135 kWh/(m<sup>2</sup>.an)
- Rafraîchissement (fr) : 45 kWh/(m<sup>2</sup>.an)
- Usages spécifiques électriques (bureautique essentiellement) (bur) : 25 kWh/(m<sup>2</sup>.an)
- Auxiliaires (pompes, ventilateurs) (aux) : 35 kWh/(m<sup>2</sup>.an)

La Figure 2 représente la différence des niveaux de consommation entre deux simulations (bâtiment type 3 à Trappes), une avec les valeurs de la RT 1988 et l'autre avec les valeurs retenues dans le cadre de l'étude objectif 100.

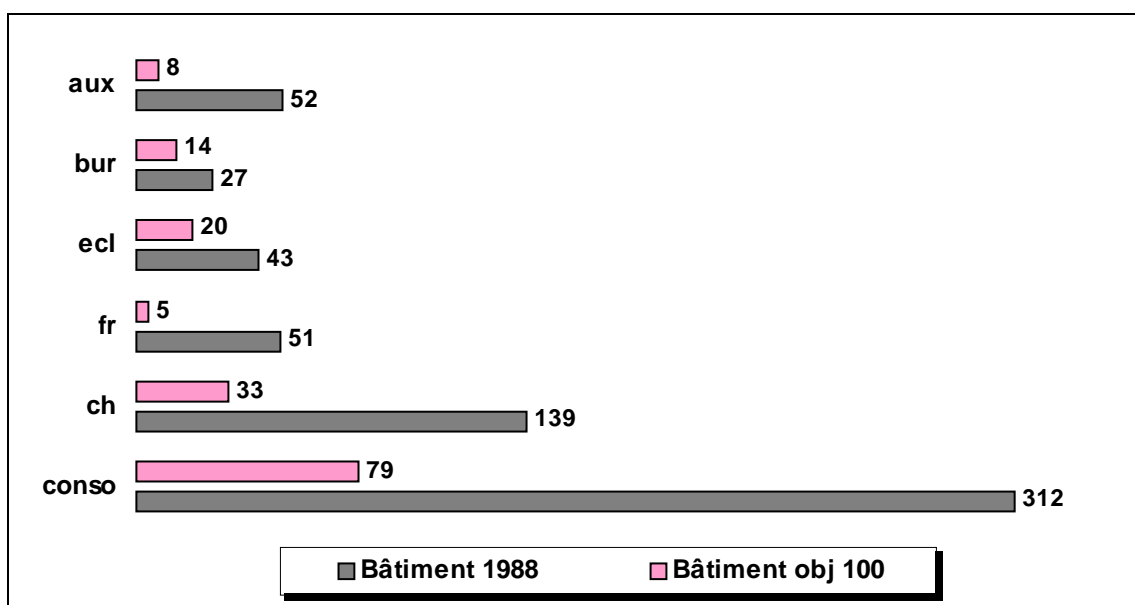


Figure 2 : Comparaison entre les consommations (kWh/m<sup>2</sup>.an) des bâtiments de bureau existants en France et les bâtiments d'objectif 100

## II. DESCRIPTION DES BATIMENTS TYPES

### 2.1. Typologie de bâtiments retenue

A partir des caractéristiques des bâtiments constitutifs du parc français, nous avons établi trois types de bâtiments. Le premier type correspond à des bâtiments de grande surface, fortement vitrés. Le deuxième type regroupe des bâtiments de taille plus modeste, faisant l'objet par exemple d'une rénovation, leur surface de vitrage est plus faible que celle des bâtiments du premier type (immeuble neo - haussmannien). Le troisième type concerne les petits bâtiments que l'on rencontre dans les zones industrielles, les pépinières d'entreprises... Nous avons distingué trois sous catégories dans le premier type correspondant à des spécificités géométriques.

TYPE 1-a	15 000 m <sup>2</sup> , mur rideau, plateau large et salle de réunion aveugle, bureaux paysagés
TYPE 1-b	Idem TYPE 1 avec bureaux cloisonnés
TYPE 1-c	Idem TYPE 1-b sauf plateau mince (bureaux cloisonnés) et salle de réunion sur extérieur
TYPE 2	Immeuble rénové, 5000 m <sup>2</sup> , structure plutôt lourde et bureaux cloisonnés
TYPE 3	Immeuble de petite taille (1000 m <sup>2</sup> )

**Tableau 4 : Typologie des bâtiments**

A partir de plans, et de représentation schématiques de ces bâtiments, les caractéristiques géométriques – ratio de surface déperditive, ratio de surface vitrée, ... – ont été établies.

Une deuxième étape intéresse les caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments. Ces valeurs ont été établies au regard de la réglementation thermique. Notons que le but poursuivi n'est pas de « construire » des bâtiments réglementaires mais de retenir des solutions constructives ambitieuses et disponibles .

La géométrie des bâtiments, leurs usages – profil d'occupation, gestion de l'éclairage – et les équipements installés – équipements de bureautique, éclairage – sont précisés au § 2.2 (voir détails dans rapport intermédiaire 1 [16]).



## 2.2. Caractéristiques géométriques des bâtiments types

### 2.2.1. Bâtiment de grande surface – TYPE 1

Trois aménagements intérieurs sont représentés schématiquement dans les Figures suivantes :

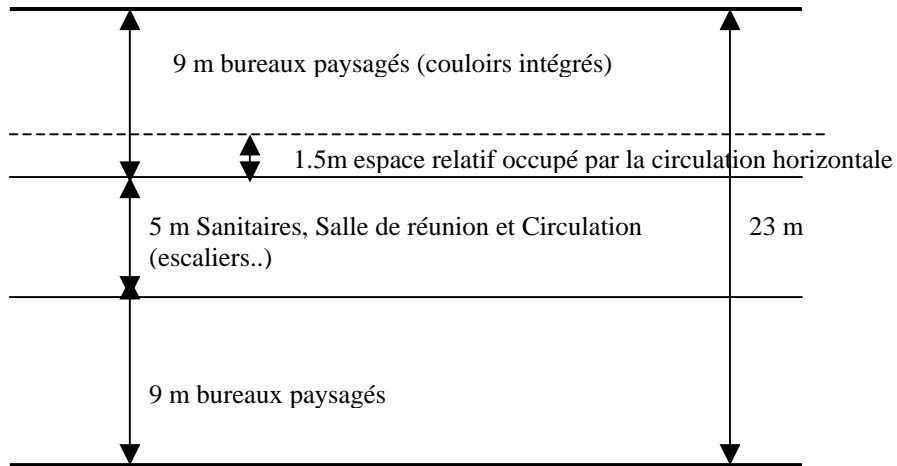


Figure 3 : Représentation simplifiée des plateaux larges en bureaux paysagés (type 1-a)

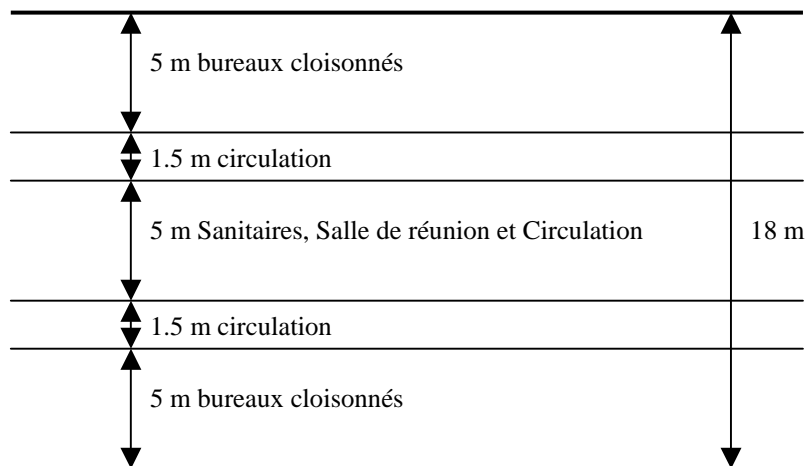


Figure 4 : Représentation simplifiée des plateaux larges en bureaux cloisonnés (type 1-b)

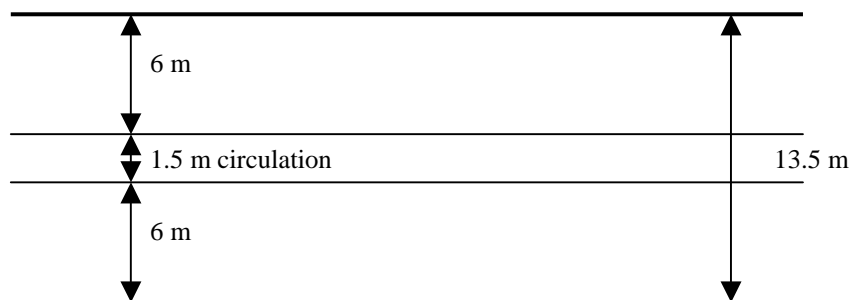


Figure 5 : Représentation simplifiée des plateaux larges en bureaux cloisonnés (type 1-c)

	Total	Bureaux	Salles de réunion	Sanitaires	Circulations
<b>Type 1-a</b>	100	78	16	3	3
<b>Type 1-b</b>	100	55	22	3	20
<b>Type 1-c</b>	100	60	23	3	14

**Tableau 5 : Récapitulatif des ratios de surfaces par usage**

On a évalué le total des surfaces déperditives de la manière suivante :

	Type 1-a	Type 1-b	Type 1-c
Surfaces déperditives	5150 m <sup>2</sup>	6250 m <sup>2</sup>	7910 m <sup>2</sup>
Ratio de surfaces déperditives	0,34	0,42	0,53
Ratio de surfaces déperditives verticales	0,26	0,34	0,44
Ratio de surfaces déperditives horizontales	0,08	0,08	0,08

**Tableau 6 : Ratios de surfaces déperditives**

On suppose que les surfaces vitrées représentent 50% des surfaces verticales.

### 2.2.2. Immeuble rénové - TYPE 2

Ce type intéresse les bâtiments de bureaux de taille moyenne, de l'ordre de 5000 m<sup>2</sup>, en « maçonnerie traditionnelle » (structure lourde et isolation intérieure).

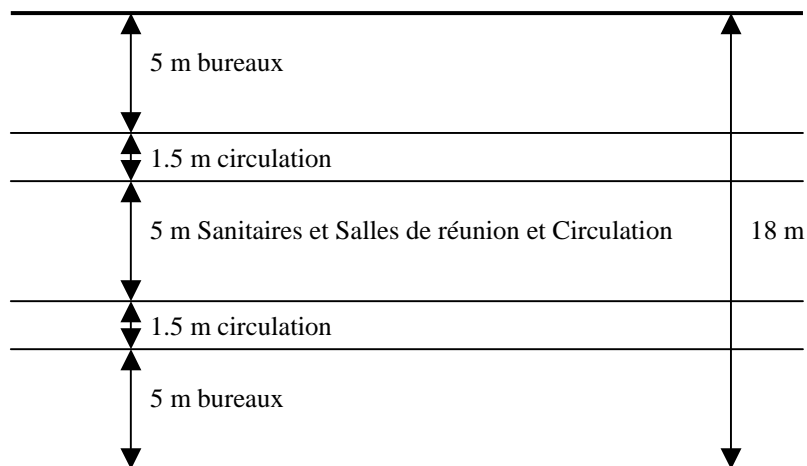


Figure 6 : Représentation schématique d'un étage courant (type 2)

De la même manière, que pour les bureaux de type 1, nous avons reparti les surfaces selon leurs usages :

	Total	Bureaux	Salles de réunion	Sanitaires	Circulations
Ratio de surface	100	55	22	3	20

Tableau 7 : Ratios de surface

	surface verticale	surface horizontale	surface totale
Ratio de surface	0,33	0,25	0,58

Tableau 8 : Ratios de surfaces déperditives pour le type 2

### 2.2.3. Immeuble de petite taille - TYPE 3

Ce type de bâtiments intéresse les bâtiments de taille modeste (environ 1000 m<sup>2</sup>), que l'on rencontre en zone péri urbaine. La Figure 7 donne une représentation de l'aménagement intérieur.

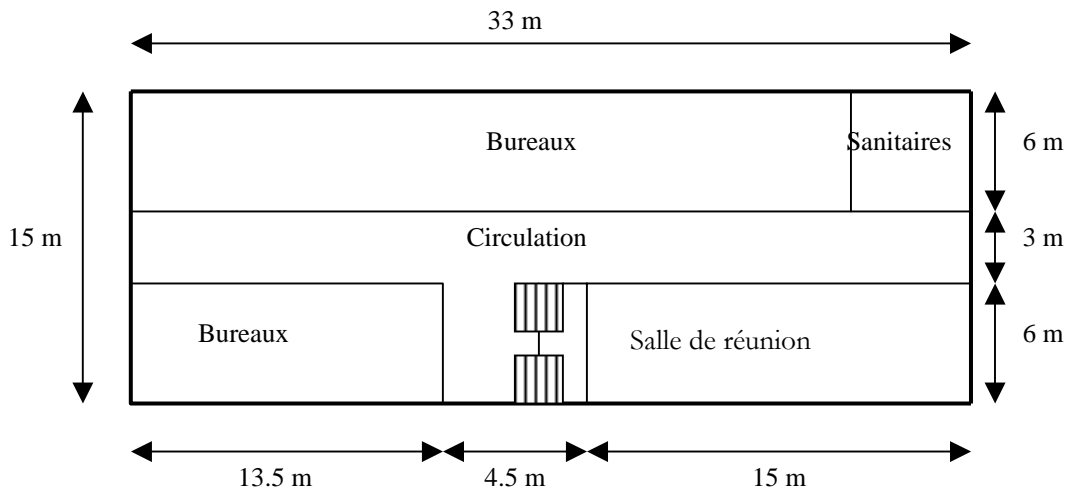


Figure 7 : Représentation schématique d'un étage courant (type 3)

	Total	Bureaux	Salles de réunion	Sanitaires	Circulations
Ratio de surface	100	54	18	3	25

Tableau 9 : Ratios de surface par usage pour le type 3

### 2.3. Caractéristiques thermiques de l'enveloppe

Les caractéristiques thermiques de base sont définies **indépendamment des types de bâtiment**.

Les valeurs retenues pour les coefficients U des parois sont :

	Parois opaques	baies	toitures
Valeurs retenues	<b>0,6</b>	<b>3</b>	<b>0,3</b>

Tableau 10 : Valeurs des U en W/m<sup>2</sup>K retenues

Les valeurs retenues pour le cas de base peuvent paraître peu exigeantes au regard de la réglementation thermique. Toutefois, les ponts thermiques sont comptés dans le coefficient des parois opaques et l'isolation du plancher est parfaitement réalisée.

Pour le cas de base, nous retenons la valeur de 0,6 pour une baie sans protection solaire et 0,2 pour une baie avec protection solaire.

La transmission lumineuse d'une baie sans protection solaire est de 0,6 et est de 0,2 avec protections solaires.

## 2.4. Caractéristiques des usages du bâtiment

### 2.4.1. Profil d'occupation et de charge interne

Le dimensionnement **dans les bureaux** est effectué avec les hypothèses de **1 personne pour 12 m<sup>2</sup> et 15 W/m<sup>2</sup> de bureautique**. On considère que chaque occupant dégage un flux sensible (convectif et radiatif) de 105 W et un apport hydrique de 0,09 kg/h, cela correspond à un type d'activité normale. Nous supposons toutefois qu'au mieux les bureaux sont occupés à 80% et que les apports internes sont au maximum de 80% de la valeur de dimensionnement.

Le Guide 6 de l'AICVF donne des valeurs de puissances dissipées pour les appareils de bureautique. Les valeurs sont données avec un encadrement.

Type d'équipement	Valeur moyenne
Unité centrale « energy star » en fonctionnement	60W
Unité centrale « energy star » en veille	20W
Unité centrale éteinte	1,5W
Écran cathodique de PC actif	77,5W
Écran cathodique de PC en veille	70W
Écran de PC en veille avec économiseur d'énergie	17,5W
Écran de PC éteint	2W
Imprimante laser active	230W
Imprimante laser en veille	27,5W
Imprimante éteinte	5W
Photocopieur actif	1750W
Photocopieur en attente	250W
Photocopieur en veille	130W

**Tableau 11 : Puissances absorbées des équipements de bureautique retenus**

Concernant la répartition entre temps actif, temps en veille et temps à l'arrêt, le guide donne des répartitions en pourcentage de temps sur un jour ouvré :

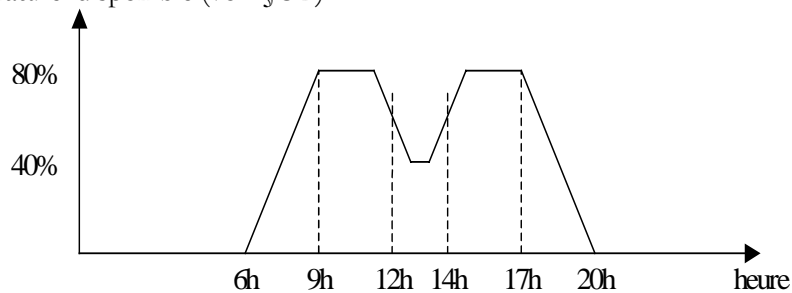
- les imprimantes sont actives 5%, en veille 25% et éteintes 70% du temps. Ces données concernent occupation et inoccupation. Sur un jour ouvré en période d'occupation, nous avons considéré les proportions suivantes **pour les imprimantes : 25% actives et 75% en veille. Sur cette base on obtient la puissance pondérée : 78W.**
- les ordinateurs personnels sont supposés conformes au label Energy Star et sont actifs 25% du temps et en veille 75% du temps. Sur cette base on obtient la puissance pondérée : 62W.

Si l'on considère un ordinateur personnel et une imprimante par bureau de 12 m<sup>2</sup>, on obtient le ratio : 11,6 W/m<sup>2</sup> et si l'on considère que les pourcentages de marche/arrêt du guide n°6 de l'AICVF tiennent compte d'une absence partielle du personnel (équivalent du ratio 80 %) **on peut alors adopter la valeur de 15 W/m<sup>2</sup>.**

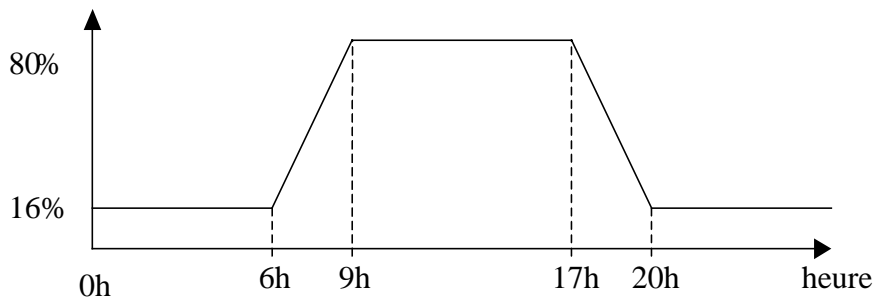
La Figure 8 donne le profil d'occupation (issu de résultats de campagne de mesures [13], [14]).

Pour l'éclairage, le guide n°6 de l'AICVF propose pour les bureaux la valeur de 18 W/m<sup>2</sup> (tubes fluorescents hautes performances pour un éclairage de 500 lux).

Le taux d'utilisation de l'éclairage sera un résultat de calcul car il résulte du module de gestion sur la base de l'éclairage naturel disponible (voir § 3.2).

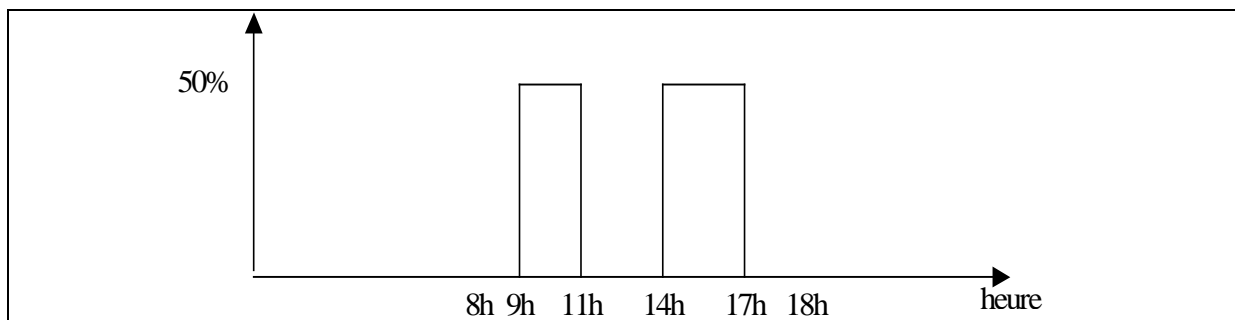


**Figure 8 : Profil d'occupation dans les bureaux par rapport au maximum**



**Figure 9 : Profil d'apport interne dans les bureaux par rapport au maximum**

Les **salles de réunion** sont dimensionnées pour accueillir **une personne par 3,5 m<sup>2</sup>**. Nous supposons qu'il n'y a pas de matériel informatique installé. La Figure 10 montre le profil d'occupation retenu (issu de campagnes de mesures [15]). La puissance d'éclairage est équivalente à celle des bureaux **18 W/m<sup>2</sup>**).



**Figure 10 : Profil d'occupation dans les salles de réunion par rapport au maximum**



Nous ne considérons pas d'occupation dans les espaces de circulation (éclairage : **12 W/m<sup>2</sup>**) ni dans les sanitaires (éclairage : **6 W/m<sup>2</sup>**).

## 2.5. Récapitulatif des caractéristiques des bâtiments

Type de bâtiment	1a	1b	1c	2	3
Surface totale utile	15000 m <sup>2</sup>			5000 m <sup>2</sup>	1000 m <sup>2</sup>
Hauteur sous plafond	3 m				2,7m
Orientation	Nord/Sud ou Est/Ouest				
<b>Ratio de surface par usage (par rapport à la surface totale utile)</b>					
Bureaux	0,78	0,55	0,6	0,55	0,54
Salle de réunion	0,16	0,22	0,26	0,22	0,18
Sanitaires, locaux techniques	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Circulations	0,03	0,2	0,11	0,20	0,25
<b>Ratio de surface de parois déperditives (par rapport à la surface totale utile)</b>					
Totale	0,34	0,42	0,52	0,58	1,02
Parois verticales	0,26	0,34	0,44	0,33	0,52
Toiture	0,08	0,08	0,08	0,25	0,5
Baies vitrées(verticales)	0,13 50% surf vert	0,17 50% surf vert	0,22 50% surf vert	0,09 27% surf vert	0,2 40% surf vert

Type de bâtiment	1a	1b	1c	2	3
Facteur solaire des baies	0,6				
Taux de transmission lumineuse des baies	0,6				
FS des protections solaires mobiles	0,2				
Transmission lumineuse des protections solaires mobiles	0,2				
U parois opaques	0,6 W/m <sup>2</sup> K				
U baies	3 W/m <sup>2</sup> K				
U toitures	0,3 W/m <sup>2</sup> K				
Inertie	Légère			Moyenne	
Renouvellement d'air	25 m <sup>3</sup> /h/personne en bureaux 30 m <sup>3</sup> /h/personne en salle de réunion 8h-20h la semaine - Arrêt le WE				



Température de consigne	20°C – 25°C Réduit de chauffage : 15°C Redémarrage 2 h avant ventilation en semaine, à 6 h le lundi Arrêt de la climatisation hors occupation
-------------------------	--

**Tableau 12 : Caractéristiques générales des bâtiments**

### III. GESTION DES PROTECTIONS SOLAIRES ET DE L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL

#### 3.1. Gestion des protections solaires

Le modèle retenu pour la gestion des protections solaires [17] peut être traduit par la Figure 11.

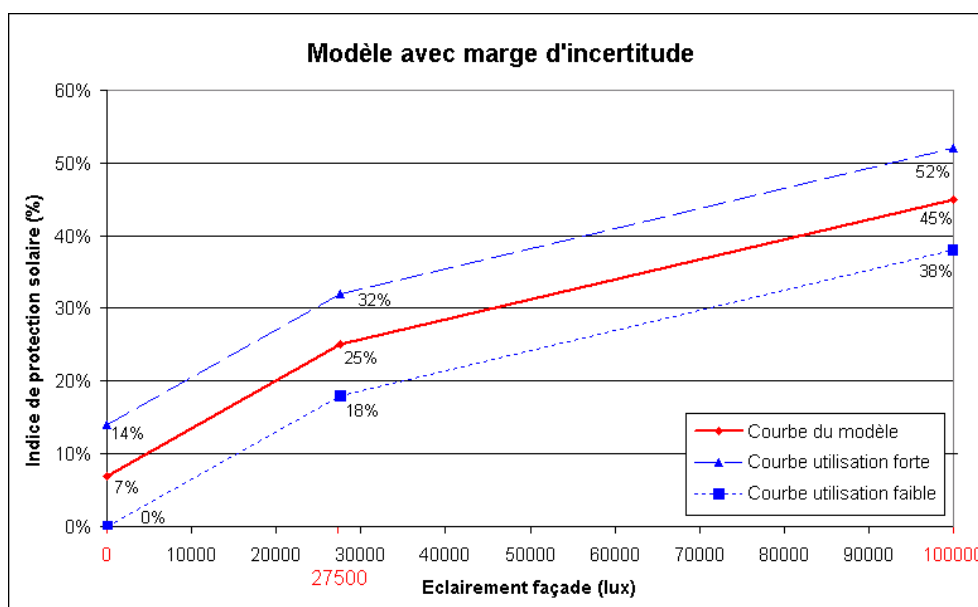


Figure 11 : protection solaire selon différents utilisateurs

Fort veut dire ici « fortement protégé » et faible « faiblement protégé ». Le graphique se lit ainsi (en prenant l'exemple de la courbe d'utilisation faible). En l'absence d'éclairement en façade (la nuit sauf signal prioritaire) les protections solaires sont totalement levées. Elles se ferment progressivement jusqu'à 18 % pour une valeur de 27500 lux. Cet éclairement externe est déduit de la valeur d'irradiation solaire disponible sur le fichier météorologique. Pour passer des lux aux  $W/m^2$ , on utilise un facteur 100, c'est-à-dire que  $0,01 W/m^2$  se traduit par 1 lux.

Le palier de 27500 lux, résultat de suivi expérimental, illustre un changement d'attitude chez l'occupant : au-dessus de 27500 lux la surface de vitrage recouverte augmente plus lentement. Même dans le cas « fort » le seuil maximal d'utilisation des protections est de 50 %. Il n'est jamais dépassé, même avec des éclairements extérieurs très forts. On observe également un seuil minimal d'environ 7 % environ, en dessous duquel on ne descend pratiquement jamais, même avec un éclairement extérieur très faible.

#### 3.2. Gestion de l'éclairage artificiel

Le taux d'utilisation de l'éclairage artificiel dépend de l'éclairement naturel intérieur calculé dans le module « protections solaires » (voir § 3.1). Le module de gestion de l'éclairage [17] prend en compte plusieurs types de gestion d'éclairage, tels que des horloges ou des gradateurs. Le principe est de définir un profil (portions de droite) caractérisant le taux d'utilisation de l'éclairage en fonction de l'éclairement naturel intérieur, puis de calculer les taux d'utilisation par pas de temps et par local. On peut ensuite en tirer une

consommation par pas de temps pour l'UTH. Les résultats sont comme en 3.1 issus d'une campagne de mesures

On distingue 6 modes de gestion, séparés en deux familles :

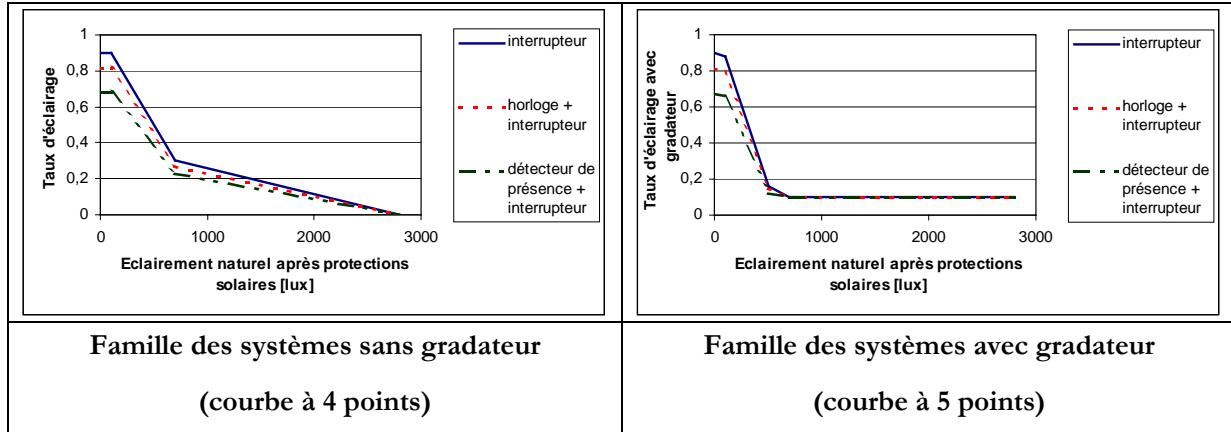


Figure 12 - Utilisation de l'éclairage naturel

On remarquera dans tous les cas l'importance de disposer d'un interrupteur individuel. On notera que la meilleure solution est celle qui fait intervenir un gradateur avec détecteur de présence.

Sans gradateur					
Gestion	Point 1	Point 2		Point 3	Point 4
1. interrupteur	x : 0	x : 100		x : 700	x : 2800
	y : 0,9	y : 0,9		y : 0,3	y : 0
2. horloge + interrupteur	x : 0	x : 100		x : 700	x : 2800
	y : 0,81	y : 0,81		y : 0,27	y : 0
3. détecteur de présence + interrupteur	x : 0	x : 100		x : 700	x : 2800
	y : 0,675	y : 0,675		y : 0,225	y : 0
Avec gradateur					
4. interrupteur	x : 0	x : 100	x : 500	x : 700	x : 2800 et au delà
	y : 0,9	y : 0,882	y : 0,162	y : 0,1	y : 0,1
5. horloge + interrupteur	x : 0	x : 100	x : 500	x : 700	x : 2800
	y : 0,675	y : 0,6615	y : 0,1215	y : 0,1	y : 0,1
6. détecteur de présence + interrupteur	x : 0	x : 100	x : 500	x : 700	x : 2800
	y : 0,81	y : 0,7938	y : 0,1458	y : 0,1	y : 0,1

Tableau 13 : Paliers par défaut pour les différents systèmes de gestion de l'éclairage

## IV. MODELES DE SYSTEMES

### 4.1. Climatiseur individuel type split

Deux modes de fonctionnement existent dans ce modèle, mode production de froid et mode production de chaud (réversible). Il a pour but de calculer la puissance appelée au compresseur et les ventilateurs selon les besoins aux différentes conditions extérieures et intérieures. Le besoin est calculé d'après le modèle bâtiment. Voir détails dans [17].

Le modèle [36] tient compte des fonctionnements non nominaux et à charge partielle en représentant le cyclage des appareils à faible charge par l'introduction de la puissance de veille, le coefficient de charge partielle est :

$$K_{CP} = \frac{EER_{réel}}{EER_{nn}} = \frac{P_f / P_{ffl}}{P_a + P_{veille} / P_{afl}} = \frac{\tau}{\tau + \frac{P_{veille}}{P_{afl}}}$$

$\frac{P_{veille}}{P_{afl}}$  est égal à 1%, 2,5 %,..... selon l'application.  $P_{afl}$  est la plus petite puissance de compresseur disponible.

Dans le cas modélisé où il n'y a qu'un seul compresseur, il existe **deux domaines** pour décrire l'évolution de la charge partielle :

- le domaine entre un taux de charge nul et un taux de charge de référence égale à  $\tau_{ref}$
- le domaine entre  $\tau_{ref}$  et le taux de charge de 100% -  $\tau_{ref}$  est pris égal à 25%

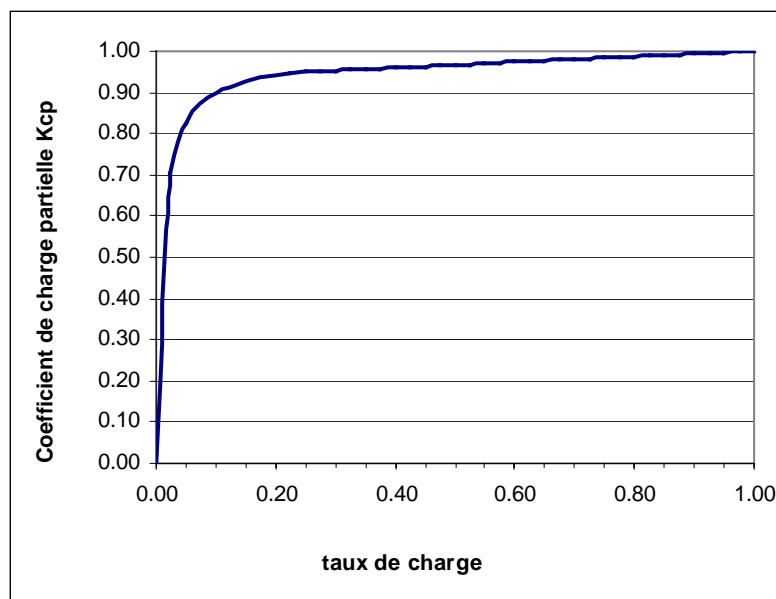


Figure 13 : Evolution du coefficient de charge partielle

Selon les documentations disponibles, la puissance des ventilateurs est intégrée à la puissance appelée. Le climatiseur fonctionne uniquement pendant les heures d'occupation en mode rafraîchissement. En mode de chauffage il assure le réduit de chauffage à 15°C. Lors de l'arrêt du système, on considère la puissance appelée nulle ce qui est légèrement optimiste. Le système split est associé à une centrale de traitement d'air pour la ventilation (voir § 4.3).

## 4.2. Système à débit de réfrigérant variable

Un système de conditionnement d'air DRV (débit de réfrigérant variable) utilise une unité intérieure (évaporateur en climatisation, condenseur en chauffage) pour chaque local. Ces unités sont directement alimentées par le fluide frigorigène. Les détendeurs électroniques injectent la quantité adéquate de réfrigérant pour satisfaire les besoins. Les modes principaux de fonctionnement sont (Voir détails dans [17] et [36]).

- 1- Refroidissement seul : Toutes les unités intérieures sont en opération « froid ».
- 2- Chauffage seul : Toutes les unités intérieures sont en opération « chaud ».
- 3- Refroidissement principal.
- 4- Chauffage principal.
- 5- Mode où le nombre d'unités intérieures fonctionnant en froid est égal à celui des unités fonctionnant en chaud.

Selon les documentations disponibles, la puissance des ventilateurs extérieure est intégrée à la puissance appelée, tandis que la puissance des ventilateurs des unités intérieures doit être comptée séparément. Le DRV fonctionne uniquement pendant les heures d'occupation en mode rafraîchissement. En mode de chauffage il assure le réduit de chauffage à 15°C. Lors de l'arrêt du système, les ventilateurs intérieures continuent à fonctionner. Le système DRV est associé à une CTA pour la ventilation (voir § 4.3).

Les fonctionnements non nominaux sont caractérisés par un modèle thermodynamique qui tient compte :

- basse pression constante, haute pression asservie à la température extérieure,
- valeurs par défaut du rendement volumétrique et du rendement global fonction de la vitesse de rotation et du taux de compression,
- de la déshumidification sur l'unité intérieure en mode de rafraîchissement .

## 4.3. Centrale double flux hygiénique

La centrale double flux hygiénique est destinée au renouvellement d'air de locaux traités par des systèmes à eau comme les ventilo-convecteurs et les systèmes à réfrigérant direct.

Elle est constituée :

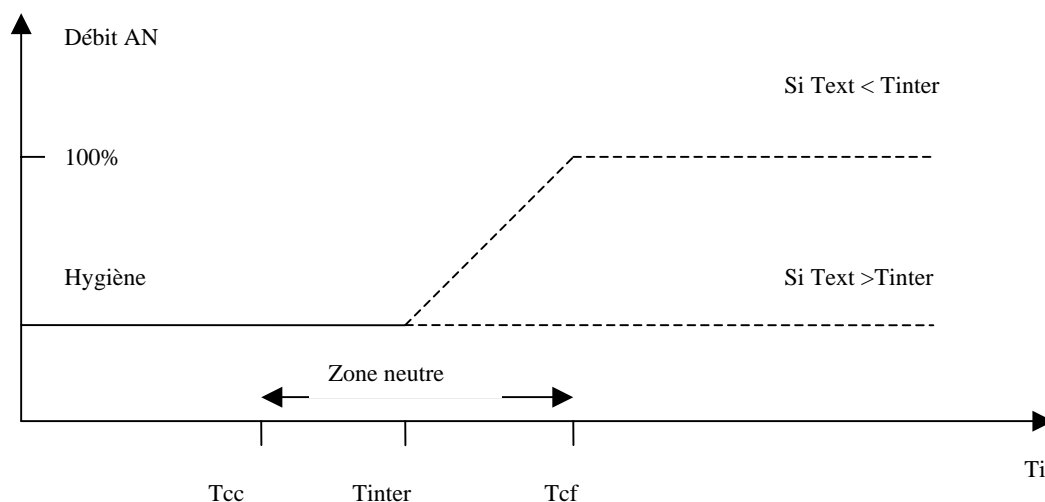
- d'un échangeur air / air,
- d'un humidificateur à vapeur (non utilisé dans nos simulations),
- d'un ventilateur de soufflage ainsi que d'un réseau aéraulique de soufflage,
- d'un ventilateur de reprise ainsi que d'un réseau aéraulique de reprise.

#### 4.4. Centrale à débit d'air constant

La centrale à débit d'air soufflé et repris constant est destinée à ne traiter qu'une zone de bâtiment thermiquement homogène ; voir détails dans [36].

Elle est constituée :

- d'un registre de mélange permettant le fonctionnement en free cooling,
- d'un humidificateur à ruissellement ou à pulvérisation sans reliquat ou à vapeur (non utilisé dans nos simulations),
- d'un module de chauffage et de refroidissement,
- d'un ventilateur de soufflage ainsi que d'un réseau aéraulique de soufflage,
- d'un ventilateur de reprise ainsi que d'un réseau aéraulique de reprise.



Tcc : température de consigne en chauffage  
Tcf : température de consigne en refroidissement  
Tinter : température intermédiaire

**Figure 14 : Mode de gestion du free cooling**

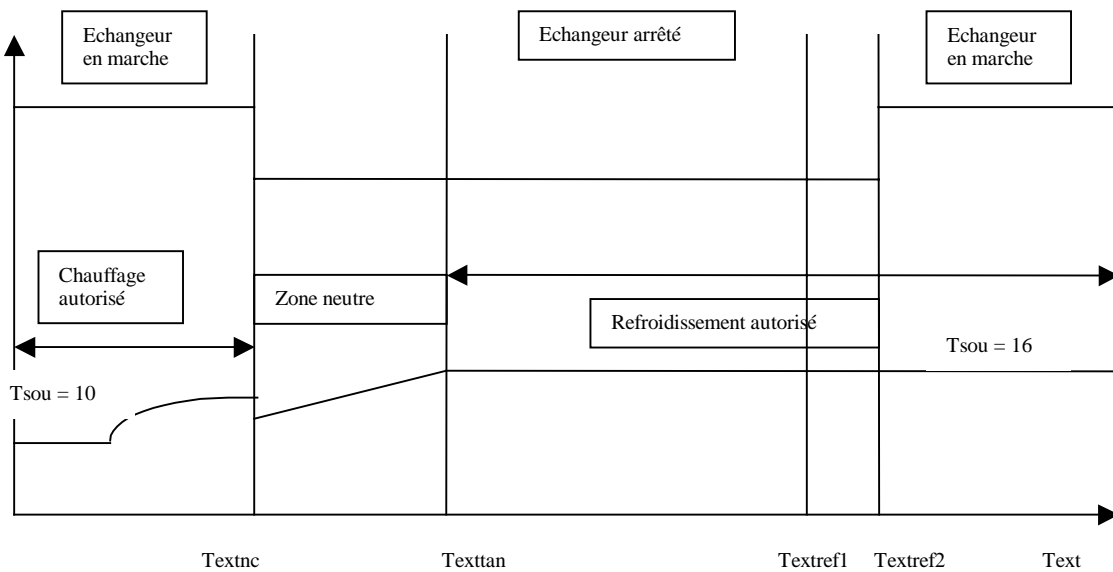
#### 4.5. Centrale à débit d'air variable

La centrale à débit d'air soufflé variable est destinée à traiter plusieurs zones de bâtiment ; voir détails dans [36]. Elle est présentée Figure 15 :

Elle est constituée :

- d'un échangeur récupérateur (efficacité de 0,8) permettant le fonctionnement énergétiquement efficace en tout air neuf et garantissant le respect hygiénique dans chaque zone,

- d'un humidificateur à ruissellement ou à pulvérisation sans reliquat ou à vapeur (non utilisé dans nos simulations),
- d'un module de chauffage et de refroidissement,
- d'un ventilateur de soufflage ainsi que d'un réseau aéraulique de soufflage,
- d'un ventilateur de reprise ainsi que d'un réseau aéraulique de reprise.



**Figure 15 : Principe de fonctionnement de la centrale**

Le débit d'air neuf est égal au débit total soufflé.

Le fonctionnement de l'échangeur est géré de la façon suivante :

- en occupation :
  - si  $T_{ext} \leq T_{ext\_nc}$  l'échangeur fonctionne, chauffage autorisé,
  - si  $T_{ext\_nc} < T_{ext} \leq T_{ext\_tan}$  l'échangeur est arrêté, chaud et froid non autorisés,
  - si  $T_{ext\_tan} < T_{ext} \leq T_{ext\_ref1}$  l'échangeur est arrêté, mode refroidissement,
  - si  $T_{ext\_ref1} < T_{ext} \leq T_{ext\_ref2}$  l'échangeur est arrêté, mode refroidissement,
  - si  $T_{ext} > T_{ext\_ref2}$  l'échangeur fonctionne, mode refroidissement.
- en inoccupation  
même fonctionnement et même remarques que pour la centrale à débit constant.

#### 4.6. Système à ventilo convecteurs

Les consignes en chauffage et en refroidissement  $T_{CC}$  et  $T_{CF}$  sont assorties de bandes proportionnelles représentatives d'un fonctionnement moyen sur une heure :

- pour la commande de la vanne en chaud et en froid,  $BP_{ch_{eau}}$  et  $BP_{fr_{eau}}$ ,
- pour la commande des ventilateurs à vitesse variable seulement  $BP_{ch_{air}}$  et  $BP_{fr_{air}}$  (bande proportionnelle nulle dans le cas étudié, à vitesse fixe).

Le modèle permet de représenter une équivalence de fonctionnement du ventilo-convecteur avec une régulation terminale.

Tableau des points de fonctionnement :

	0	$T_{c_c}$	$T_{c_c} + Bp_{ch_{eau}}$	$T_{c_f} - Bp_{fr_{eau}}$	$T_{c_f}$	40
	allure de soufflage fixe					
	$Q_{mech_{max}}$	$Q_{mech_{max}}$	0	0	$Q_{mefr_{max}}$	$Q_{mefr_{max}}$
Batterie : Bat	1	1	0	0	2	2

**Tableau 14 : logique de fonctionnement des ventilo-convecteurs**

Légende :

- Batt = 0 batteries non utilisées,
- Batt = 1 batterie de chauffage à eau en marche,
- Batt = 2 batterie de refroidissement en marche.

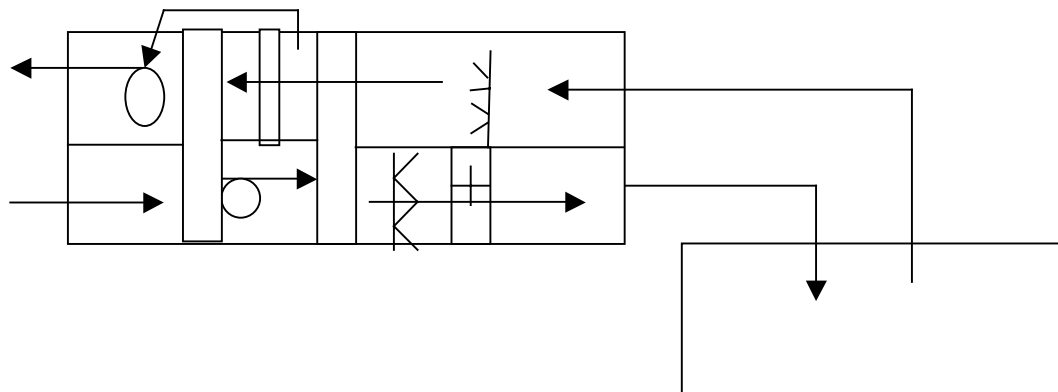
#### Fonctionnement économique des auxiliaires

En inoccupation et pour le mode froid seulement : s'il n'y a pas de besoin, alors le groupe frigorifique et les ventilateurs des unités intérieures sont arrêtés. En revanche, les pompes du circuit d'eau glacée sont en marche permanente.

En mode de chauffage et en inoccupation, s'il n'y a pas de besoin les ventilateurs des unités intérieures sont arrêtés mais la chaudière reste en veille et les pompes du circuit d'eau chaude sont en marche.

#### 4.7. Système à dessiccation

La centrale de refroidissement à dessiccation représentée dans ConsoClim est présentée figure suivante :





Elle est constituée :

- d'un humidificateur indirect sur l'air repris,
- d'un échangeur entre air repris et air soufflé,
- d'une roue à dessiccation avec un régénérateur,
- d'un humidificateur direct pour le fonctionnement en chauffage ou en refroidissement,
- d'une batterie de chauffage,
- d'un ventilateur de soufflage et d'un ventilateur de reprise avec leurs conduits.

Le système est géré entre trois configurations principales : ventilation, refroidissement évaporatif et utilisation du dessiccant. Ces trois modes s'enchaînent suivant une logique indiquée dans [36].

#### 4.8. Chaudière

Le modèle de la chaudière consiste à calculer à partir des caractéristiques nominales sur PCI [base ATTIA, ref 37] les efficacités à 30 et 100 % de charge sur PCS pour les conditions de fonctionnement de la chaudière et les conditions d'ambiance.

Ensuite les pertes à 100, 30 et 0 % de charge sont calculées par interpolation linéaire entre ces valeurs en fonction de la puissance requise. Voir détails dans [36].

#### 4.9. Groupe frigorifique à compression électrique

Le modèle caractérise le groupe frigorifique dans son ensemble par ses températures de sources chaude et froide et permet d'obtenir la puissance appelée au compresseur ainsi que la puissance fournie. Le modèle - polynomial - est basé sur une équation de modélisation quadratique adimensionnelle établie à partir de l'expression de l'EER théorique et d'une régression à partir des données constructeur.

La puissance frigorifique fournie par le groupe frigorifique est-elle aussi déterminée à chaque pas de temps, à partir de la puissance utile sur les composants terminaux et des pertes de distribution. voir détails dans [36].

Pour le fonctionnement à pleine charge, les puissances sont déterminées par l'utilisation de l'expression polynomiale identifiée sur 3 points de fonctionnement ou plus ou en recourant à des valeurs par défaut. Le fonctionnement à charge partielle se déduit du fonctionnement à pleine charge en conditions non nominales. La forme du modèle est le suivant :

$$\frac{P_a}{P_{afl}} = K_{CP} \cdot \frac{P_f}{P_{ffl}} + (1 - K_{CP}) \left( \frac{P_f}{P_{ffl}} \right)^2 \quad \text{où :}$$

- $P_{afl}$  : puissance appelée à pleine charge au compresseur en conditions non nominales
- $P_{ffl}$  : puissance frigorifique à pleine charge fournie en conditions non nominales
- $P_a$  : puissance appelée au compresseur
- $P_f$  : puissance frigorifique fournie
- $K_{cp}$  : coefficient caractérisant la détérioration ou l'amélioration des performances à charge partielle

#### 4.10. Groupe absorption à chauffage au gaz

Les systèmes de production à absorption retenus sont les refroidisseurs/réchauffeurs de liquide à absorption à chauffage direct au gaz naturel utilisant le couple H<sub>2</sub>O/LiBr, à double effet, couplés à une tour de refroidissement.

**En mode refroidissement**, à partir, a minima, des puissance et efficacité frigorifiques à pleine charge du brûleur aux conditions nominales de température et débit, sont calculées :

- les caractéristiques (puissance et efficacité) à pleine charge du brûleur aux conditions de température considérées quasiment toujours non nominales,
- l'efficacité à charge partielle aux conditions de températures considérées.

La forme du modèle exprimant la puissance frigorifique à pleine charge du brûleur aux conditions non nominales est la suivante :

$$P_{fl}(T_{se}, T_{ec}) = A_{T_{ec}} (1 - \exp(- (T_{se} + B) / C))$$

Où :

- $P_{fl}(T_{se}, T_{ec})$  est la puissance frigorifique à pleine charge aux conditions considérées ( $T_{se}$ ,  $T_{ec}$ ), [W],
- $T_{se}$  est la température de sortie d'eau glacée, [°C],
- $T_{ec}$  est la température du fluide de refroidissement à l'entrée du condenseur, [°C],
- $A_{T_{ec}}$ , B et C sont des coefficients déterminés à partir de trois points expérimentaux.

Les données des constructeurs disponibles montrent que l'efficacité frigorifique peut être exprimée par un modèle linéaire de la forme :

$$EER_{(T_{se}, T_{ec})} = EER_{(T_{se_{nom}}, T_{ec_{nom}})} + E_1 * (T_{se} - T_{se_{nom}}) + E_2 * (T_{ec} - T_{ec_{nom}})$$

Les coefficients sont déterminés avec les trois points de fonctionnement utilisés pour la puissance frigorifique.

Le comportement d'une machine à charge partielle dépend de sa technologie :

- Machine à régulation de brûleur tout ou rien : celui-ci va fonctionner de façon cyclique impliquant des pertes au redémarrage et à l'arrêt,
- Machine à régulation de brûleur tout, peu, rien ou modulant : dans un premier temps, le brûleur va s'adapter à la charge, puis, si la charge diminue en dessous de la valeur correspondant au peu du brûleur ou au palier bas de modulation, celui-ci va fonctionner par cycles comme dans la machine précédente.

Le modèle [36] représente un fonctionnement continu du brûleur à pleine charge et à charge partielle et un fonctionnement intermittent du brûleur à charge partielle.

**En mode chauffage**, compte tenu des similitudes de conception avec les chaudières et de résultats d'essais, il n'a pas été développé de modèle spécifique pour le réchauffage de liquide par machine à absorption H<sub>2</sub>O/LiBr. Le modèle de chaudière de ConsoClim a alors été adapté.

## V. MODELISATION CONSOCLIM DES 5 TYPES DE BATIMENT

### 5.1. Bâtiment 1a

Le bâtiment de type 1.a - grande surface bureaux paysagés – est modélisé comme suit sous ConsoClim.

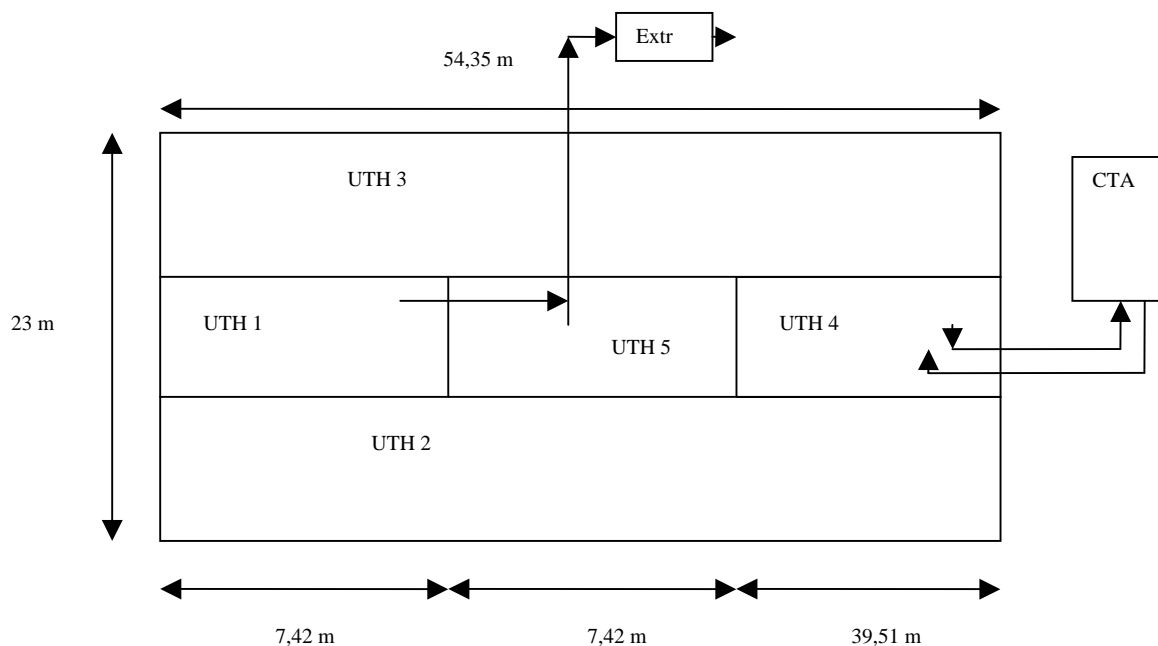


Figure 16 : plan et découpage du bâtiment

Le bâtiment est constitué de 12 étages identiques. La hauteur sous plafond est égale à 3 m.

UTH	Type locaux	Usage	Surface 1 étage	Surface 12 étages	% du total	volume
1	Extraction	sanitaires	37,05	444,6	3	1333,8
2	Entrée	bureaux	489,15	5869,8	78,26	17 609,4
3	Entrée	bureaux	489,15	5869,8		17 609,4
4	Entrée	réunion	197,6	2371,2	15,8	7 113,6
5	Intermédiaire	circulations	37,05	444,6	3	1333,8
Total			1250	15 000	100	45 000

UTH	Nb occ	Débit AN	Extraction	CTA	Eclairage	AI
1	0		3000 constant		2670	0
2	489	12 225			105 650	88 000
3	489	12 225			105 650	88 000
4	677	20 310		20 310	42 700	0
5	0		21 450		5340	0

Tableau 15 : caractéristiques du bâtiment

Le Tableau 16 présente le calcul des surfaces extérieures.

HSP m 3		surfaces extérieures pour un étage				surfaces extérieures pour le bâtiment									
surface m <sup>2</sup> 15000		plafond	verticales opaques et vitrées				plafond	verticales opaques et vitrées				totales verticales	totales	totales baies	
Usage	UTH		N	S	E	O		N	S	E	O				
sanitaires	1	37,05	0	0	0	0	37,1	0	0	0	0	0	37,05	0	
bureaux	2	489,15	163,05	0	0	0	489,2	1956,6	0	0	0	1956,6	2445,75	978,3	
bureaux	3	489,15	0	163,05	0	0	489,2	0	1956,6	0	0	1956,6	2445,75	978,3	
SR	4	197,6	0	0	0	0	197,6	0	0	0	0	0	197,6	0	
circulations	5	37,05	0	0	0	0	37,1	0	0	0	0	0	37,05	0	
							1250					somme m <sup>2</sup>	3913,2	5163,2	1956,6
												ratio	0,26	0,34	0,5

HSP m 3		surfaces extérieures pour le bâtiment							
surface m <sup>2</sup> 15000		verticales vitrées				verticales opaques			
Usage	UTH	N	S	E	O	N	S	E	O
sanitaires	1	0	0	0	0	0	0	0	0
bureaux	2	978,3	0	0	0	978,3	0	0	0
bureaux	3	0	978,3	0	0	0	978,3	0	0
SR	4	0	0	0	0	0	0	0	0
circulations	5	0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 16 : calcul des surfaces extérieures du bâtiment

## 5.2. Bâtiment 1b

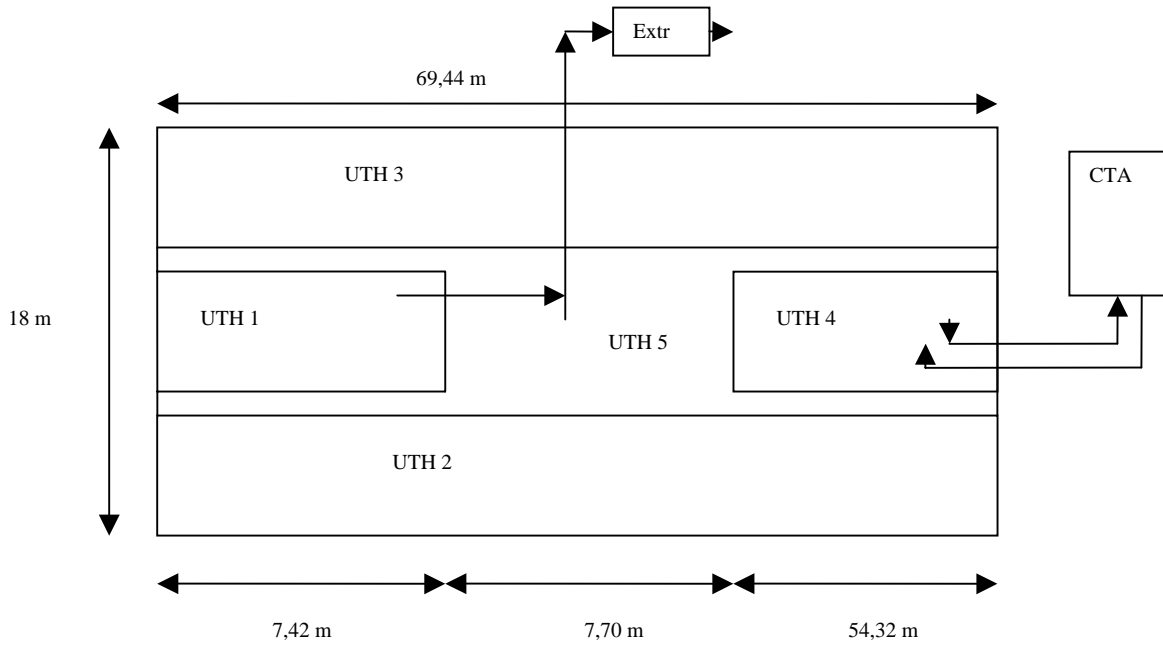


Figure 17 : plan et découpage du bâtiment

Le bâtiment est constitué de 12 étages identiques. La hauteur sous plafond est égale à 3 m.

UTH	Type locaux	Usage	Surface 1 étage	Surface 12 étages	% du total	volume
1	Extraction	sanitaires	37,05	444,6		1333,8
2	Entrée	bureaux	347,2	4166,4		12 499,2
3	Entrée	bureaux	347,2	4166,4		12 499,2
4	Entrée	réunion	271,6	3259,2		9777,6
5	Intermédiaire	circulations	246,9	2962,8		8888,4
Total			1249,95	14 999,4	100	44 998,2

UTH	Nb occ	Débit AN	Extraction	CTA	Eclairage	AI
1	0		3000 constant		2670	0
2	347	8675			75 000	62 500
3	347	8675			75 000	62 500
4	931	27 930		27 930	58 700	0
5	0		14 350		35 550	0

Tableau 17 : caractéristiques du bâtiment

Le Tableau 18 présente le calcul des surfaces extérieures.

HSP m		3		surfaces extérieures pour un étage				surfaces extérieures pour le bâtiment											
surface m <sup>2</sup>		15000		plafond				plafond				verticales opaques et vitrées		totales		totales		totales	
Usage	UTH	verticales opaques et vitrées				verticales opaques et vitrées				N S E O		N S E O		verticales		baies			
sanitaires	1	37,05	0	0	0	0	37,1	0	0	0	0	0	0	0	0	37,05	0		
bureaux	2	347,2	208,32	0	0	0	347,2	2499,8	0	0	0	2499,84	2847,04	1249,92					
bureaux	3	347,2	0	208,32	0	0	347,2	0	2499,8	0	0	2499,84	2847,04	1249,92					
SR	4	271,6	0	0	0	0	271,6	0	0	0	0	0	271,60	0					
circulations	5	246,9	0	0	0	0	246,9	0	0	0	0	0	246,90	0					
								1249,95				somme m <sup>2</sup>		4999,7		6249,6		2499,8	
												ratio		0,33		0,42		0,50	

HSP m		3		surfaces extérieures pour le bâtiment							
surface m <sup>2</sup>		15000		verticales vitrées				verticales opaques			
Usage	UTH	N S E O				N S E O					
sanitaires	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
bureaux	2	1249,9	0	0	0	1249,92	0	0	0		
bureaux	3	0	1249,9	0	0	0	1249,92	0	0		
SR	4	0	0	0	0	0	0	0	0		
circulations	5	0	0	0	0	0	0	0	0		

Tableau 18 : calcul des surfaces extérieures du bâtiment

### 5.3. Bâtiment 1c

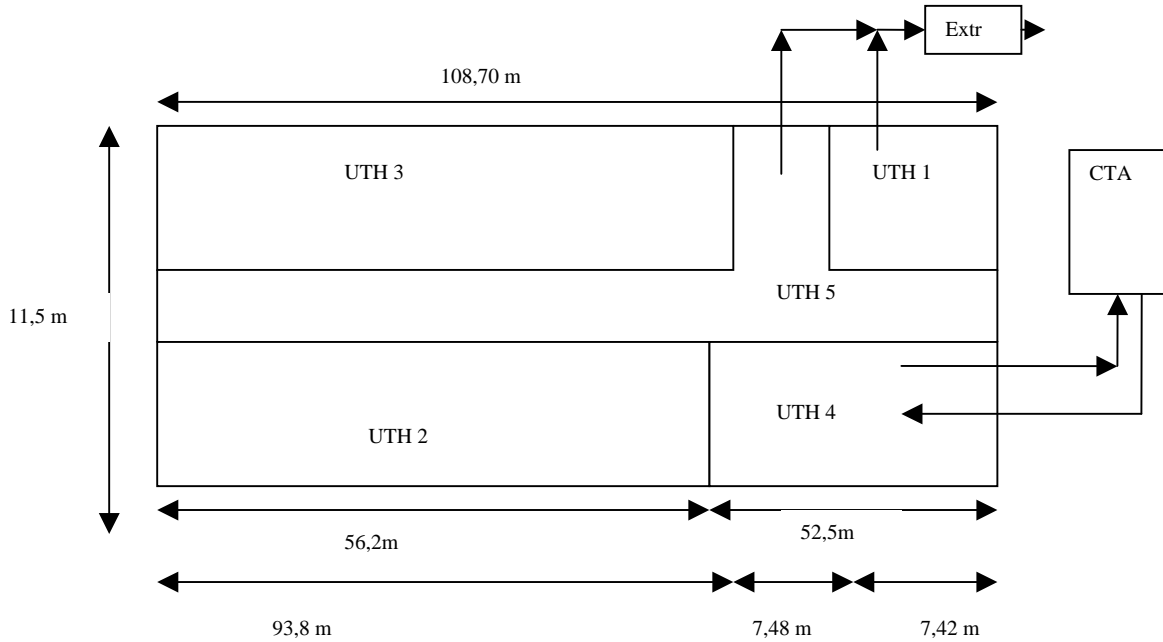


Figure 18 : plan et découpage du bâtiment

Le bâtiment est constitué de 12 étages identiques. La hauteur sous plafond est égale à 3 m.

UTH	Type locaux	Usage	Surface 1 étage	Surface 12 étages	% du total	volume
1	Extraction	sanitaires	37,05	444,6		1333,8
2	Entrée	bureaux	281	3372		10 116
3	Entrée	bureaux	469	5628		16 884
4	Entrée	réunion	262,5	3150		9450
5	Intermédiaire	circulations	200,45	2405,4		7216,2
Total			1250	15 000	100	45 000

UTH	Nb occ	Débit AN	Extraction	CTA	Eclairage	AI
1	0		3000 constant		2670	0
2	281	7025			60 700	50 600
3	469	11 725			101 300	84 400
4	900	27 000		27 000	56 700	0
5	0		15 750		28 850	0

**Tableaux 19 : caractéristiques du bâtiment**

Le Tableau 20 présente le calcul des surfaces extérieures.

HSP m		3		surfaces extérieures pour un étage				surfaces extérieures pour le bâtiment										
surface m <sup>2</sup>		15000		plafond		verticales opaques et vitrées				plafond		verticales opaques et vitrées				totales	totales	totales
Usage	UTH			N	S	E	O			N	S	E	O	verticales		baies		
sanitaires	1	37,05		22,26	0	0	0	37,1		267,1	0	0	0	267,12	304,17	133,56		
bureaux	2	281		0	168,6	0	0	281		0	2023,2	0	0	2023,20	2304,2	1011,6		
bureaux	3	469		281,4	0	0	0	469		3376,8	0	0	0	3376,80	3845,8	1688,4		
SR	4	262,5		0	157,5	0	0	262,5		0	1890	0	0	1890	2152,5	945		
circulations	5	200,45		22,44	0	0	0	200,5		269,3	0	0	0	269,28	469,73	134,64		
										1250				somme m <sup>2</sup>	7826,4	9076,4	3913,2	
														ratio	0,52	0,61	0,5	

HSP m		3		surfaces extérieures pour le bâtiment							
surface m <sup>2</sup>		15000		verticales vitrées				verticales opaques			
Usage	UTH	N	S	E	O	N	S	E	O		
sanitaires	1	133,6	0	0	0	133,56	0	0	0		
bureaux	2	0	1011,6	0	0	0	1011,6	0	0		
bureaux	3	1688,4	0	0	0	1688,40	0	0	0		
SR	4	0	945	0	0	0	945	0	0		
circulations	5	134,6	0	0	0	134,64	0	0	0		

**Tableau 20 : calcul des surfaces extérieures du bâtiment**



#### 5.4. Bâtiment 2

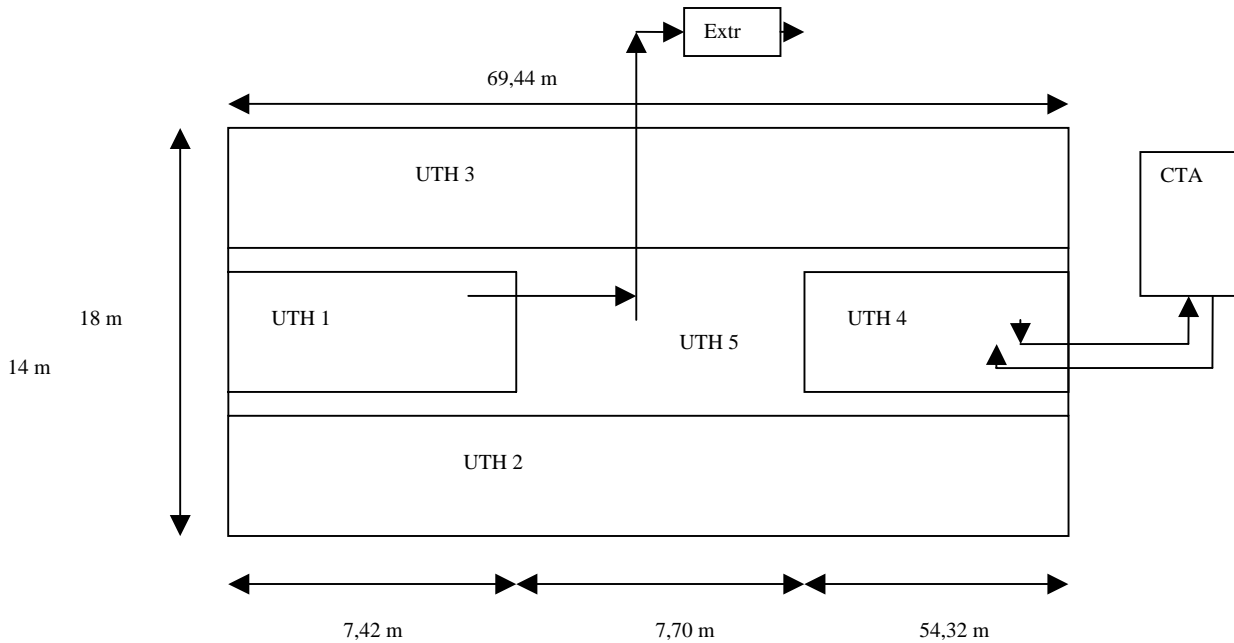


Figure 19 : plan et découpage du bâtiment

Le bâtiment est constitué de 4 étages identiques. La hauteur sous plafond est égale à 3 m. L'inertie est moyenne puis lourde.

UTH	Type locaux	Usage	Surface 1 étage	Surface 4 étages	% du total	volume
1	Extraction	sanitaires	37,05	148,2		444,6
2	Entrée	bureaux	347,2	1388,8		4166,4
3	Entrée	bureaux	347,2	1388,8		4166,4
4	Entrée	réunion	271,6	1086,4		3259,2
5	Intermédiaire	circulations	246,9	987,6		2962,8
Total			1249,95	5000	100	14 999,4

UTH	Nb occ	Débit AN	Extraction	CTA	Eclairage	AI
1	0		1000 constant		890	0
2	116	2900			25 000	20 800
3	116	2900			25 000	20 800
4	310	9 300		9 300	19 550	0
5	0		4800		11 850	0

Tableau 21 : caractéristiques du bâtiment

Le Tableau 22 présente le calcul des surfaces extérieures.

HSP m		3	surfaces extérieures pour un étage				surfaces extérieures pour le bâtiment								
surface m <sup>2</sup>		5000	plafond	verticales opaques et vitrées				plafond	verticales opaques et vitrées				totales vitrées	totales opaques	totales baies
Usage	UTH	N		S	E	O	N		S	E	O				
sanitaires	1	37,05	0	0	0	0	37,1	0	0	0	0	0	37,05	0	
bureaux	2	347,2	208,32	0	0	0	347,2	833,28	0	0	0	833,28	1180,48	218,74	
bureaux	3	347,2	0	208,32	0	0	347,2	0	833,28	0	0	833,28	1180,48	218,74	
SR	4	271,6	0	0	0	0	271,6	0	0	0	0	0	271,6	0	
circulations	5	246,9	0	0	0	0	246,9	0	0	0	0	0	246,9	0	
1249,95											somme m <sup>2</sup>	1666,6	2916,5	437,5	
											ratio	0,33	0,58	0,15	

HSP m		3	surfaces extérieures pour le bâtiment							
surface m <sup>2</sup>		5000	verticales vitrées				verticales opaques			
Usage	UTH		N	S	E	O	N	S	E	O
sanitaires	1		0	0	0	0	0	0	0	0
bureaux	2		218,74	0	0	0	614,54	0	0	0
bureaux	3		0	218,74	0	0	0	614,54	0	0
SR	4		0	0	0	0	0	0	0	0
circulations	5		0	0	0	0	0	0	0	0

Tableau 22 : calcul des surfaces extérieures du bâtiment

### 5.5. Bâtiment 3

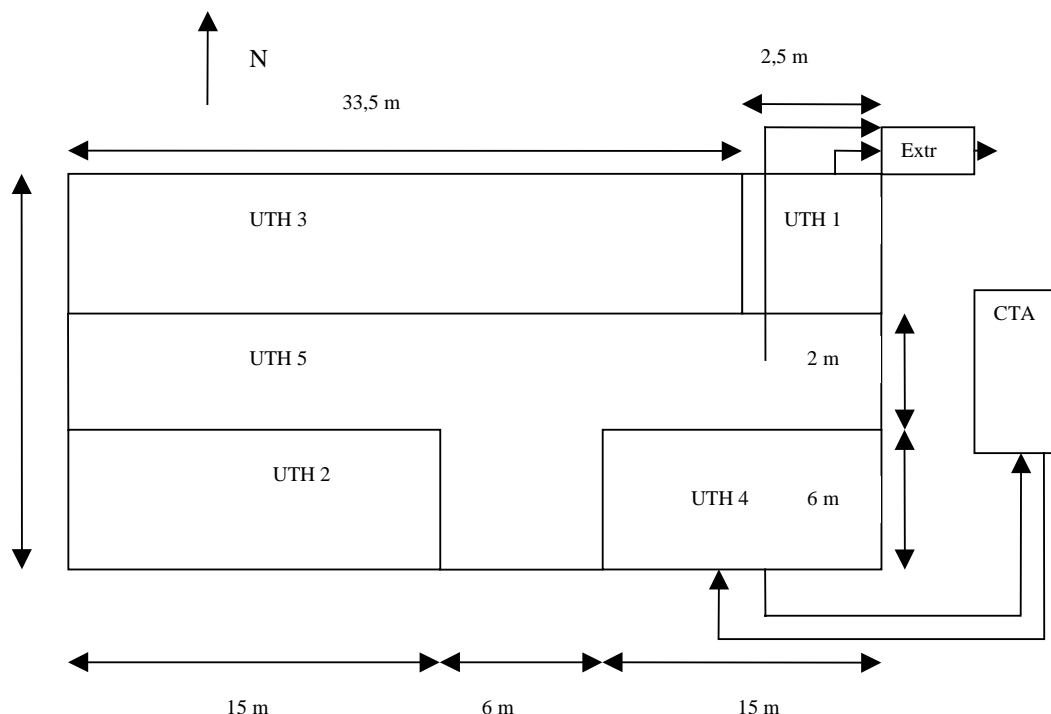


Figure 20 : plan et découpage du bâtiment

Le bâtiment est constitué de deux étages identiques. La hauteur sous plafond est égale à 2,7m.

UTH	Type locaux	Usage	surface	% du total	volume
1	Extraction	sanitaires	30	3	81
2	Entrée	bureaux	180	57,7	486
3	Entrée	bureaux	402		1085,4
4	Entrée	réunion	180	17,9	486
5	Intermédiaire	circulations	216	21,4	583,2
Total			1008	100	2721,6

Tableau 23 : Répartition des UTH selon type et usage

UTH	Nb occ	Débit AN	Extraction	CTA	Eclairage	AI
1	0		200 constant		180	0
2	15	375			3240	2700
3	33	825			7236	6030
4	51	1530		1530	3240	0
5	0		1000		2592	0

Tableau 24 : Nombres d'occupants, débits de ventilation, puissance d'éclairage et apports internes selon les UTH

Le Tableau 25 présente le calcul des surfaces extérieures.

HSP m		2,7		surfaces extérieures pour un étage				surfaces extérieures pour le bâtiment								
surface m <sup>2</sup>		1008		plafond		verticales opaques et vitrées		plafond		verticales opaques et vitrées		totales		totales		
Usage	UTH			N	S	E	O			N	S	E	O	verticales		baies
sanitaires	1	15		6,75	0	16,2	0	15		13,5	0	32,4	0	45,9	60,9	7,5
bureaux	2	90		0	40,5	0	16,2	90		0	81	0	32,4	113,4	203,4	45
bureaux	3	201		90,45	0	0	16,2	201		180,9	0	0	32,4	213,3	414,3	100,5
SR	4	90		0	40,5	16,2	0	90		0	81	32,4	0	113,4	203,4	45
circulations	5	108		0	16,2	5,4	5,4	108		0	32,4	10,8	10,8	54	162	18
504										somme m <sup>2</sup>		540	1044	216		
										ratio		0,54	1,04	0,21		

HSP m		2,7		surfaces extérieures pour le bâtiment							
surface m <sup>2</sup>		1008		verticales vitrées				verticales opaques			
Usage	UTH			N	S	E	O	N	S	E	O
sanitaires	1	15		7,5	0	0	0	6	0	32,4	0
bureaux	2	90		0	45	0	0	0	36	0	32,4
bureaux	3	201		100,5	0	0	0	80,4	0	0	32,4
SR	4	90		0	45	0	0	0	36	32,4	0
circulations	5	108		0	18	0	0	0	14,4	10,8	10,8

Tableau 25 : calcul des surfaces extérieures du bâtiment

## VI. DETERMINATION DES CHOIX CONSTRUCTIFS CONCOURANT A L'OBJECTIF DE CONSOMMATION

### 6.1. Méthode des plans d'expériences

La méthode des plans d'expériences est utilisée et permet, en un nombre optimisé de calculs, de quantifier les effets des variables d'entrée et les interactions entre ces variables sur les résultats.

Le modèle par lequel on veut modéliser les sorties (sous forme polynomiale) doit être défini a priori. Le modèle choisi influence directement le type de plan. Dans notre cas, un modèle ne prenant pas en compte les auto-corrélations, mais permettant de quantifier l'interaction entre variables semble bien adapté.

Deux niveaux sont choisis par variable, le niveau moyen plus la variation et le niveau moyen moins la variation, et les calculs sont effectués pour tous les cas. Les variables étant centrées et réduites, elles varient d'un niveau bas, -1, à un niveau haut, +1. Le nombre de calculs est ici de  $2n$ , avec  $n$  le nombre de variables.

variables	Niveaux	
	Bas (-1)	Haut (+1)
U toit, murs	0,2 _ 0,4	0,3 _ 0,6
U baies	2	3
Orientation	Façades vitrées N/S	Façades vitrées E/O
Gestion Prot Sol	Peu sensible (0, 18 %, 38 %)	Sensible (14 %, 32 %, 52 %)
Ventilation	Débit réduit en occ -30%, maintenu en UTH 1	Débit normal en occ
AI	Forts en bureaux 15W/m <sup>2</sup>	Faibles en bureaux 7,5W/m <sup>2</sup>
Gest éclairage	Interrupteur puissance élevé 18W/m <sup>2</sup>	Interrupteur + gradateur puissance faible 10W/m <sup>2</sup>
Inertie	faible	forte
Perméabilité	1,2 m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> ) sous 4 Pa	2,4 m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> ) sous 4 Pa

**Tableau 26 : Variables du plan d'expériences**

En **toiture**, l'objectif d'un coefficient U global de 0,2 W/(m<sup>2</sup>.K) - résistance thermique de la paroi de 5,42 (m<sup>2</sup>.K)/W - peut être atteint de la façon suivante :

- Panneaux stabilisés de polystyrène expansé avec 190 mm de PE ;
- Panneaux rigides composés d'une âme de mousse de polyuréthane parementé aluminium-kraft avec 130mm de polyuréthane

Pour l'objectif limite d'un coefficient U global de 0,4 W/(m<sup>2</sup>.K) de **mur** - résistance thermique de la paroi de 2,61 (m<sup>2</sup>.K)/W - avec les quatre grandes familles d'isolant, les solutions sont :

- polystyrène expansé : 100 mm d'isolant + 13 mm de plâtre

- laine de roche : 100 mm d'isolant + 10 mm de plâtre
- polystyrène extrudé : 80 mm d'isolant + 10 mm de plâtre
- polyuréthane : 80 mm d'isolant + 10 mm de plâtre

Pour les **baies**, les solutions sont :

- menuiserie à rupture de pont thermique et double vitrage (4/16/4 composé d'une lame de Krypton) voire triple vitrage (6/16/4/16/4 comprenant 2 lames d'argon).
- menuiserie en PVC avec double vitrage « classique »

La technologie actuelle de l'habitat permet une gestion individualisée des **protections solaires**. La mise en œuvre d'un moteur et d'une commande par protection permet d'individualiser cette gestion. Les mesures d'ensoleillement et de la vitesse du vent par façade permettent d'optimiser en toute sécurité la gestion des protections solaires afin de minimiser les besoins de chauffage et de climatisation.

Enfin, une mesure de luminosité dans chaque local permet de piloter les gestions solaires en fonction de ce paramètre de manière à optimiser les consommations **d'éclairage artificiel** en fonction de l'éclairage naturel.

La **gestion de la ventilation** peut se faire de la manière suivante :

- fonctionnement permanent en fonction des horaires d'occupation du bâtiment : la salle de réunion est traitée par le même système de ventilation que le reste du bâtiment.
- fonctionnement en fonction de l'occupation de la salle : un système de ventilation spécifique est prévu pour assurer le débit d'air hygiénique de la salle. Une sonde de présence peut être installée afin de ne faire fonctionner le système qu'en période d'occupation réelle de la salle.
- fonctionnement en fonction de l'occupation de la salle et de son taux d'occupation : une sonde de qualité d'air est mise en place en complément de la sonde de présence afin de moduler le débit d'air hygiénique en fonction du taux d'occupation réel de la salle. Le moteur du système de ventilation doit être à vitesse variable ce qui permet une variation du débit entre 30% et 100% du débit nominal.

**Après examen des 512 résultats de simulation, on retient les solutions :**

- solution 1 : besoins minimaux avec recours aux optimiseurs d'éclairage et de ventilation
- solution 2 : besoins minimaux sans recours aux optimiseurs d'éclairage et de ventilation
- solution 3 : besoins maximum (dans les limites du plan d'expérience)

## 6.2. Solutions 1, 2 et 3 pour les différents bâtiments

Caractéristiques du bâtiment	Trappes ou Mâcon			Nice		
	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 1	Solution 2	Solution 3
<b>U toit, murs</b>	-1	-1	-1	-1	-1	-1
<b>U baies</b>	-1	-1	-1	1	1	-1
<b>Orientation</b>	-1	-1	1	-1	-1	1
<b>Gestion Prot</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Ventilation</b>	-1	1	-1	-1	1	-1
<b>AI</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Gest. éclairage</b>	1	-1	-1	1	-1	-1
<b>Inertie</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Perméabilité</b>	-1	-1	-1	1	1	-1

Tableau 27 : Bâtiment de type 1a

Caractéristiques du bâtiment	Trappes ou Mâcon			Nice		
	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 1	Solution 2	Solution 3
<b>U toit, murs</b>	-1	-1	1	-1	-1	-1
<b>U baies</b>	-1	-1	1	1	1	-1
<b>Orientation</b>	-1	-1	1	-1	-1	1
<b>Gestion Prot.</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Ventilation</b>	-1	1	1	-1	1	-1
<b>AI</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Gest éclairage</b>	1	-1	-1	1	-1	-1
<b>Inertie</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Perméabilité</b>	-1	-1	1	1	1	-1

Tableau 28 : Bâtiment de type 1b

Caractéristiques du bâtiment	Trappes ou Mâcon			Nice		
	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 1	Solution 2	Solution 3
<b>U toit, murs</b>	-1	-1	1	-1	-1	-1
<b>U baies</b>	-1	-1	1	1	1	-1
<b>Orientation</b>	-1	-1	1	-1	-1	1

<b>Gestion Prot.</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Ventilation</b>	-1	1	1	-1	1	-1
<b>AI</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Gest éclairage</b>	1	-1	-1	1	-1	-1
<b>Inertie</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Perméabilité</b>	-1	-1	1	-1	-1	-1

Tableau 29 : Bâtiment de type 1c

Caractéristiques du bâtiment	Trappes ou Mâcon			Nice		
	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 1	Solution 2	Solution 3
<b>U toit, murs</b>	-1	-1	1	-1	-1	-1
<b>U baies</b>	-1	-1	1	1	1	-1
<b>Orientation</b>	-1	-1	1	-1	-1	1
<b>Gestion Prot.</b>	1	1	1	1	1	-1
<b>Ventilation</b>	-1	1	1	-1	1	-1
<b>AI</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Gest éclairage</b>	1	-1	-1	1	-1	-1
<b>Inertie</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Perméabilité</b>	-1	-1	1	1	1	-1

Tableau 30 : Bâtiment de type 2

Caractéristiques du bâtiment	Trappes ou Mâcon			Nice		
	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 1	Solution 2	Solution 3
<b>U toit, murs</b>	-1	-1	1	-1	-1	-1
<b>U baies</b>	-1	-1	1	1	1	-1
<b>Orientation</b>	-1	-1	1	-1	-1	1
<b>Gestion Prot.</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Ventilation</b>	-1	1	1	-1	1	-1
<b>AI</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Gest éclairage</b>	1	-1	-1	1	-1	-1
<b>Inertie</b>	1	1	-1	1	1	-1
<b>Perméabilité</b>	-1	-1	1	-1	-1	-1

Tableau 31 : Bâtiment de type 3



### 6.3. Conclusions sur les résultats

Caractéristiques du bâtiment	Trappes ou Mâcon			Nice		
	Solution 1	Solution 2	Solution 3	Solution 1	Solution 2	Solution 3
U toit, murs	-1	-1	<b>1 ou -1</b>	-1	-1	-1
U baies	-1	-1	<b>1 ou -1</b>	1	1	-1
Orientation	-1	-1	1	-1	-1	1
Gestion Prot.	1	1	<b>1 ou -1</b>	1	1	-1
Ventilation	-1	<b>1</b>	<b>1 ou -1</b>	-1	<b>1</b>	-1
AI	1	1	-1	1	1	-1
Gest éclairage	<b>1</b>	-1	-1	<b>1</b>	-1	-1
Inertie	1	1	-1	1	1	-1
Perméabilité	-1	-1	<b>1 ou -1</b>	<b>1 ou -1</b>	<b>1 ou -1</b>	-1

Tableau 32 : Points communs et différences pour tous les bâtiments  
en bleu ce qui est commun à tous

#### Trappes

Gestion de la ventilation et de l'éclairage sont les éléments qui différencient les solutions 1 et 2 par définition. Les bonnes solutions sont les mêmes pour tous les bâtiments. Les **gains internes doivent être à leur valeur basse, l'inertie forte et il faut une bonne gestion des protections solaires pour minimiser les besoins. Les paramètres les plus influents** sont ceux qui expliquent les déperditions de chaleur : **isolation des parois transparentes et opaques qui doit être forte, perméabilité qui doit être faible. L'orientation Nord Sud est plus favorable.**

#### Nice

Les bonnes solutions sont également les mêmes pour tous les bâtiments en dehors de la perméabilité. Une forte perméabilité est favorable sauf pour les bâtiments 1c et 3. Ceci dit, les écarts de consommation sont très faibles. Les **gains internes doivent être à leur valeur basse, l'inertie forte et il faut une bonne gestion des protections solaires pour minimiser les besoins.** Les paramètres qui expliquent les déperditions par les parois : **opaques et baies font très peu varier les consommations (les autres paramètres étant inchangés).** L'orientation Nord Sud est plus favorable.

	Trappes	Nice
U toit, murs	0,2_0,4	0,2_0,4
U baies	<b>2</b>	<b>3</b>
Orientation	Façades vitrées N/S	Façades vitrées N/S
Gestion Protections Solaires	Sensible (14 %, 32 %, 52 %)	Sensible (14 %, 32 %, 52 %)
Ventilation	Débit réduit en occ -30%, maintenu en UTH 1	Débit réduit en occ -30%, maintenu en UTH 1

Apports Internes	Faibles en bureaux 7,5W/m <sup>2</sup>	Faibles en bureaux 7,5W/m <sup>2</sup>
Gestion de l'éclairage	Interrupteur + gradateur puissance faible 10W/m <sup>2</sup>	Interrupteur + gradateur puissance faible 10W/m <sup>2</sup>
Inertie	forte	Forte
Perméabilité	1,2 m <sup>3</sup> /(h.m <sup>2</sup> ) sous 4 Pa	<b>Dépend des bâtiments</b>

**Tableau 33 : Solution 1 (minimum de besoins) à Trappes**

On notera qu'à Nice les besoins de froid sont largement supérieurs aux besoins de chauffage : 42 % contre 9 % (le reste des consommations provient à 23 % de l'éclairage et 26 % de la bureautique). De ce fait, l'isolation des parois n'est plus toujours favorable ce qu'on remarque avec la valeur de  $U_{baies}$ . Les différences de consommation entre  $U_{baies} = 2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  et  $U_{baies} = 3 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$  sont très faibles (idem pour  $U_{toits}$ ,  $U_{murs}$ ).

## VII. CHOIX DES SYSTEMES, DIMENSIONNEMENT ET PLAN D'EXPERIENCES

Les simulations seront limitées aux systèmes qui conviennent à chacun des 5 types de bâtiments. On identifiera les paramètres des systèmes à retenir pour un climat puis ces premiers résultats seront utilisés pour les autres climats.

Systèmes / Type de bâtiment	Ventilo-convecteurs	DAV	DAC	DRV	SPLIT	PAC réversible	DEC
Type 1a	x	x	x				
Type 1b	x	x					
Type 1c	x	x					
Type 2	x			x		x	
Type 3	x			x	x	x	x

**Tableau 34 : Systèmes associés aux bâtiments**

Pour l'ensemble des trios (solution constructive, climat, système retenu), tester l'effet des paramètres suivant en valeur haute et basse telles que :

### 7.1. Conditions du dimensionnement

On a tout d'abord comparé trois types de fichiers météo :

- le fichier météo annuel de Consoclim
- le fichier météo du jour le plus chaud (pour l'été) de l'année existant dans le répertoire de ConsoClim (répétition sur 4 semaines)
- un fichier météo construit d'après la méthode de AICVF [34], guide n°2 (répétition sur 4 semaines)

Les températures d'eau de ville sont tirées du guide n°4 de l'AICVF [35] et qui sont représentées selon les trois mêmes régions climatiques indiquées ci dessus.

zone	jan	fév	mars	avril	mai	Juin	juillet	août	sep	oct	nov	déc
<b>H1</b>	5,7	5,7	7	9,2	11,8	14	15,3	15,3	14	11,8	9,2	7
<b>H2</b>	7,2	7,2	8,5	10,7	13,3	15,5	16,8	16,8	15,5	13,3	10,7	8,5
<b>H3</b>	9,7	9,7	11	13,2	15,8	18	19,3	19,3	18	15,8	13,2	11

**Tableau 35 : Températures d'eau de ville de base en France**

Les températures de base d'hiver sont constantes pour la plage horaire et sont classées selon des différentes régions. On a retenu  $-10\text{ °C}$ ,  $1,6\text{ g/kg}$  pour Trappes et Mâcon et  $0\text{ °C}$ ,  $3,2\text{ g/kg}$  pour Nice. Ce qui implique que les données météo pour le calcul des besoins de dimensionnement seront équivalentes pour Trappes et Mâcon (même zone climatique d'été).

Les consignes de températures sont maintenues constantes ( $25\text{ °C}$  en froid et  $20\text{ °C}$  en chaud, jour et nuit, en occupation et en inoccupation) pour éviter l'effet de la relance en chaud et en froid dans le dimensionnement. Le Tableau 36 compare les résultats obtenus pour les trois types des fichiers météo. Les besoins maximaux de froid (en occupation) et de chaud dans chacun des zones sont données ainsi que le besoin maximal pour le bâtiment entier.

zone	météo	Besoin maximum en froid (W)	Besoin maximum en chaud (W)	Maximum somme des besoins de froid (W)	Maximum somme des besoins de chaud (W)
UTH 2 (bureaux) Surface : 90*2 m <sup>2</sup>	Annuel	12751	4630	Annuel 40097 ~ 52,6 W/m <sup>2</sup>	Annuel 23847 ~ 31,3 W/m <sup>2</sup>
	Jour chaud	11292			
	AICVF	<b>14240</b>	<b>5836</b>		
UTH 3 (bureaux) Surface : 201*2 m <sup>2</sup>	Annuel	23472	9496	Jour chaud 40746 ~ 53,4 W/m <sup>2</sup>	AICVF <b>33770</b> ~ 44,3 W/m <sup>2</sup>
	Jour chaud	20704			
	AICVF	<b>23945</b>	<b>12043</b>		
UTH 4 (salle de réunion) Surface : 90*2 m <sup>2</sup>	Annuel	10782	13179	AICVF <b>44008</b> ~ 57,7 W/m <sup>2</sup>	
	Jour chaud	11216			
	AICVF	<b>12102</b>	<b>16703</b>		

**Tableau 36 : Résultats des besoins dans les différentes zones (bâtiment 3) selon le type des fichiers météo**

On constate que la méthode AICVF donne des valeurs supérieures, ce qui est logique, parce que les données sont destinées au dimensionnement. **Nous avons donc retenu les fichiers météo de AICVF comme données sources.**

Les unités terminales sont « réelles », tirées de catalogues de constructeur. Ayant le besoin sensible (sortie de Consoclim) pour chaque zone, on considère la température de soufflage nominale en refroidissement (donnée par le constructeur) et on calcule le débit d'air nécessaire :

$$m_a = \frac{P_{sen}}{(C_{pa} + w_{ae} \cdot C_{pv}) \cdot \Delta T}, \text{ avec } \Delta T = (T_i - T_s)$$

## 7.2. Dimensionnement de la solution ventilo convecteurs

Les ventilo-convecteurs à quatre tubes sont dimensionnés avec les régimes suivants :

- Régime d'eau froide 7/12 °C
- Régime d'air été 27 °C, 50 % HR
- Régime d'eau chaude 90/70 °C
- Régime d'air hiver 19 °C

Pour obtenir le nombre de ventilo-convecteurs, on a retenu les performances à vitesse du ventilateur moyenne, en retranchant les puissances des ventilateurs (Exemple pour le bâtiment 3 - Tableau 37). Voir note détaillée.

	Besoins sensibles froid (W)	Débit d'air massique (kg/s)	Débit d'air volumique (m <sup>3</sup> /h)	Nombre de ventilo-convecteurs <sup>1</sup>	Puissance du matériel en mode chauffage (W)	Besoins chaud (W)
<b>UTH 2</b>	P = 14240	$m_a = 1.07$	V = 3162	3	19140	5836
<b>UTH 3</b>	P = 23945	$m_a = 1.80$	V = 5317	6	38280	12043
<b>UTH 4</b>	P = 12102	$m_a = 0.91$	V = 2687	3	19140	16703

**Tableau 37 : Débit d'air pour chaque UTH (bat 3) et nombre de ventilo-convecteurs**

(v = 0,82 m<sup>3</sup>/kg, pour 14 °C, 90 % HR)

Les ventilo-convecteurs choisis ont les caractéristiques suivantes :

<sup>1</sup> Normalement, le nombre de ventilo-convecteurs devrait être divisible par le nombre d'étages. Comme le calcul dans Consoclim est fait au niveau des UTH, le nombre de ventilo-convecteurs est choisi pour chaque UTH qui regroupe des locaux identiques situés à plusieurs étages.

	haut	moyen	bas
<b>Débit m<sup>3</sup>/h (pour 3 vitesses)</b>	1330	940	690
<b>Puissance frigorifique (W)</b>	8020	6050	4640
<b>Puissance sensible (W)</b>	5780	4290	3270
<b>Puissance calorifique (W)</b>	7800	6380	5260
<b>Puissance absorbée par le moteur du ventilateur (W)</b>	180	123	100

**Tableau 38 : Caractéristiques des unités choisies**

On teste alors si la puissance calorifique (comprenant la puissance des ventilateurs) donnée par ces unités peut satisfaire les besoins de chaud nécessaires. On utilise les pré processeurs de Consoclim PREPROC pour la batterie froide et PREPHC pour la batterie chaude afin de tirer les caractéristiques nécessaires pour Consoclim (voir note détaillée).

Pour éviter le surdimensionnement du **groupe frigorifique**, on considère la puissance sensible demandée par le bâtiment (le maximum des sommes dans les UTH) (44 kW). Consoclim ne calcule pas la puissance totale (pas de consigne en humidité), on ajoute dans un premier temps 30 % de puissance latente (équivalent au rapport de puissance latente sur puissance totale des unités choisies) on obtient :  $P_t = 63$  kW (en ajoutant les puissances des ventilateurs qui sont à compenser). Après vérification des débits d'eau condensée, on prend finalement un **rapport de 15% de puissance latente** à la puissance totale. On retient donc  $P_t = 53$  kW.

### 7.3. Valeurs des besoins<sup>2</sup> pour les différents types de bâtiment

Les paramètres principaux pour tous types bâtiments sont résumés dans les tableaux suivants (pour Trappes « T » et Nice « N ») :

➤ **Besoin de froid (W/m<sup>2</sup>)**

	Bat1a_T	Bat1b_T	Bat1c_T	Bat2_T	Bat3_T
<b>Max</b>	37,8	36,1	44,3	32,3	43,7

	Bat1a_N	Bat1b_N	Bat1c_N	Bat2_N	Bat3_N
<b>Max</b>	50,2	49,6	52,3	45,5	48,2

**Tableau 39 : Besoin de froid annuel total**

<sup>2</sup> La comparaison des différentes valeurs selon le type de bâtiment ou la région climatique peut donner une incohérence due au fait que le cas de base pour le dimensionnement diffère d'un bâtiment à l'autre et d'une région climatique à l'autre. (base de dimensionnement pour 100 kWh/m<sup>2</sup>.an)

➤ Besoin de chaud (W/m<sup>2</sup>)

	Bat1a_T	Bat1b_T	Bat1c_T	Bat2_T	Bat3_T
Max	38,1	48,8	49,7	38,1	33,5

	Bat1a_N	Bat1b_N	Bat1c_N	Bat2_N	Bat3_N
Max	21,5	17,9	27,9	18,6	22,6

Tableau 40 : Besoin de chauffage annuel total

#### 7.4. Plan d'expériences pour la solution ventilo convecteurs

Après de premiers tests, il s'avère qu'il n'est pas nécessaire de faire varier les coefficients d'échange UA des batteries chaudes et froides des ventilo convecteurs, ceci ayant peu d'effet sur les consommations. On retient donc comme variables du plan d'expériences :

	Rendement chaudière de PCI	EER <sup>3</sup>	Rendement pompes et ventilateurs <sup>4</sup>	Isolation de réseau <sup>5</sup>	K <sub>cp</sub>
niveau (+1)	Valeur réglementaire <sup>6</sup> à 70°C, 100% charge  84 + 2 logP <sub>n</sub> si P <sub>n</sub> < 400 kW 89,2 si P <sub>n</sub> > 400 kW  à 50°C, 30% charge 83 + 2 logP <sub>n</sub> si P <sub>n</sub> < 400 kW 88,2 si P <sub>n</sub> > 400kW	1,9	0,52	Classe 2 (0,28 W/m.K)	1
niveau (-1)	chaudière à condensation  0,98 (à 70°C)  1,08 (à 30 °C)	3,3	0,87	Classe 6 (0,14 W/m.K)	0,8

Tableau 41 : Variables du plan d'expériences du système

L'isolation du réseau permet de limiter les déperditions vers des locaux non chauffés. Il a été considéré que 20 % des pertes étaient non récupérées.

K<sub>cp</sub> caractérise la détérioration (supérieur à 1) ou l'amélioration (inférieur à 1) des performances d'un groupe frigorifique à charge partielle (voir modèle dans [36]).

<sup>3</sup> Valeurs minimales et maximales issues de "Central air-conditioning systems efficiency : analysis of a few factors. Jérôme Adnot, Dominique Marchio, Julie Saba"

<sup>4</sup> Valeurs symétriques par rapport à une valeur moyenne de 0,7.

<sup>5</sup> Le coefficient d'échange linéique est choisi selon les exigences de la RT2000 sur l'isolation des réseaux de distribution (hors volume chauffé) pour le chauffage qui correspond à une isolation d'au moins classe 2 .

<sup>6</sup> Arrêté du 29 novembre 2000, article 22

### 7.5. Plan d'expériences pour le système à débit d'air variable

	Rendement chaudière de PCI	EER	Rendement pompes et ventilateurs	Isolation de réseau
niveau (+1)	Idem Tableau 41			
niveau (-1)				

Tableau 42 : Variables du plan d'expériences du système

### 7.6. Plan d'expériences pour le système à débit d'air constant

	EER	Rend chaudière	Rendement Ventilateurs et pompes
niveau (+1)	Idem Tableau 41		
niveau (-1)			

Tableau 43 : Variables du plan d'expériences du système

### 7.7. Plan d'expériences pour le système Split

	COP	EER <sup>7</sup>	Rendement ventilateurs
niveau (+1)	1,95	1,8	0,52
niveau (-1)	4,5	4,2	0,87

Tableau 44 : Variables du plan d'expériences du système

### 7.8. Plan d'expériences pour le système à dessiccation

	Rendement chaudière de PCI	EER	Rendement pompes et ventilateurs	Isolation de réseau
niveau (+1)	Idem Tableau 41			
niveau (-1)				

Tableau 45 : Variables du plan d'expériences du système

<sup>7</sup> Valeurs de COP et de EER retenues sur la base des données de certification d'EUROVENT 2005

Concernant les équipements de dessiccation et d'humidification, une seule valeur est envisagée (gamme des constructeurs), la variable importante est l'efficacité des ventilateurs déjà envisagée dans le plan – Tableau 45.

## 7.9. Plan d'expériences pour le système à débit de réfrigérant variable

Voir Tableau 44

# VIII. DETERMINATION DES PARAMETRES DES SYSTEMES CONCOURANT A L'OBJECTIF DE CONSOMMATION

## 8.1. Bâtiment 1a

### 8.1.1. Système ventilo convecteurs (VC)

	S1			S2			S3		
rés									
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 46 : Synthèse générale Bâtiment 1a pour Trappes

Les quatre variables que l'on peut améliorer (valeurs -1 du plan d'expériences) sont :

- EER du groupe frigorifique
- rendement des pompes et des ventilateurs
- isolation du réseau
- rendement de chaudière

L'ordre préférentiel peut varier légèrement d'un cas à l'autre. Par souci de lisibilité, on adoptera toujours l'ordre indiqué mais le lecteur pourra se reporter à [18] pour des résultats plus précis. Les tableaux se lisent ainsi :

**Pour atteindre Objectif 90-100, les solutions possibles sont :**

S1 + aucune exigence sur les variables du système (pas de case forcée)

S2 + 3 variables du système (3 cases forcées)

Les cases barrées par une croix en S3 indiquent que même en respectant les 4 variables, l'objectif n'est pas atteint.

**Pour atteindre Objectif 80-90, les solutions possibles sont :**

S1 + 1 variable du système

**Pour atteindre Objectif < 80, les solutions possibles sont :**

S1 + 2 variables



	S1			S2			S3		
rés EER aux chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 47 : Synthèse générale Bâtiment 1a pour Nice

La solution la moins exigeante sur le bâtiment (S3) ne permet pas d'atteindre l'objectif 100 kWh/m<sup>2</sup>.an même en optimisant le système.

Grâce aux gestions optimisées de la ventilation et de l'éclairage (S1 par rapport à S2) on peut être moins exigeant sur les équipements (systèmes) et atteindre l'objectif 100 kWh/m<sup>2</sup>.an. (on ne trouve pas la même consommation en énergie primaire pour une même valeur de consommation avec S1 et S2 d'énergie payante). On peut atteindre des valeurs beaucoup plus faibles et la consommation minimale obtenue est de **69 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes** et de **64 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice**. La consommation est en faveur de Nice grâce à la bonne performance du groupe frigorifique (énergie électrique) en comparaison avec la production du chauffage (gaz), où les demandes de rafraîchissement sont beaucoup plus importantes à Nice qu'à Trappes. Par contre les consommations minimales à Trappes et à Nice sont presque équivalentes en raisonnant en énergie primaire.

Les 32 combinaisons testées sont réparties sur les intervalles de consommation dans le tableau suivant :

	kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes	16	14	2	0
	Nice	27	5	0	0
S2	Trappes	0	0	8	24
	Nice	0	3	13	16
S3	Trappes	0	0	0	32
	Nice	0	0	0	32

Tableau 48 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats Bâtiment 1a – VC

### 8.1.2. Système à débit d'air variable (DAV)

Les quatre variables que l'on peut améliorer (valeurs -1 du plan d'expérience) sont :

- EER du groupe frigorifique
- rendement des pompes et des ventilateurs
- isolation du réseau
- rendement de chaudière

	S1			S2			S3		
rés EER aux chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 49 : Synthèse générale Bâtiment 1a pour Trappes

		S1			S2			S3		
rés EER aux chau										
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	

Tableau 50 : Synthèse générale Bâtiment 1a pour Nice

La solution la moins exigeante sur le bâtiment (S3) ne permet pas d'atteindre l'objectif 100kWh/m<sup>2</sup>.an même en optimisant le système.

L'effet d'optimisation des gestions dans le bâtiment (ventilation et éclairage, S1 par rapport à S2) permet d'être moins exigeant sur les équipements (systèmes).

La consommation minimale est de **64 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes** et de **61 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice**.

Les 16 combinaisons obtenues avec S1, S2, S3 sont réparties sur les intervalles de consommation comme :

		kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes		15	1	0	0
	Nice		15	1	0	0
S2	Trappes		0	8	7	1
	Nice		0	7	8	1
S3	Trappes		0	0	0	16
	Nice		0	0	0	16

Tableau 51 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats Bâtiment 1a - DAV

### 8.1.3. Système à débit d'air constant (DAC)

Les trois variables que l'on peut améliorer (valeurs -1 du plan d'expérience) sont :

- EER du groupe frigorifique
- rendement des pompes et des ventilateurs
- rendement de chaudière

		S1			S2			S3		
EER aux chau										
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	

Tableau 52 : Synthèse générale Bâtiment 1a pour Trappes

		S1			S2			S3		
EER aux chau										
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	

Tableau 53 : Synthèse générale Bâtiment 1a pour Nice

La solution la moins exigeante sur le bâtiment (S3) ne permet pas d'atteindre l'objectif 100kWh/m<sup>2</sup>.an même en optimisant le système.

L'effet d'optimisation des gestions dans le bâtiment (ventilation et éclairage, S1 par rapport à S2) permet d'être moins exigeant sur les équipements (systèmes).

La consommation minimale est de **71 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes** et de **65 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice**.

Les 8 combinaisons obtenues avec S1 sont réparties sur les intervalles de consommation comme :

	kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes	6	2	0	0
	Nice	6	2	0	0
S2	Trappes	0	5	0	3
	Nice	0	4	0	4
S3	Trappes	0	0	0	8
	Nice	0	0	0	8

**Tableau 54 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats  
Bâtiment 1a - DAC**

#### **8.1.4. Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 1a S1, S2, S3 à Trappes et à Nice**

Les histogrammes suivants comparent en énergie payante et primaire les différents systèmes envisagés dans le bât 1a. On remarquera que les plus faibles consommations sont obtenues avec le système à débit d'air variable. Cependant, chacun des systèmes étant « optimisé » en particulier du point de vue de la gestion des auxiliaires, les différences entre systèmes sont au maximum de l'ordre de 10%. L'impact des paramètres du système (EER, rendement de chaudière, ...) est plutôt de 30%.

Le classement n'est pas modifié si l'on se réfère aux valeurs d'énergie primaire qui sont environ double (et même un peu plus à Nice). Les variations d'un système à l'autre sont plus faibles en énergie primaire.

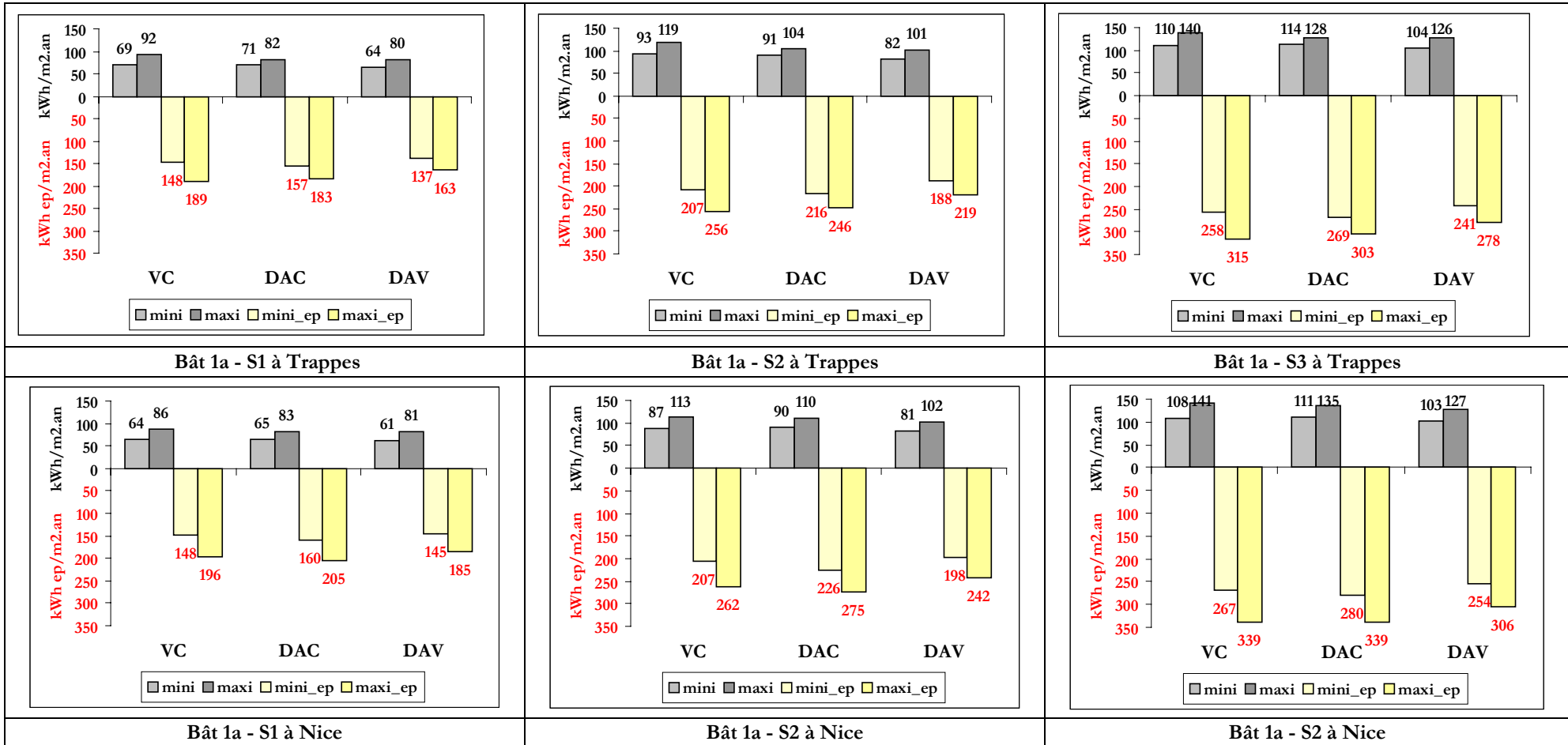


Figure 21 : Valeurs minimales et maximales des consommations dans le bâtiment 1a pour S1, S2, S3 à Trappes et à Nice

## 8.2. Bâtiment 1b

### 8.2.1. Système ventilo convecteurs (VC)

	S1			S2			S3		
rés									
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 55 : Synthèse générale Bâtiment 1b pour Trappes

	S1			S2			S3		
rés									
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 56 : Synthèse générale Bâtiment 1b pour Nice

Contrairement au bâtiment 1a, la solution la moins exigeante sur le bâtiment (S3) permet d'atteindre l'objectif 100 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice en soignant 3 variables du système.

La consommation minimale est de **76 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes** et de **66 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice**.

Les 32 combinaisons testées sont réparties sur les intervalles de consommation dans le Tableau :

	kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes	2	18	10	2
	Nice	21	11	0	0
S2	Trappes	0	0	7	25
	Nice	9	17	6	0
S3	Trappes	0	0	0	32
	Nice	0	0	10	22

Tableau 57 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats  
Bâtiment 1b - VC

### 8.2.2. Système à débit d'air variable (DAV)

	S1			S2			S3		
rés									
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 58 : Synthèse générale Bâtiment 1a pour Trappes

	S1			S2			S3			
rés EER aux chau							X			
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	

Tableau 59 : Synthèse générale Bâtiment 1a pour Nice

L'effet d'optimisation des gestions dans le bâtiment (ventilation et éclairage, S1 par rapport à S2) permet d'être moins exigeant sur les équipements (systèmes).

La consommation minimale est de **75 kWh/m<sup>2</sup>.an** à Trappes et de **62 kWh/m<sup>2</sup>.an** à Nice.

Les 16 combinaisons obtenues avec S1, S2, S3 sont réparties sur les intervalles de consommation comme suite :

	kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes	4	8	4	0
	Nice	14	2	0	0
S2	Trappes	0	8	6	2
	Nice	5	9	2	0
S3	Trappes	0	0	0	16
	Nice	0	2	6	8

Tableau 60 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats Bâtiment 1b - DAV

8.2.3. Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 1b S1, S2, S3 à Trappes et à Nice

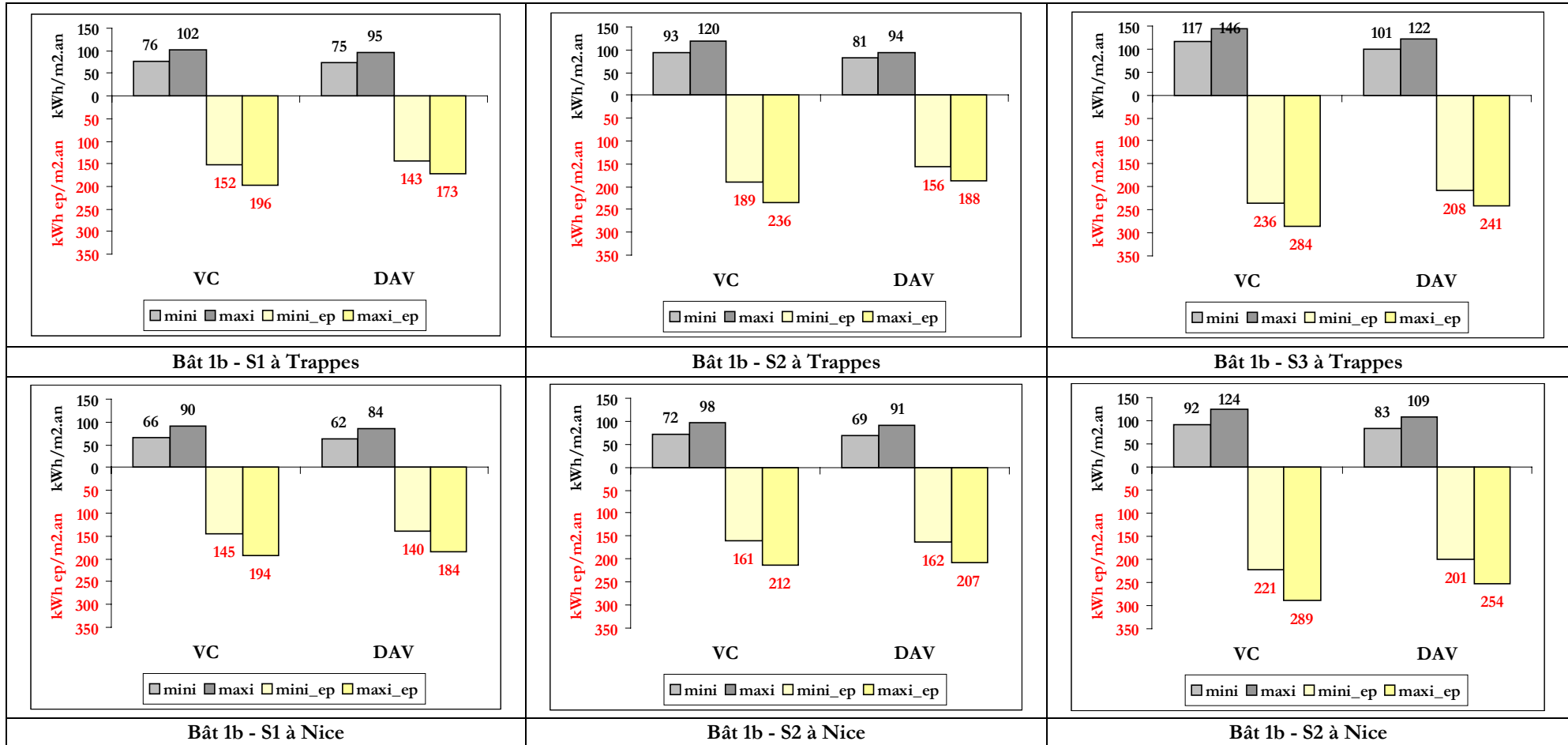


Figure 22 : Valeurs minimales et maximales des consommations dans le bâtiment 1b pour S1, S2, S3 à Trappes et à Nice

### 8.3. Bâtiment 1c

#### 8.3.1. Système à ventilo convecteurs (VC)

	S1			S2			S3		
rés	X			X			X		
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 61 : Synthèse générale Bâtiment 1c pour Trappes

	S1			S2			S3		
rés							X		
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 62 : Synthèse générale Bâtiment 1c pour Nice

La solution la moins exigeante sur le bâtiment (S3) permet d'atteindre l'objectif 100 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice avec 3 variables. La consommation minimale est de 80 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et de 64 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice.

Les 32 combinaisons testées sont réparties sur les intervalles de consommation dans le Tableau :

	kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes	0	12	14	6
	Nice	25	7	0	0
S2	Trappes	0	2	13	17
	Nice	1	12	17	2
S3	Trappes	0	0	0	32
	Nice	0	0	6	26

Tableau 63 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats Bâtiment 1c - VC

#### 8.3.2. Système à débit d'air variable (DAV)

	S1			S2			S3		
rés	X			X			X		
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 64 : Synthèse générale Bâtiment 1c pour Trappes



	S1			S2			S3		
rés EER aux chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

**Tableau 65 : Synthèse générale Bâtiment 1c pour Nice**

La solution la moins exigeante sur le bâtiment (S3) permet d'atteindre l'objectif 100kWh/m<sup>2</sup>.an avec quelques combinaisons à Nice.

L'effet d'optimisation des gestions dans le bâtiment (ventilation et éclairage, S1 par rapport à S2) permet d'être moins exigeant sur les équipements (systèmes).

La consommation minimale est de 80 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et de 63 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice.

Les 16 combinaisons obtenues avec S1, S2, S3 sont réparties sur les intervalles de consommation comme suite :

	kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes	0	9	7	0
	Nice	14	2	0	0
S2	Trappes	0	3	9	4
	Nice	3	9	4	0
S3	Trappes	0	0	0	16
	Nice	0	4	6	6

**Tableau 66 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats Bâtiment 1c - DAV**

8.3.3. Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 1c S1, S2, S3 à Trappes et à Nice

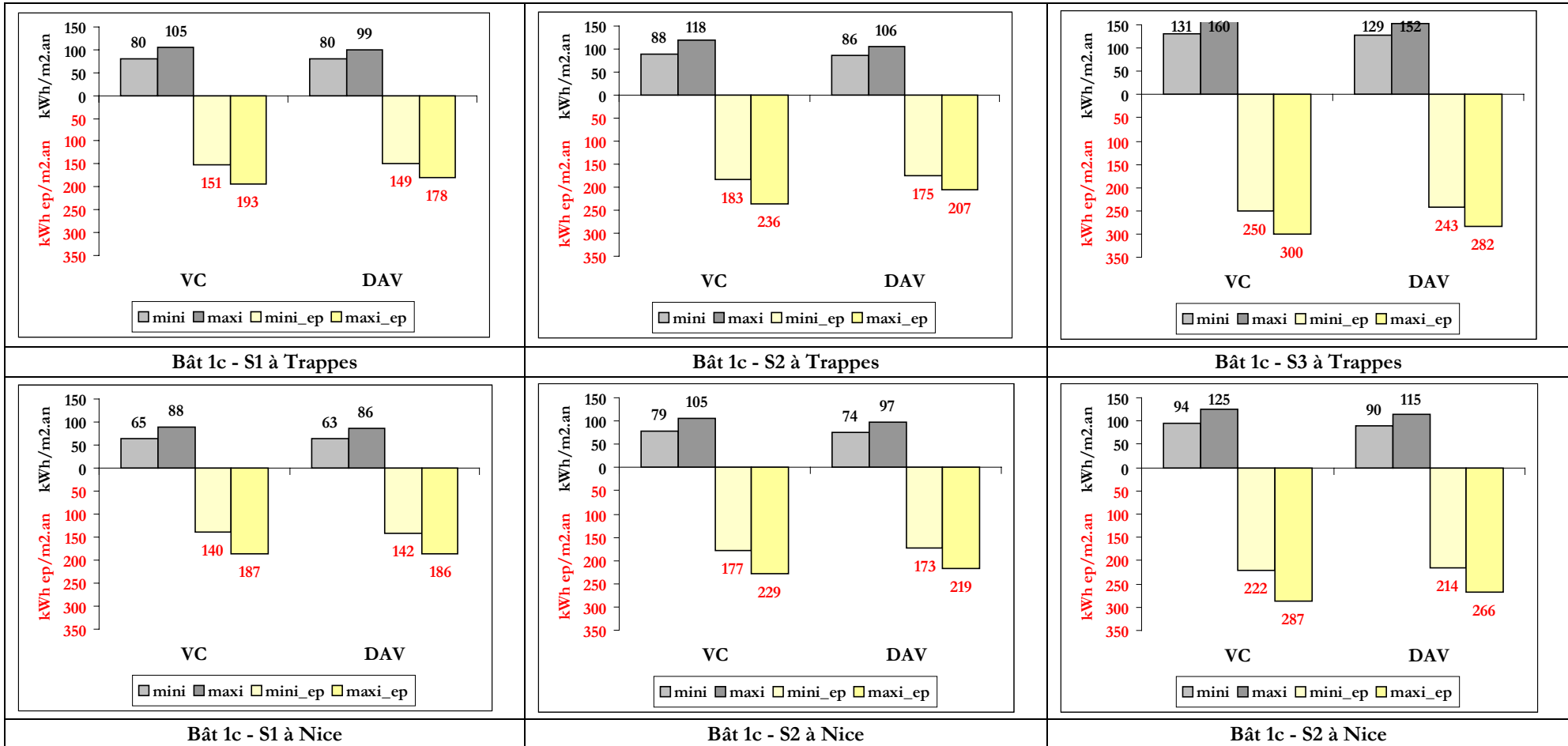


Figure 23 : Valeurs minimales et maximales des consommations dans le bâtiment 1c pour S1, S2, S3 à Trappes et à Nice

## 8.4. Bâtiment 2

### 8.4.1. Système à ventilo convecteurs (VC)

	S1			S2			S3		
rés									
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 67 : Synthèse générale Bâtiment 2 pour Trappes

	S1			S2			S3		
rés									
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 68 : Synthèse générale Bâtiment 2 pour Nice

La solution la moins exigeante sur le bâtiment (S3) permet d'atteindre l'objectif 100 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice avec 3 variables.

La consommation minimale est de 73 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et de 64 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice.

Les 32 combinaisons testées sont réparties sur les intervalles de consommation dans le Tableau :

	kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes	9	16	7	0
	Nice	28	4	0	0
S2	Trappes	0	0	7	25
	Nice	0	10	18	4
S3	Trappes	0	0	0	32
	Nice	0	0	5	27

Tableau 69 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats  
Bâtiment 2 - VC

### 8.4.2. Système à débit de réfrigérant variable (DRV)

	S1			S2			S3		
EER									
aux									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 70 : Synthèse générale Bâtiment 2 pour Trappes

	S1			S2			S3		
EER aux									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 71 : Synthèse générale Bâtiment 2 pour Nice

La consommation minimale est de 58 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et de 55 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice.

### 8.4.3. Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 2 S1, S2, S3 à Trappes et à Nice

Les histogrammes suivants comparent en énergie payante et primaire les différents systèmes envisagés dans le bât 2. On remarquera que les plus faibles consommations sont obtenues avec le système à débit de réfrigérant variable : 58 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et 55 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice. Cela tient au fait que l'EER nominal du système DRV est de 4,2 et le COP en chauffage de 4,5. Du fait de la vitesse variable, ces performances s'améliorent encore sensiblement à charge partielle.

La différence avec le système ventilo convecteurs atteint 25 %. Le classement n'est pas modifié mais les différences très faibles en énergie primaire (environ 5 %). Ceci provient du remplacement d'une chaudière à gaz par un groupe réversible à haut rendement.

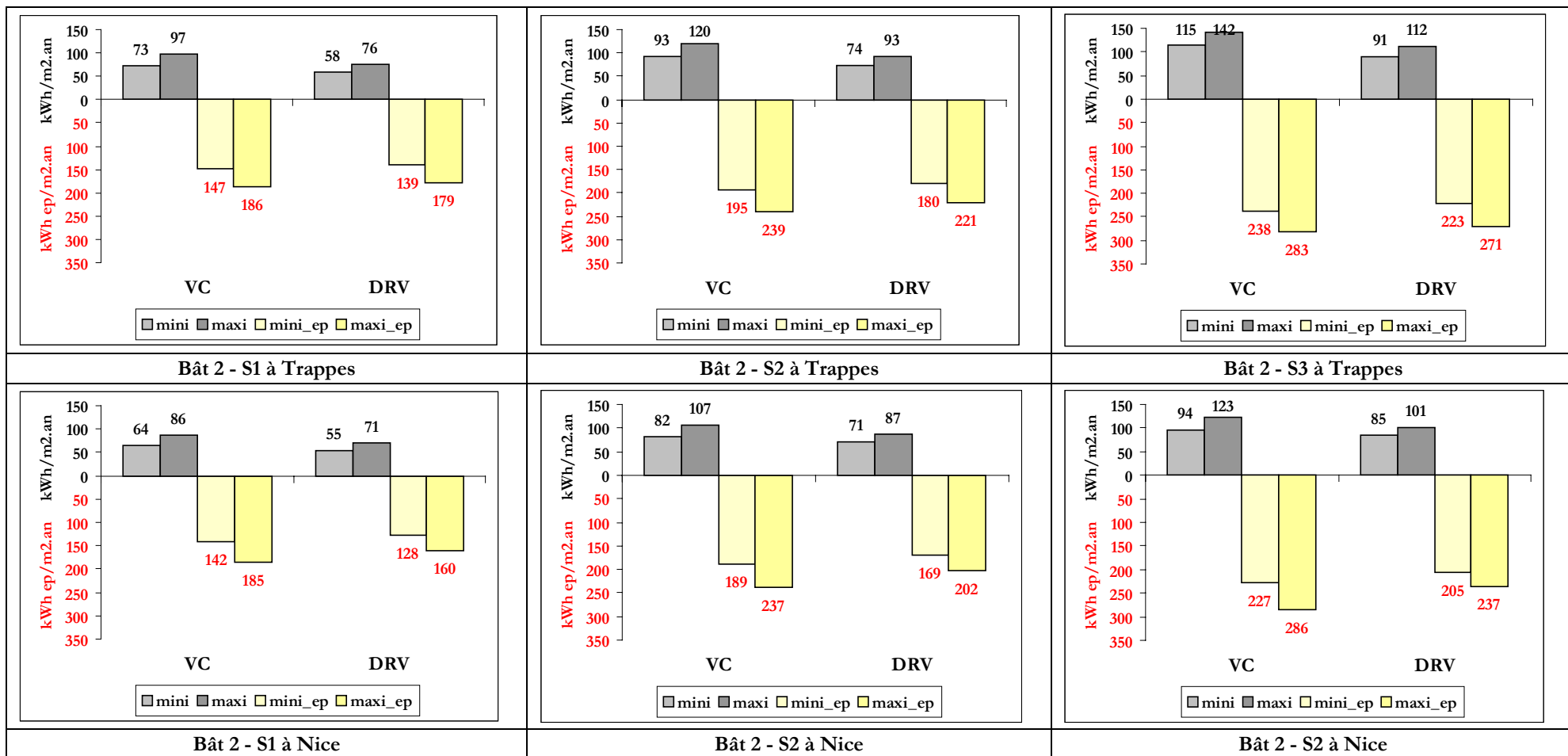


Figure 24 : Valeurs minimales et maximales des consommations dans le bâtiment 2 pour S1, S2, S3 à Trappes et à Nice

## 8.5. Bâtiment 3

### 8.5.1. Système à ventilo convecteurs (VC)

	S1			S2			S3		
rés									
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 72 : Synthèse générale Bâtiment 2 pour Trappes

	S1			S2			S3		
rés									
EER									
aux									
chau									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 73 : Synthèse générale Bâtiment 3 pour Nice

La solution la moins exigeante sur le bâtiment (S3) permet d'atteindre l'objectif 100 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice mais en optimisant les 4 variables du plan.

La consommation minimale est de 79 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et de 64 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice.

Les 32 combinaisons obtenues avec S1, S2, S3 sont réparties sur les intervalles de consommation comme suite :

	kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes	2	15	13	2
	Nice	28	4	0	0
S2	Trappes	0	0	6	26
	Nice	0	11	16	5
S3	Trappes	0	0	0	32
	Nice	0	0	3	29

Tableau 74 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats  
Bâtiment 3 \_ VC

### 8.5.2. Système à débit de réfrigérant variable (DRV)

	S1			S2			S3		
EER									
aux									
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 75 : Synthèse générale Bâtiment 3 pour Trappes et pour Nice

La consommation minimale est de 63 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et à Nice.

### 8.5.3. Système split

	S1			S2			S3		
EER aux							X		
	<60	60-80	80-100	<60	60-80	80-100	<60	60-80	80-100

Tableau 76 : Synthèse générale Bâtiment 3 pour Trappes

	S1			S2			S3		
EER aux							X		
	<60	60-80	80-100	<60	60-80	80-100	<60	60-80	80-100

Tableau 77 : Synthèse générale Bâtiment 3 pour Nice

La consommation minimale est de 44 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et de 43 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice.

### 8.5.4. Système à dessiccation (DEC)

	S1			S2			S3		
rés EER aux chau				X			X	X	X
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 78 : Synthèse générale Bâtiment 3 pour Trappes

	S1			S2			S3		
rés EER aux chau							X	X	
	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100	<80	80-90	90-100

Tableau 79 : Synthèse générale Bâtiment 3 pour Nice

La consommation minimale est de 70 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et de 64 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice.

La consommation d'eau annuelle est de l'ordre de 1,5 à 2 m<sup>3</sup>.eau/m<sup>2</sup> à Trappes et de 5 à 6 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>

Les 16 combinaisons obtenues avec S1, S2, S3 sont réparties sur les intervalles de consommation comme :

	kWh/m <sup>2</sup> .an	< 80	80-90	90-100	>100
S1	Trappes	6	7	3	0
	Nice	11	5	0	0
S2	Trappes	0	4	7	5
	Nice	1	3	7	5
S3	Trappes	0	0	0	16
	Nice	0	0	2	14

Tableau 80 : Répartition des combinaisons sur les intervalles et les climats  
Bâtiment 3 \_ DEC

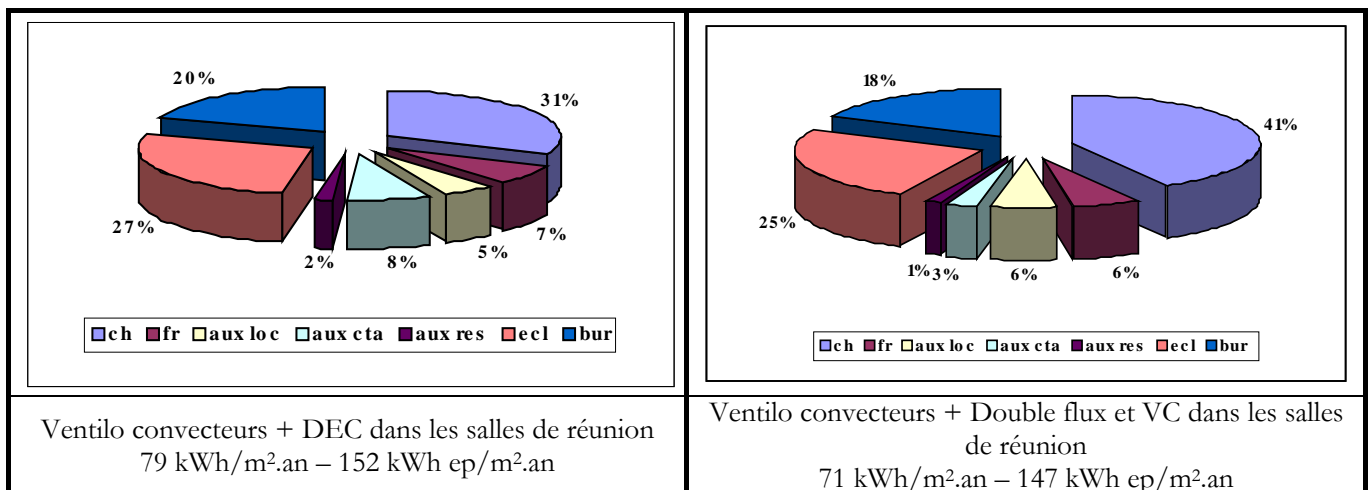
### 8.5.5. Comparaison entre systèmes pour le bâtiment 3 S1, S2, S3 à Trappes et à Nice

On remarquera que les plus faibles consommations sont obtenues avec le système split ; ce sont même les valeurs les plus faibles pour l'ensemble des bâtiments et systèmes : 44 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et 43 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice. Cela tient au fait que l'EER nominal du système split.

Il donne des résultats meilleurs que le système DRV du fait que la puissance du ventilateur est prise en compte dans la puissance appelée et est arrêtée en inoccupation est de 4,2 et le COP en chauffage de 4,5.

Le système DEC est réservé aux salles de réunion. De ce fait les consommations qui lui sont associées concernent majoritairement le système ventilo convecteurs ; l'économie introduite par le DEC se voit par différence avec le système VC pur : 11 % d'économie pour 18 % de surface traitée par le DEC.

Le classement est peu en énergie primaire (le système ventilo convecteurs passe devant le DRV qui est un système tout électrique) ; ce n'est pas le cas pour le split system qui a rappelons le des performances excellentes.





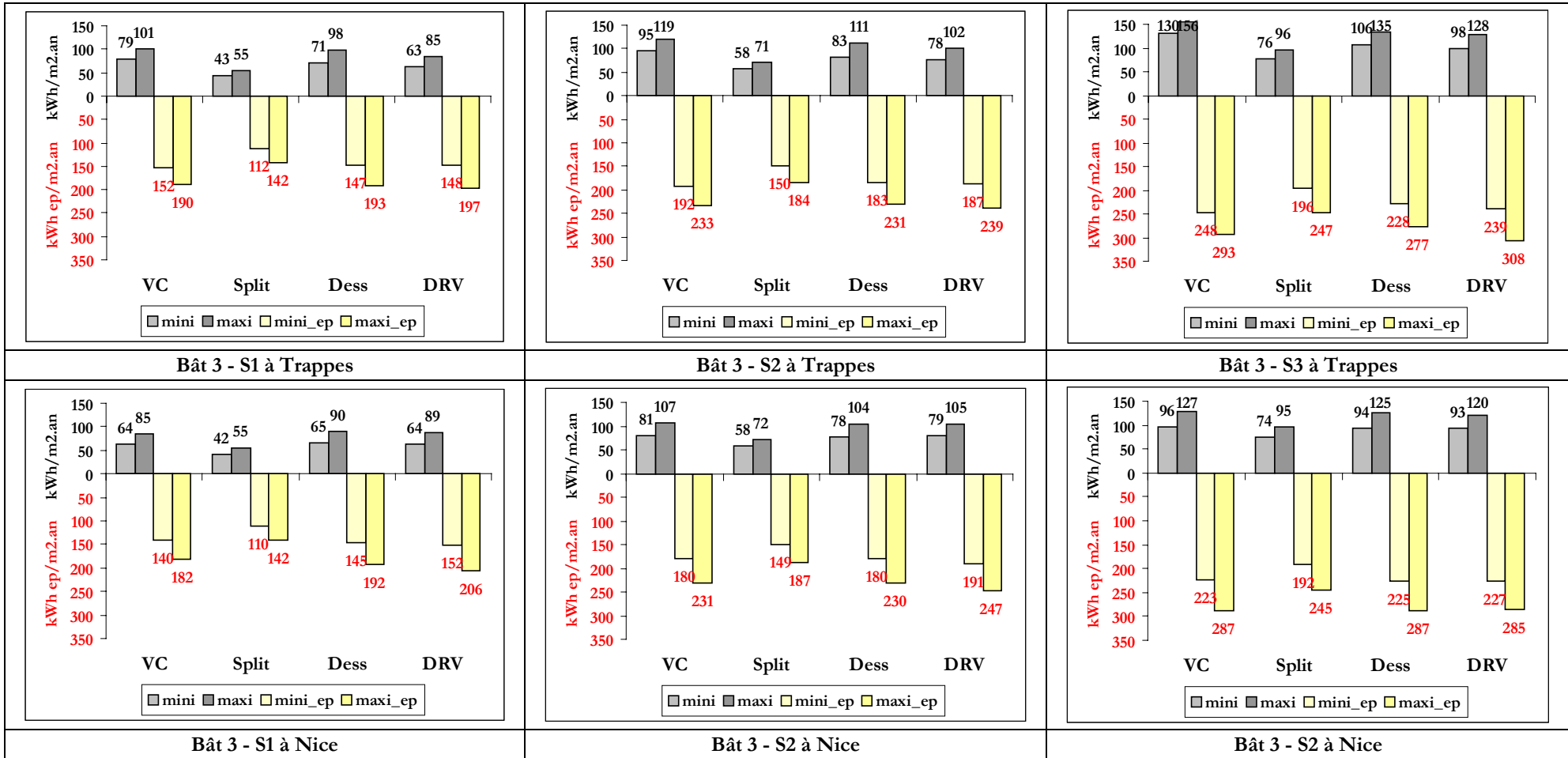


Figure 25 : Valeurs minimales et maximales des consommations dans le bâtiment 3 pour S1, S2, S3 à Trappes et à Nice

## IX. RESULTATS SYSTEME PAR SYSTEME POUR LES SOLUTIONS MEILLEURS CHOIX CONSTRUCTIFS (BESOINS MINIMAUX – S1 MINI)

### 9.1. Système ventilo-convecteurs pour la solution S1

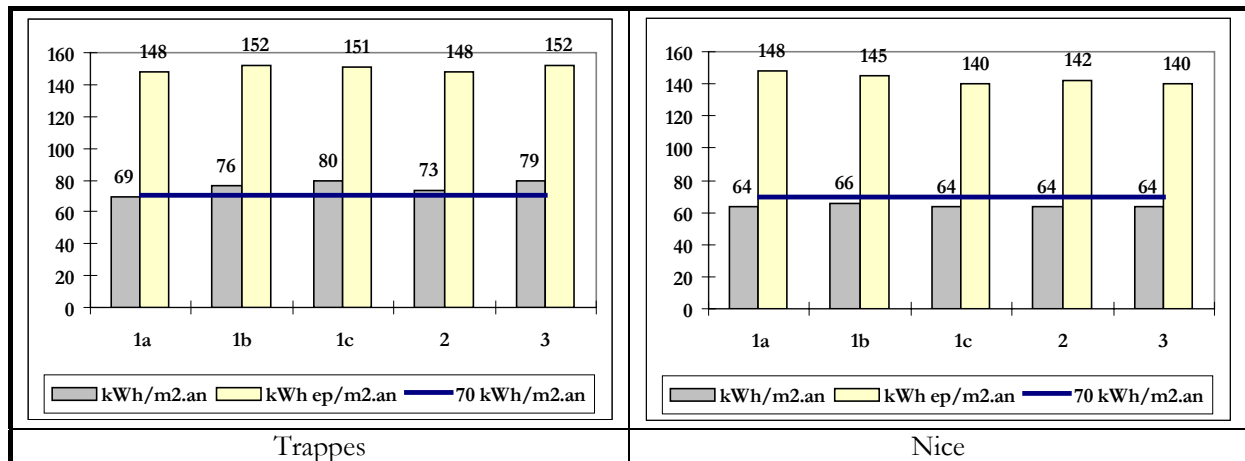


Figure 26 : Consommations minimales pour toutes les types des bâtiments (solution S1) pour Trappes et Nice

#### Trappes :

Les résultats démontrent qu'un objectif de **80 kWh/m<sup>2</sup>.an** est envisageable. Avec la solution S1, on compare les cinq types des bâtiments par rapport au degré d'exigence qu'on doit avoir pour atteindre objectif < 80 kWh/m<sup>2</sup>.an, on trouve en ordre croissant d'exigence :

- type 1a (exigence sur 2 variables au minimum), 16 combinaisons possibles
- type 2 (exigence sur 3 variables au minimum), 9 combinaisons possibles
- type 1b (exigence sur 4 variables au minimum), 2 combinaisons possibles
- type 3 (exigence sur 4 variables au minimum), 2 combinaisons possibles
- type 1c (objectif < 80 est impossible)

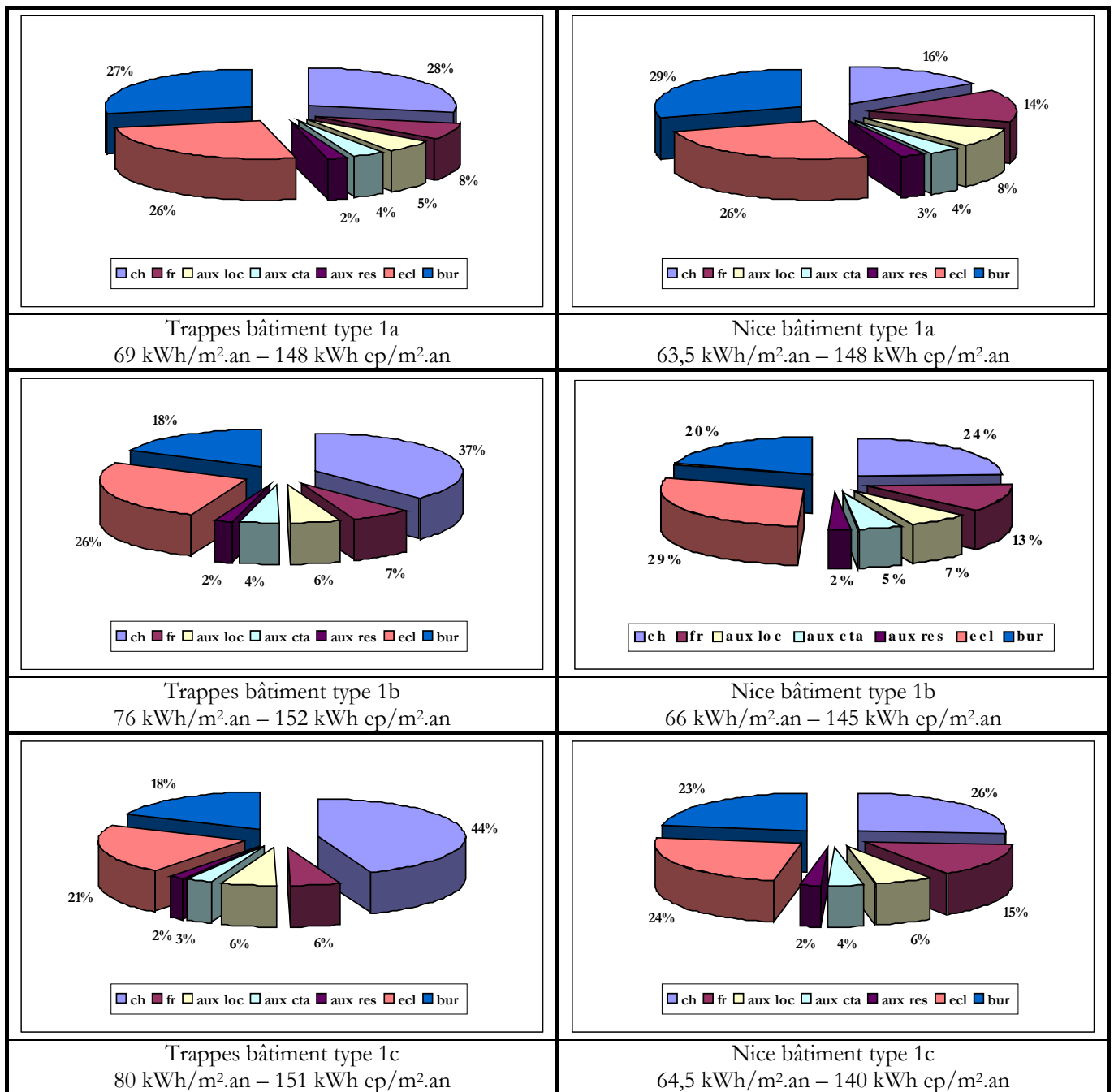
#### Nice :

Avec solution S1, on compare les cinq types des bâtiments par rapport au degré d'exigence qu'on doit avoir pour atteindre objectif < 80 kWh/m<sup>2</sup>.an, on trouve en ordre croissant d'exigence :

- type 3 (exigence sur 1 variable au minimum), 28 combinaisons possibles
- type 1c (exigence sur 1 variable au minimum), 28 combinaisons possibles
- type 1a (exigence sur 1 variable au minimum), 27 combinaisons possibles
- type 2 (exigence sur 1 variable au minimum), 25 combinaisons possibles
- type 1b (exigence sur 2 variables au minimum), 21 combinaisons possibles

**Conclusion :** Pour objectif <80, à Trappes, les bâtiments 1c consomment le plus et nécessite plus d'exigence, ensuite les bâtiments 3, 1b et 2, et enfin les bâtiments 1a. A Nice, même classement sauf pour les types 3 et 1c qui consomment moins qu'à Trappes. L'ordre n'est pas le même si on raisonne en énergie primaire.

Ces résultats peuvent être expliqués par la différence des ratios des surfaces des parois déperditives, surfaces d'usage et le pourcentage de vitrage entre les cinq types des bâtiments.



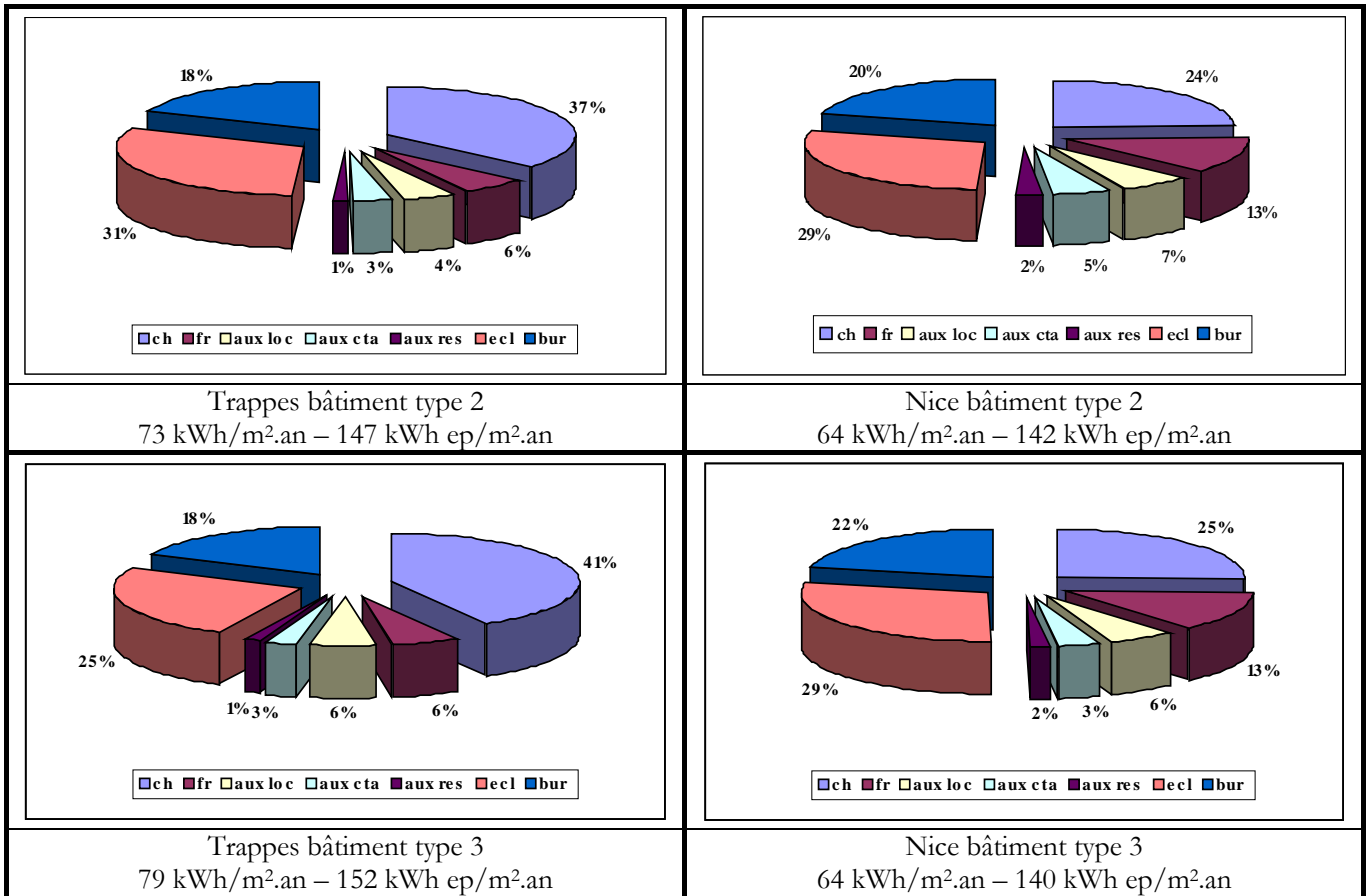
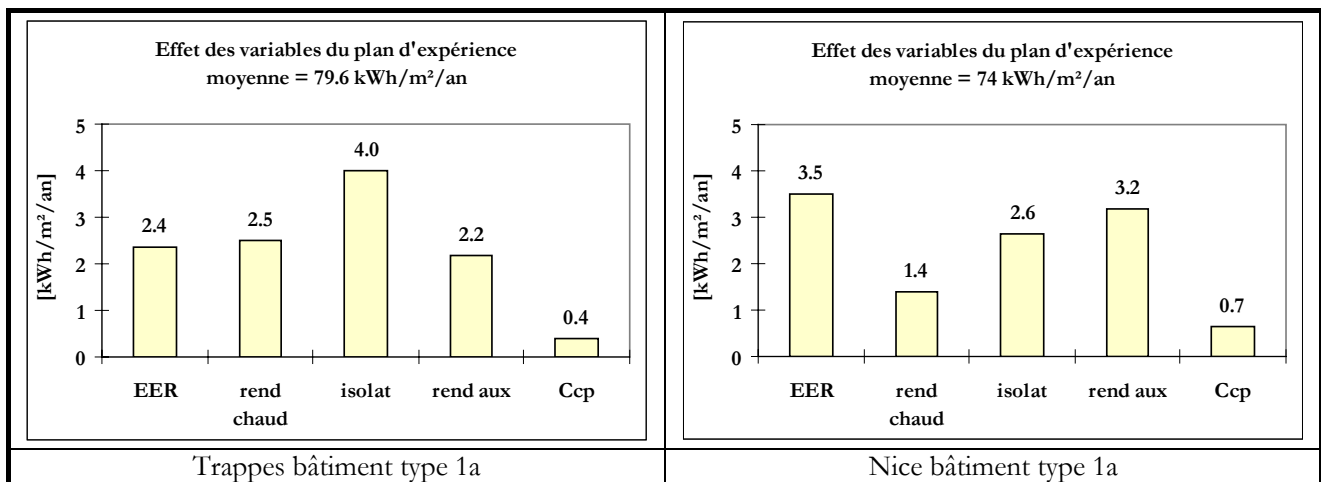
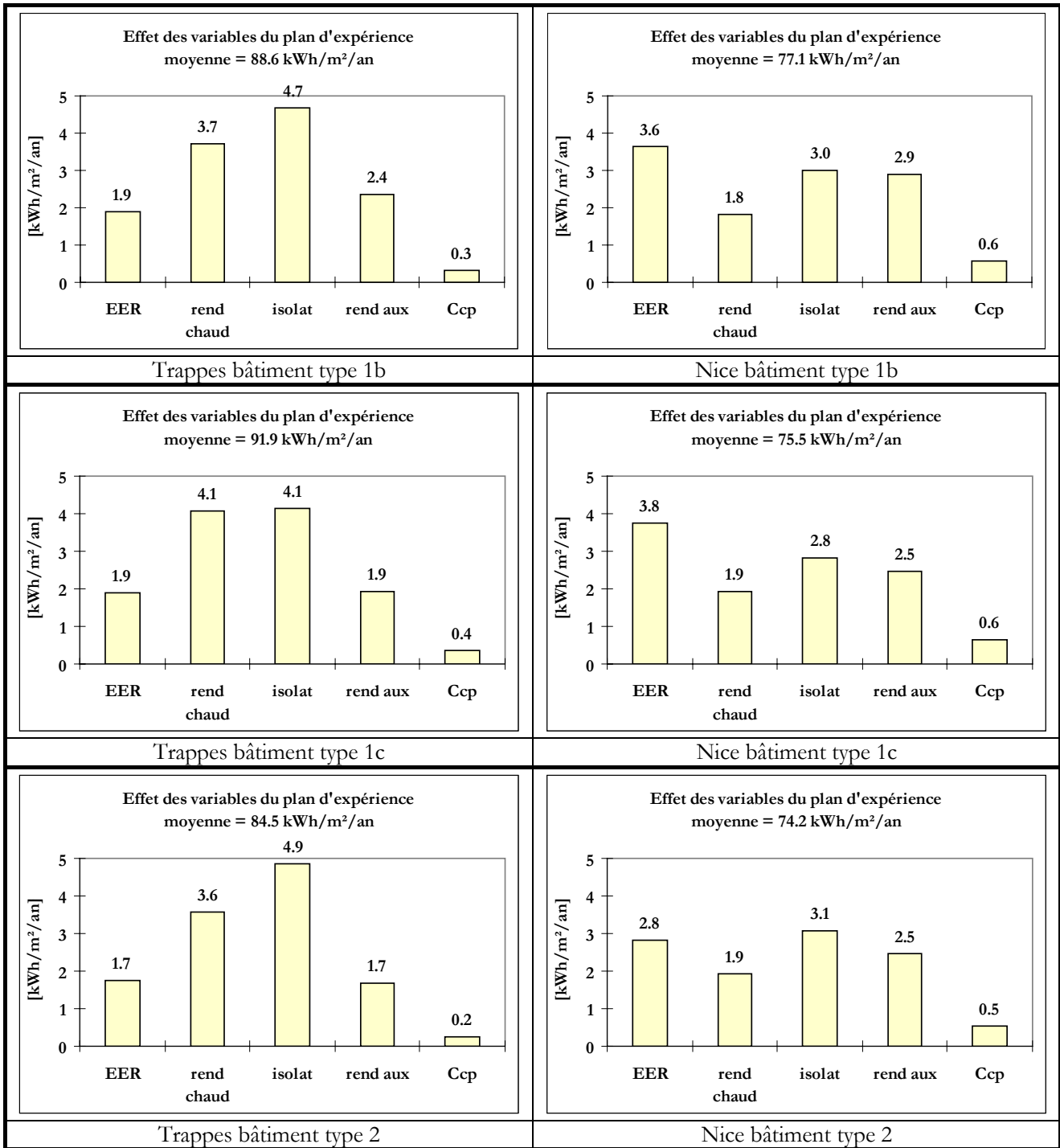


Figure 27 : Répartition des consommations annuelles du système ventilo-convecteurs solution S1





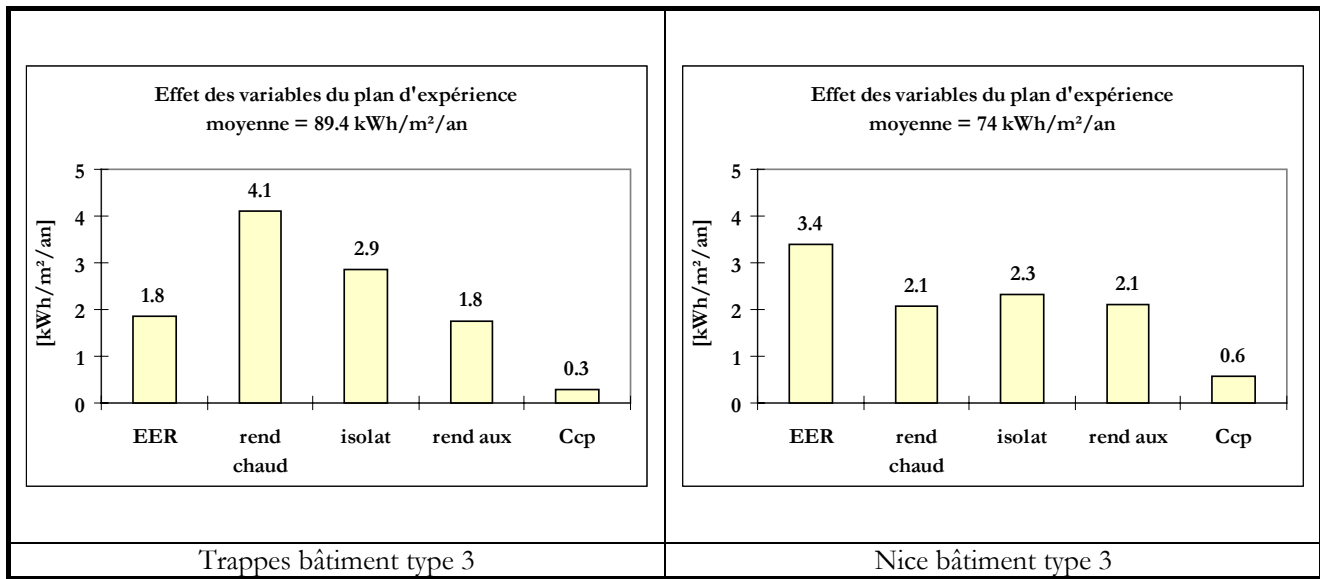


Figure 28 : Effet des variables du plan d'expérience du système VC solution S1

## 9.2. Système débit d'air variable pour la solution S1

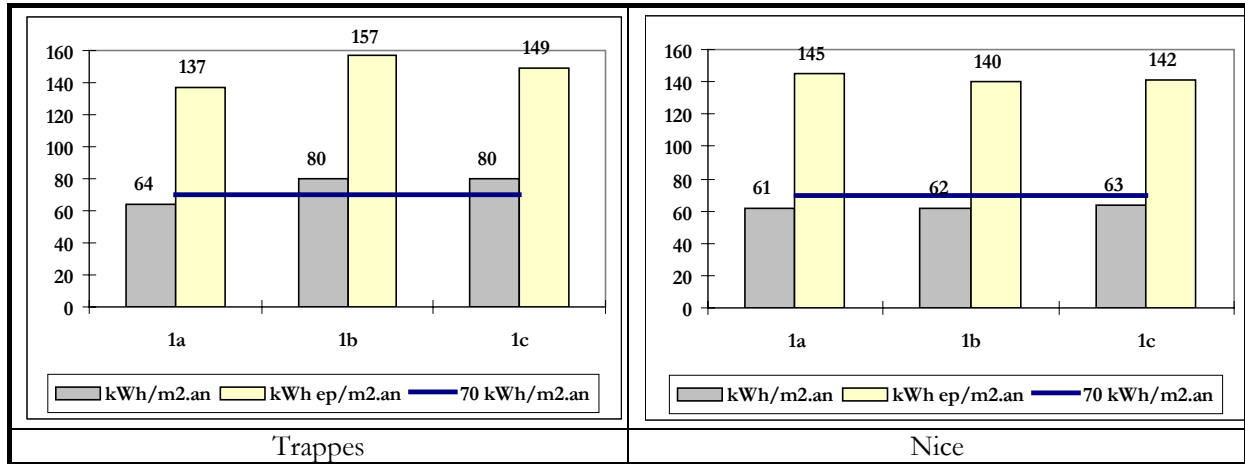
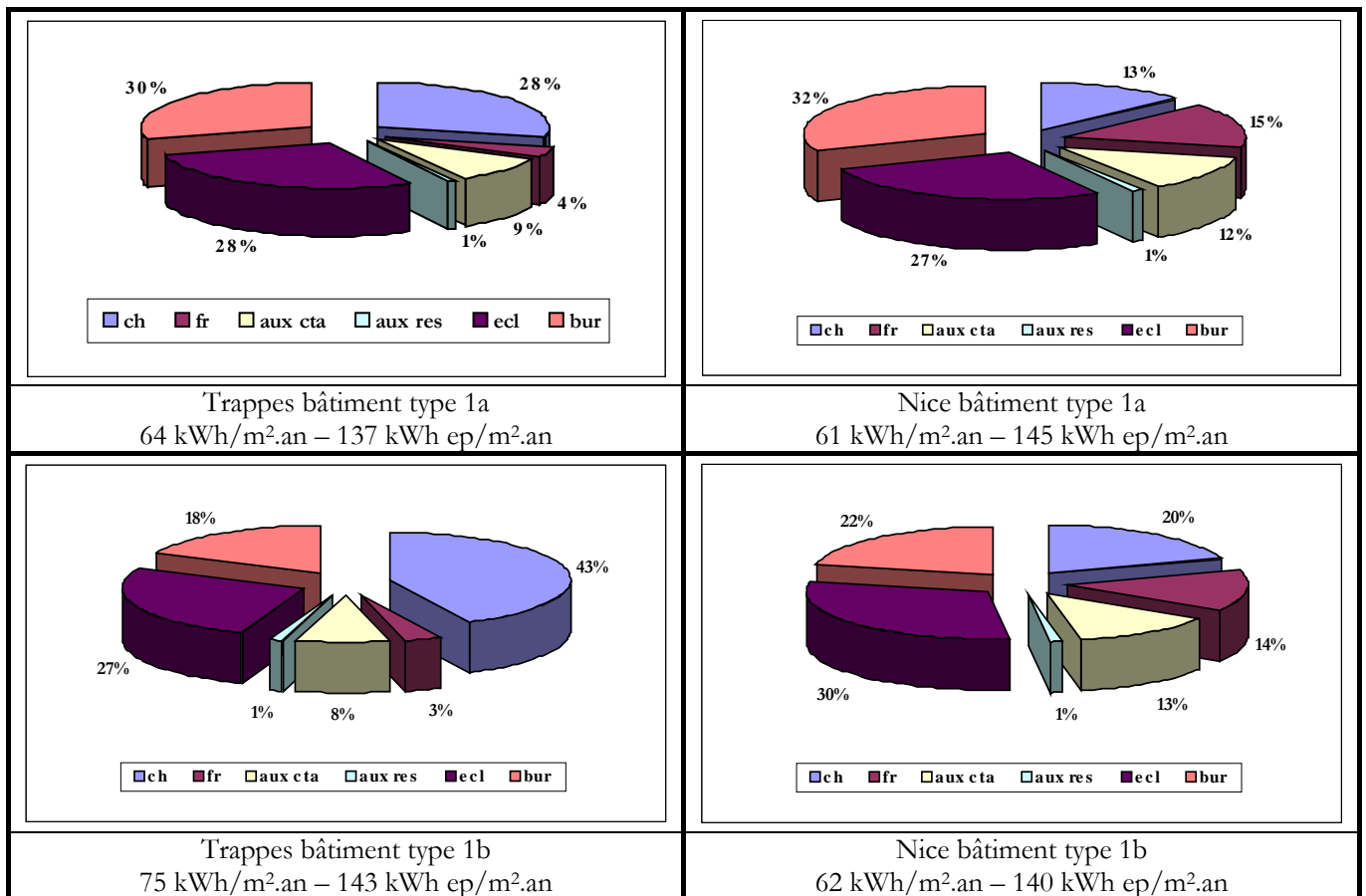


Figure 29 : Consommations minimales pour tous les types des bâtiments (solution S1) à Trappes et à Nice



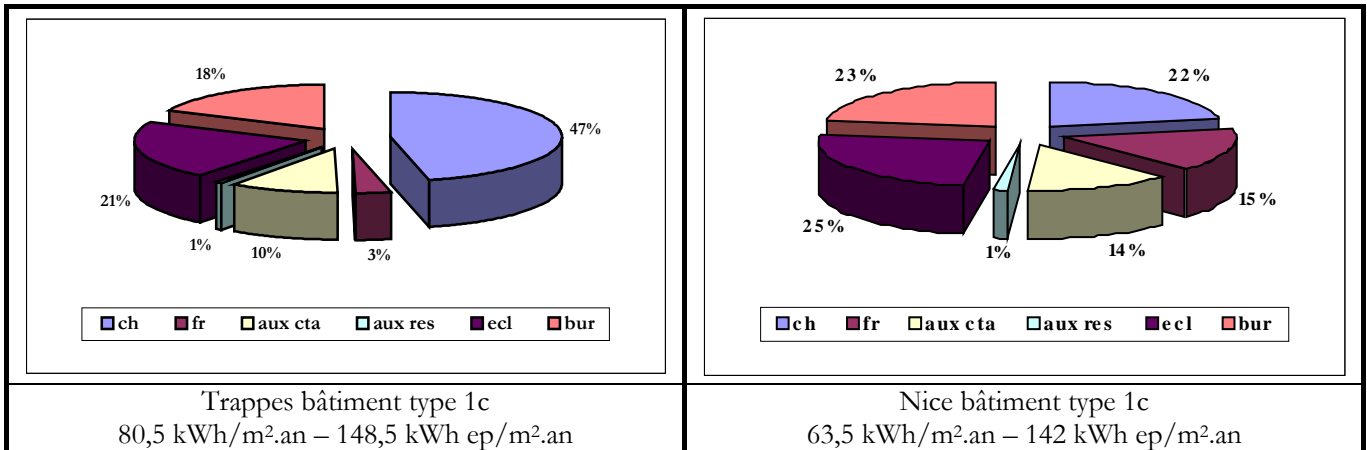
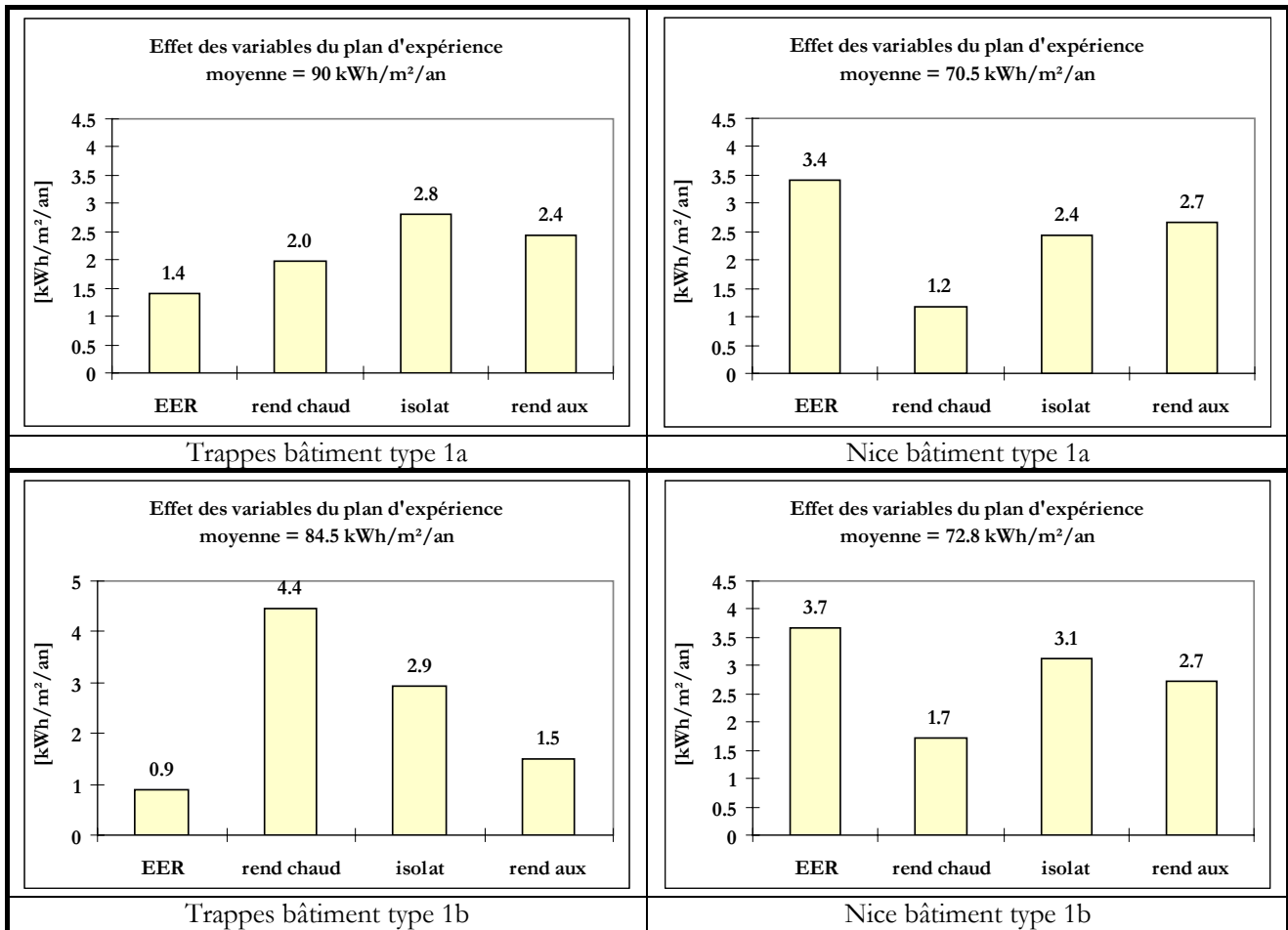


Figure 30 : Répartition des consommations annuelles du système DAV\_Solution S1





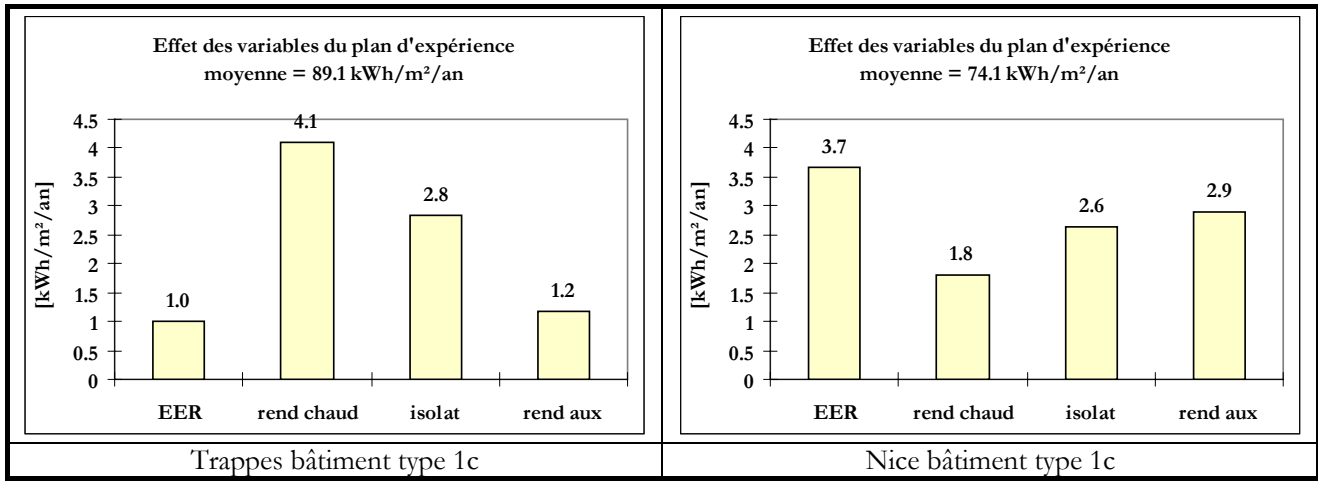


Figure 31 : Effet des variables du plan d'expérience du système DAV \_ Solution S1

### 9.3. Système débit d'air constant pour la solution S1

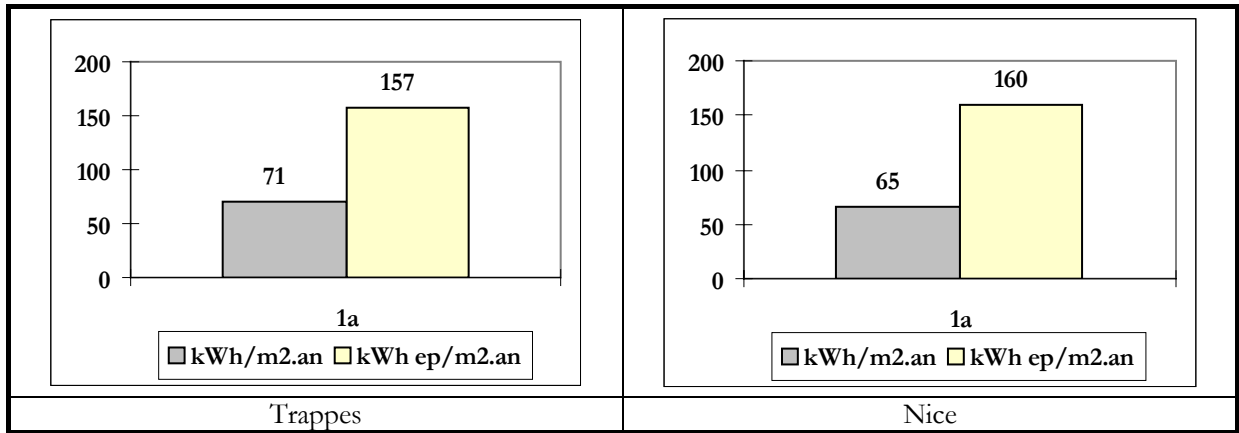


Figure 32 : Consommations minimales pour le bâtiment « 1a » à Trappes et à Nice \_ Solution S1

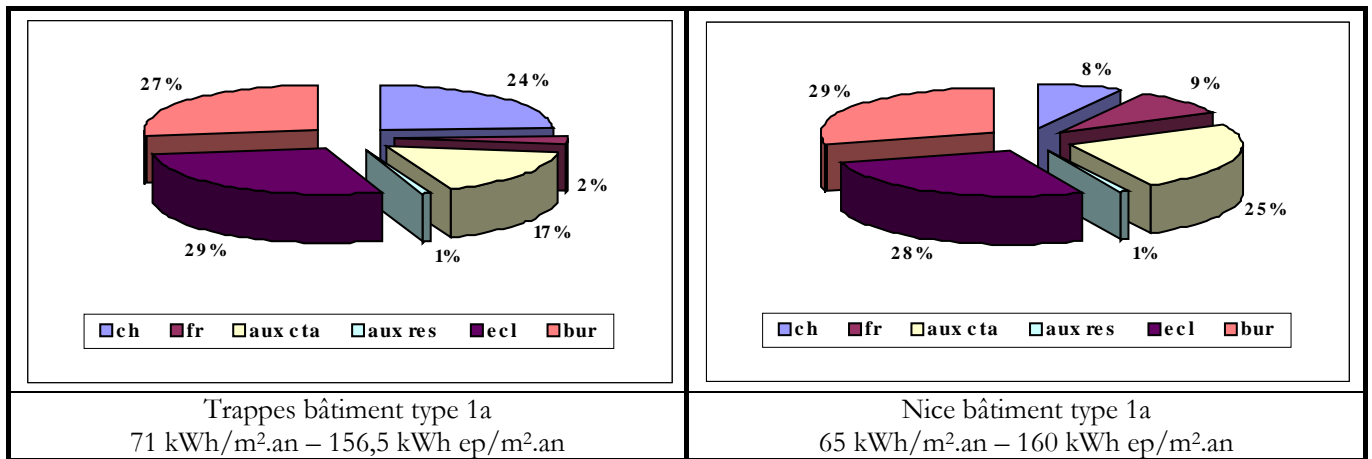


Figure 33 : Répartition des consommations annuelles du système DAC \_ Solution S1

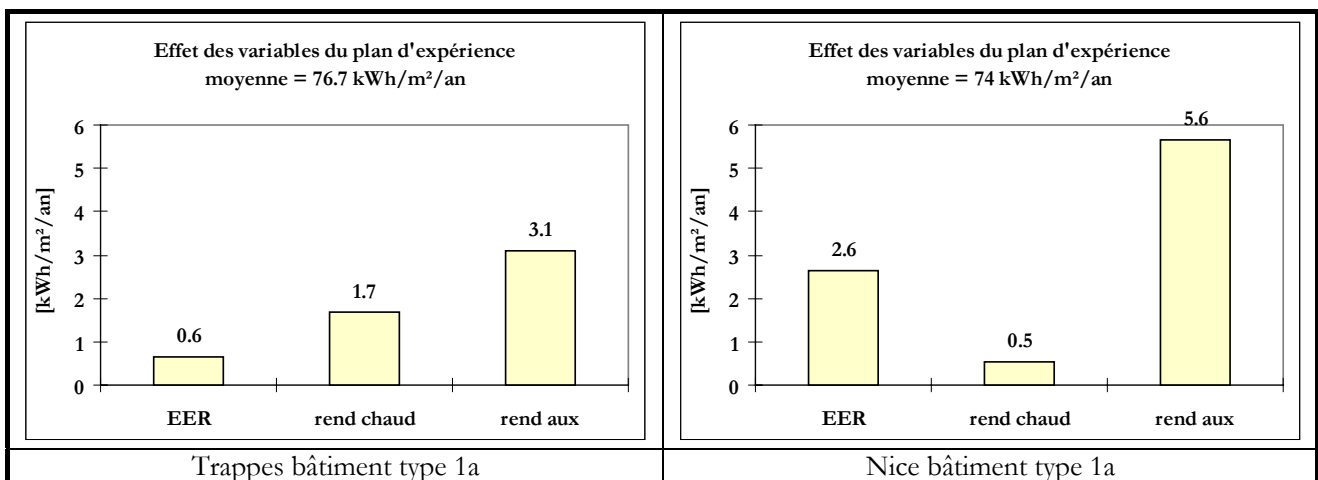


Figure 34 : Effet des variables du plan d'expérience du système DAC \_ Solution S1

#### 9.4. Système à dessiccation pour la solution S1

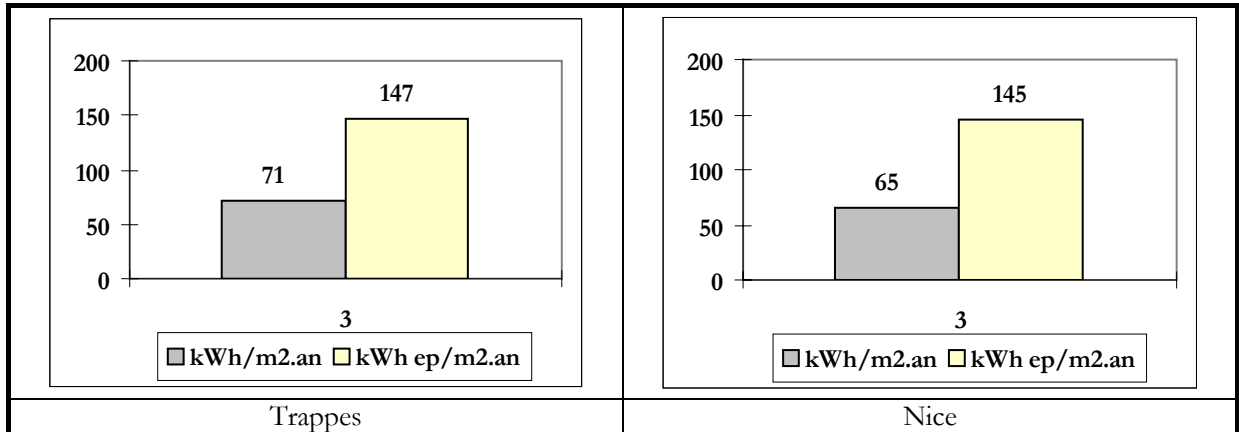


Figure 35 : Consommations minimales pour le bâtiment « 3 » à Trappes et à Nice \_ Solution S1

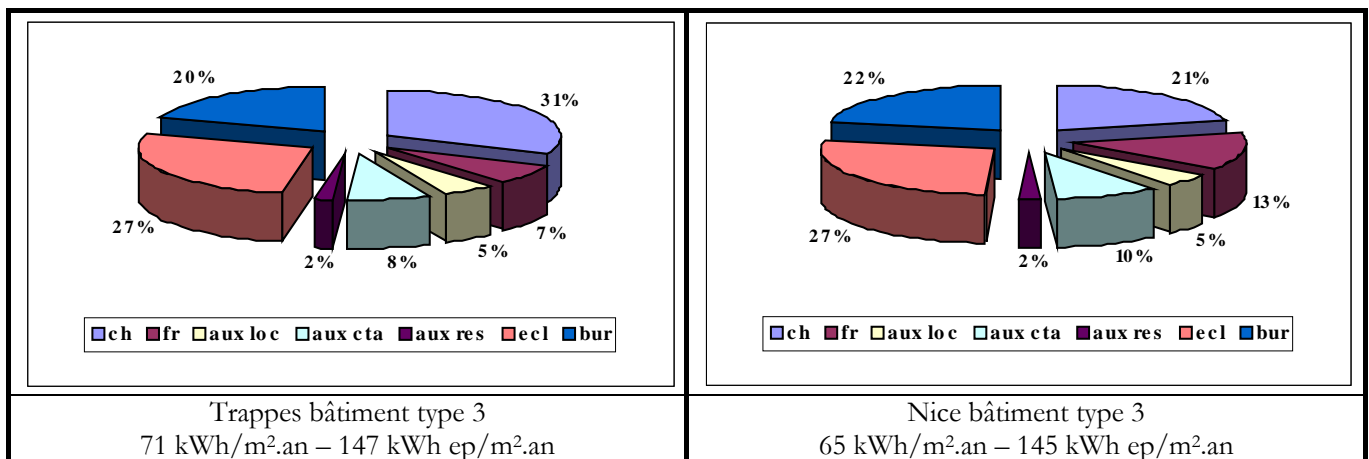


Figure 36 : Répartition des consommations annuelles du système DEC \_ Solution S1

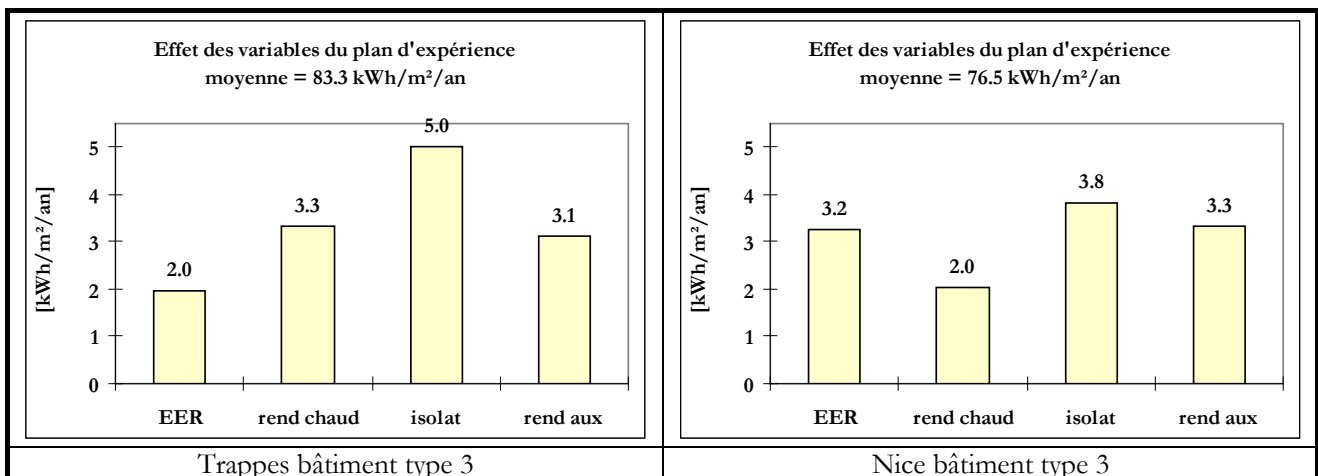


Figure 37 : Effet des variables du plan d'expérience du système DEC \_ Solution S1

### 9.5. Système Split pour la solution S1

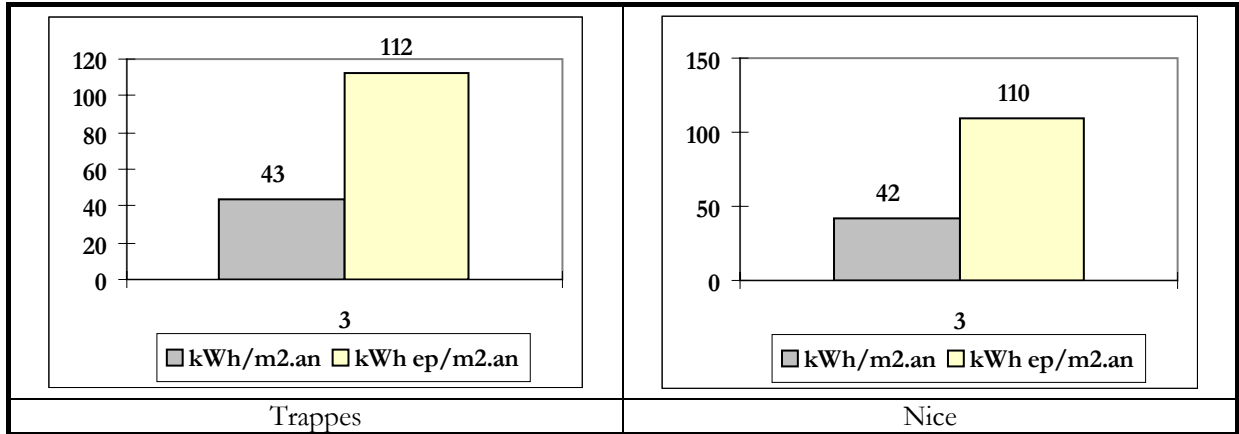


Figure 38 : Consommations minimales pour le bâtiment « 3 » (Solution S1) à Trappes et à Nice

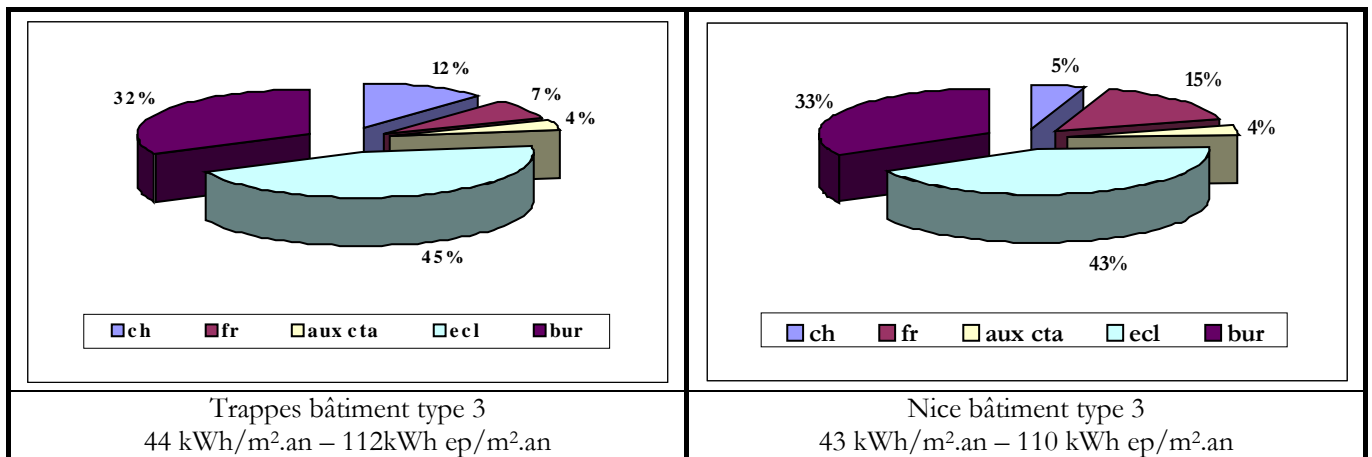


Figure 39 : Répartition des consommations annuelles du système Split \_ solution S1

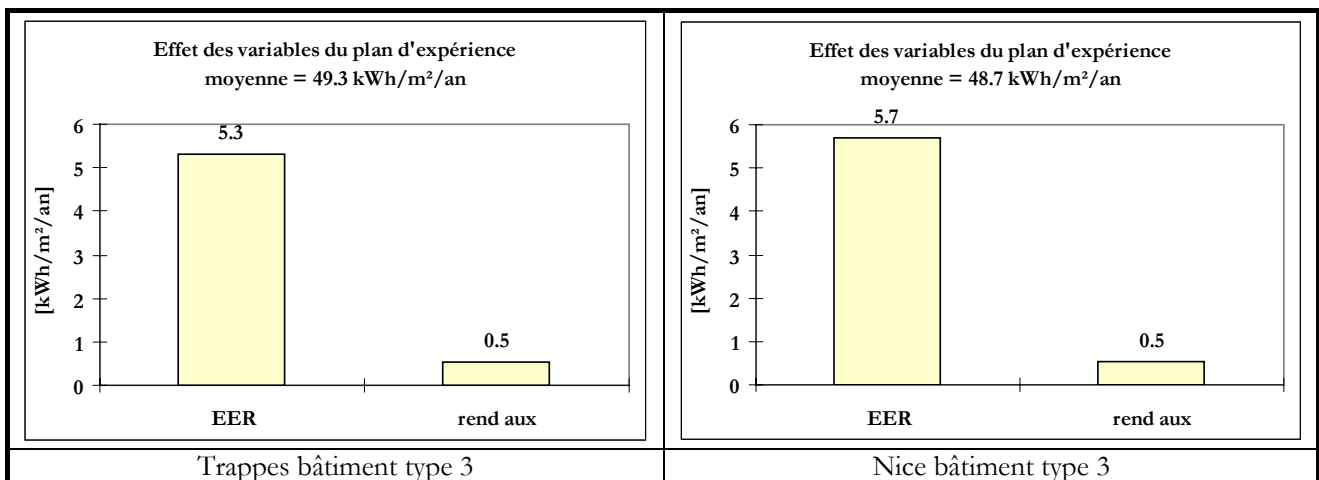


Figure 40 : Effet des variables du plan d'expérience du système Split \_ Solution S1

## 9.6. Système DRV pour la solution S1

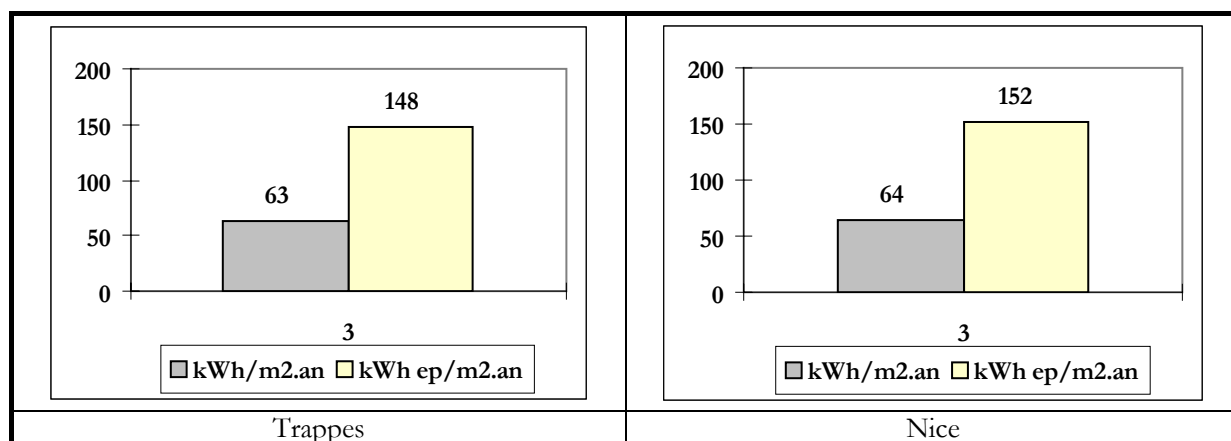


Figure 41 : Consommations minimales pour le bâtiment « 3 » à Trappes et à Nice \_ Solution S1

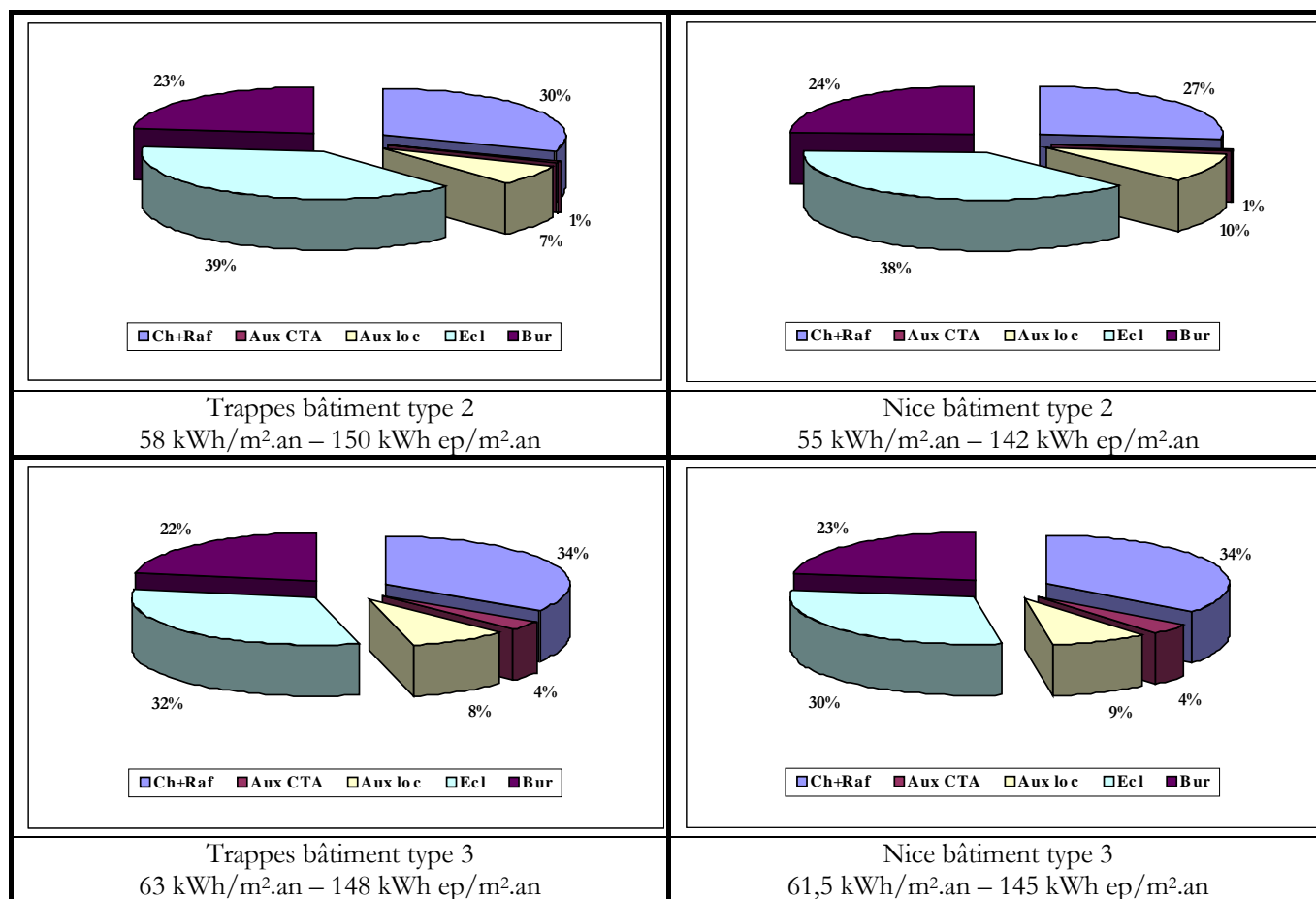


Figure 42 : Répartition des consommations annuelles du système DRV \_ Solution S1

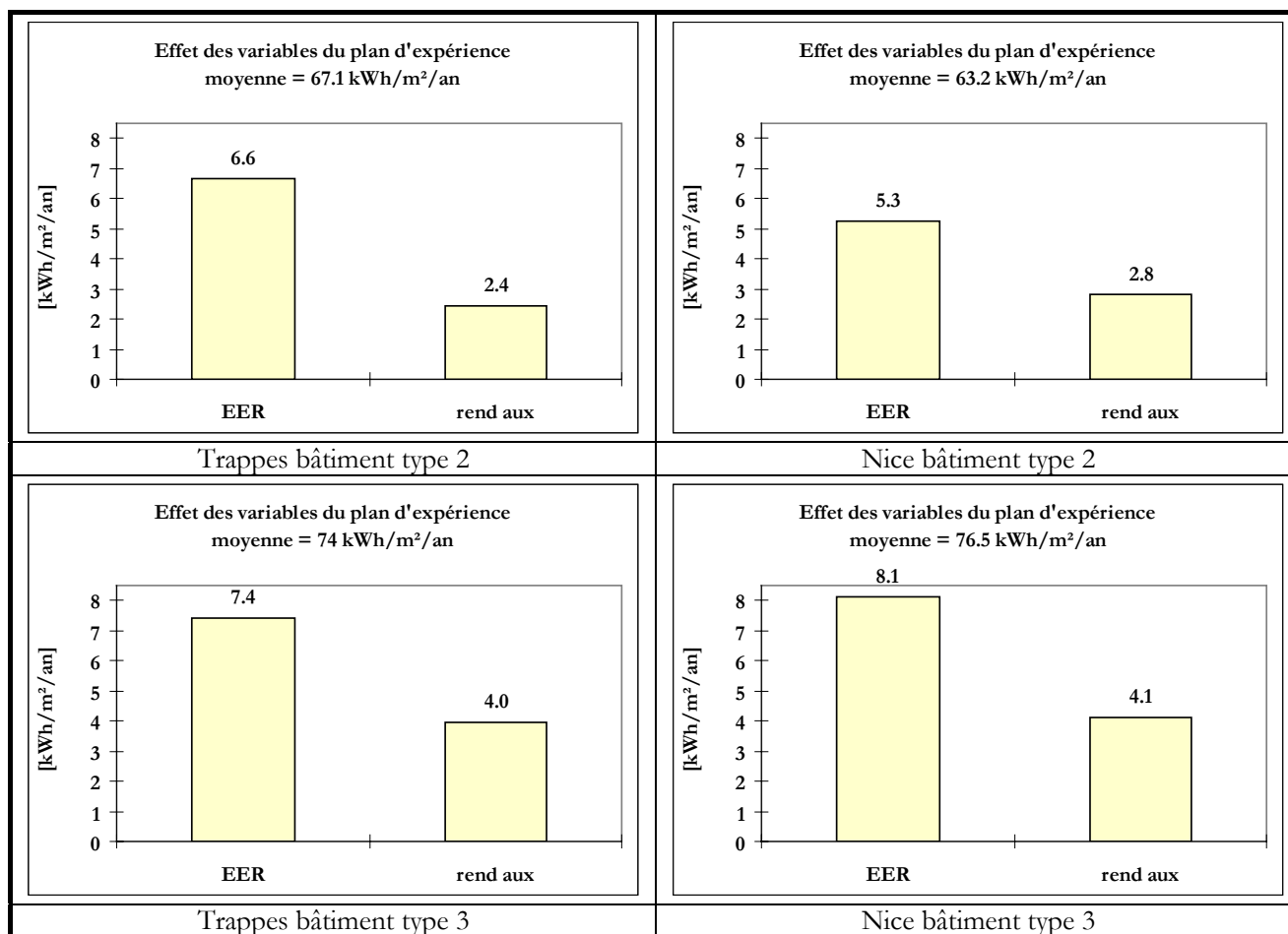


Figure 43 : Effet des variables du plan d'expérience du système \_ Solution S1

### 9.7. Système pompe à chaleur

Une simulation avec un groupe de très haute performance (régime 40/45°C, COP=4.8, EER=3.8) sur le bâtiment type 3 optimisé, montre qu'on peut atteindre une consommation de 53 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes et à Nice (137 kWh/m<sup>2</sup>.an d'énergie primaire). Figure 44 montre la répartition des consommations.

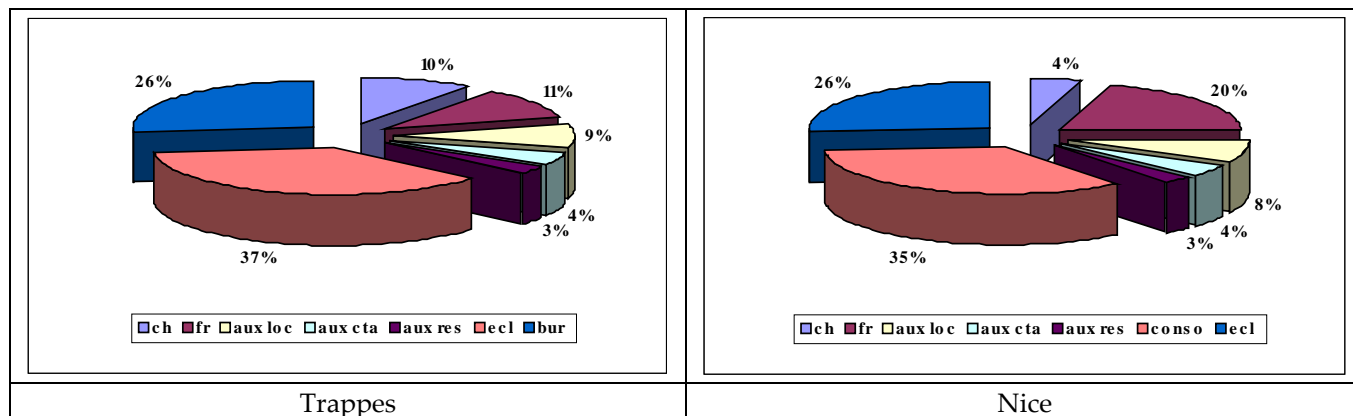


Figure 44 : Répartitions des consommations d'un système PAC \_ Solution S1\_Bâtiment 3

### 9.8. Système de groupe absorption à chauffage au gaz

Une simulation avec un groupe de très haute performance (EER=1.2, rendement du brûleur 0.85) est établie sur le bâtiment type 1a \_ solution S1 en considérant un étage (1250 m<sup>2</sup>) uniquement au lieu de 12, avec une machine dans les gammes existantes dans le marché. L'étage était traité comme une seule zone (UTH). Ce choix est justifié par la nature du modèle de système à absorption modélisé sous Consoclim. Ce système fonctionne avec une distribution deux tubes avec « change over » manuel de mode de fonctionnement (chaud ou froid), aucun système complémentaire n'est prévu pour assurer les pics de puissance dans les périodes de mi-saison. En prenant une seule zone, on diminue le risque de dépassement des températures comme c'est le cas dans différentes zones ou on peut avoir des demandes simultanées de chaud et de froid.

La simulation montre qu'on peut atteindre une consommation totale de 102 kWh/m<sup>2</sup>.an à Trappes dont 17.34 kWh/m<sup>2</sup>.an en froid et 35.7 kWh/m<sup>2</sup>.an en chaud, et 102 kWh/m<sup>2</sup>.an à Nice dont 39.78 kWh/m<sup>2</sup>.an en froid et 17.34 kWh/m<sup>2</sup>.an en chaud. (voir Figure 46)

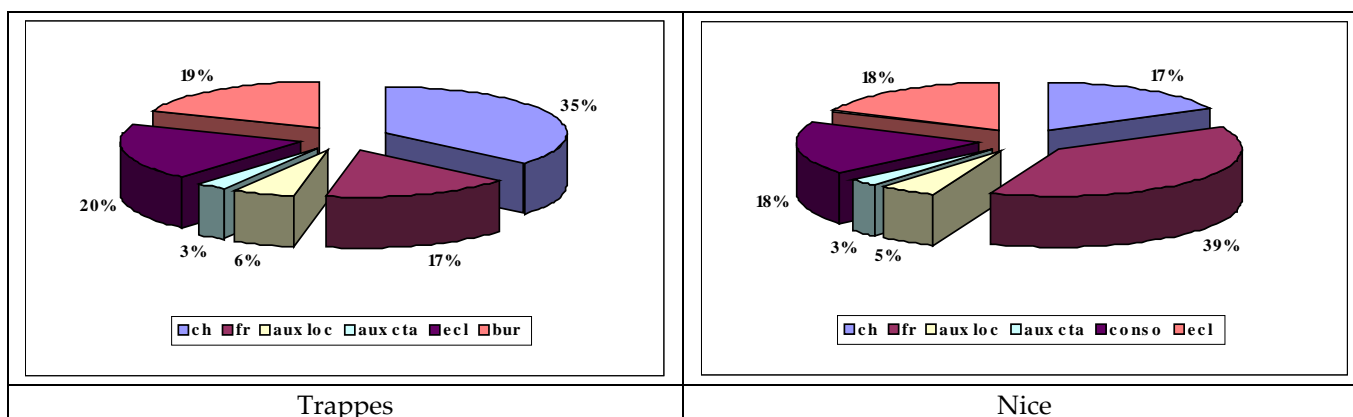
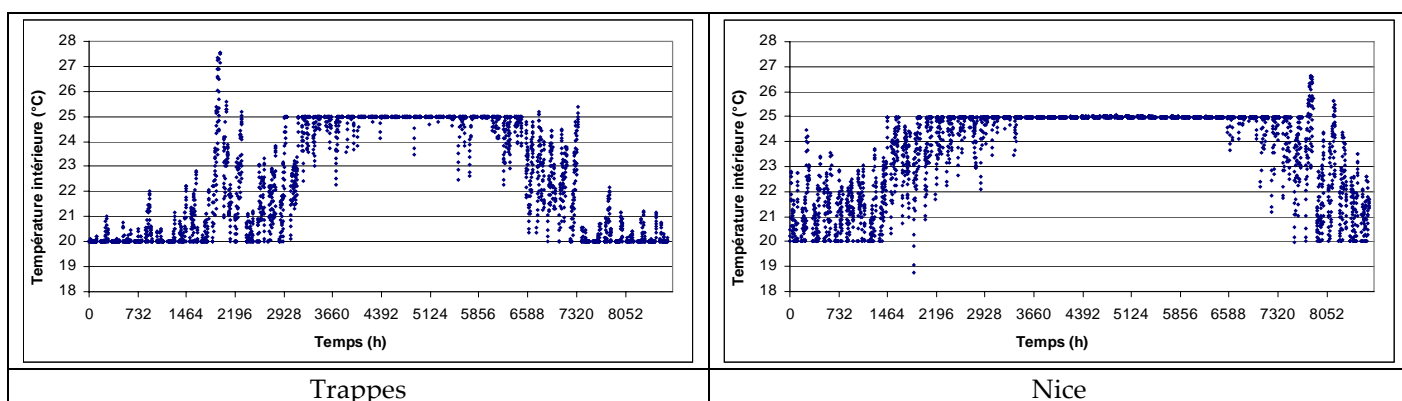


Figure 45 : Répartitions des consommations d'un système à absorption\_ Solution S1\_Bâtiment 1a (1 seul étage)

En faisant la conversion en énergie primaire, on obtient 175 kWh/m<sup>2</sup>.an. On remarque après ces dernières valeurs que la solution « système à absorption » est comparable avec les autres systèmes en termes d'énergie primaire. Cela s'explique parce que le système utilise essentiellement le gaz comme énergie de source.

La somme des dépassements de consigne de froid en occupation est de 34.4 °C.h à Trappes avec une température maximale de 27.56 °C. La période de refroidissement est programmée pour commencer le 3 mai (l'heure 2928) et pour s'arrêter le 29 septembre (l'heure 6500), le reste de l'intervalle est réservé à la période de chauffage. Aucun dépassement de consigne de chaud n'est noté. (voir Figure 46)

A Nice, la somme des dépassements de consigne de froid en occupation est de 29.5 °C.h avec une température maximale de 26.64 °C. La période de refroidissement est programmé pour commencer le 2 mars (l'heure 1440) et pour s'arrêter le 17 novembre (l'heure 7680), le reste de l'intervalle est réservé à la période de chauffage. La somme des dépassements de consigne de chaud en occupation est de 6.3 °C.h avec une température minimale de 18.77 °C. (voir Figure 46)



**Figure 46 : Températures intérieures obtenues avec un système à absorption\_ Solution S1\_Bâtiment 1a (1 seul étage)**

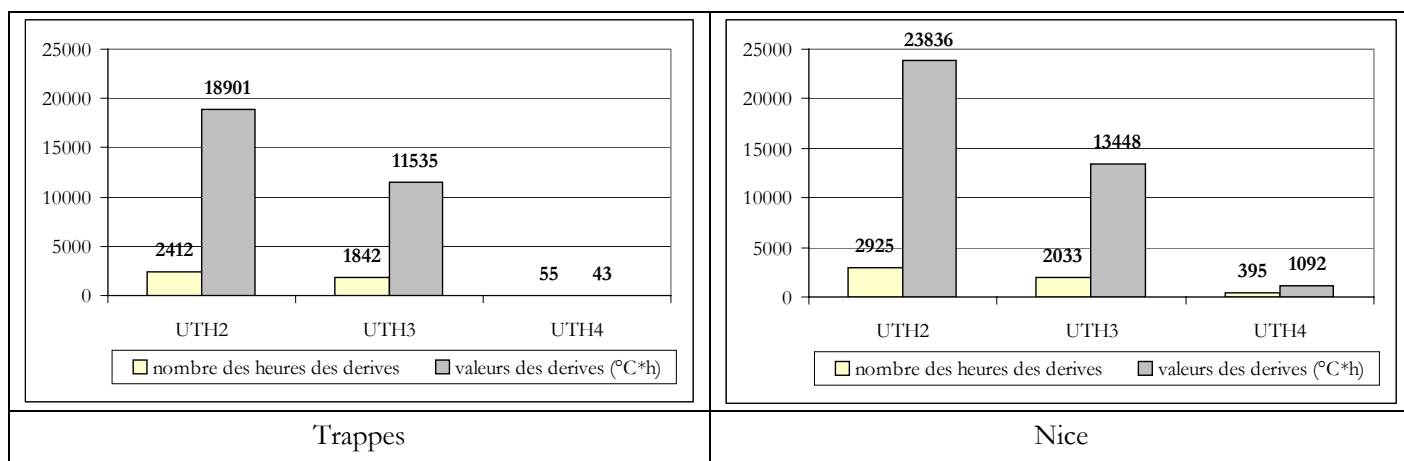


## CONCLUSION GENERALE

L'étude Objectif 100 avait pour objectif de prouver qu'on peut atteindre techniquement une consommation de moins de 100 kWh/m<sup>2</sup>.an avec les technologies présentes sur le marché. Le guide des solutions joint à ce rapport détaille les solutions techniques existantes sur le marché cible par cible.

Les résultats sont au-delà de l'objectif initial. Il est raisonnable de viser un **objectif de moins de 80 kWh/m<sup>2</sup>.an en région parisienne et moins de 70 kWh/m<sup>2</sup>.an en région midi** à partir des solutions existantes sur le marché.

Une grande partie des consommations est imputable aux usages spécifiques de l'électricité : **éclairage et bureautique qui représentent plus de la moitié des consommations totales**. Bien sûr ces consommations « contribuent » au chauffage l'hiver mais génère les charges d'été qui imposent le rafraîchissement. Sans rafraîchissement, les heures de surchauffe pendant l'occupation atteignent 18900 degrés heures à Trappes et 23850 degrés heures à Nice (comptés au-dessus de 25°C) dans les zones les plus exposées du bâtiment 1a. (UTH2 et UTH3 bureaux, UTH4 salle de réunion).



**Figure 47 : Heurs des surchauffes pour un bâtiment (1a) sans rafraîchissement**

L'autre moitié des consommations est due au chauffage, au rafraîchissement et aux auxiliaires. **En région parisienne, le chauffage est majoritaire** (35 à 40 % des consommations totales) et les auxiliaires ne sont pas à négliger. Les consommations de rafraîchissement sont de l'ordre de 5 % seulement. **En région niçoise, le poids du chauffage est réduit** (20 à 25 % des consommations totales) et celui du **rafraîchissement est de l'ordre de 12%**.

Ces résultats sont obtenus grâce à une optimisation des choix constructifs mais aussi en recourant à des gestions intelligentes de l'éclairage, des protections solaires et de la ventilation. A ce titre, signalons que le bâtiment le plus consommateur (1c suivant la nomenclature de ce rapport) est le plus vitré. De ce fait les puissances de dimensionnement sont faibles :

**En chaud :** 33 à 50 W/m<sup>2</sup> à Trappes et 18 à 28 W/m<sup>2</sup> à Nice

**En froid :** 36 à 44 W/m<sup>2</sup> à Trappes et 48 à 50 W/m<sup>2</sup> à Nice

Si l'on raisonne en nombre d'heures à puissance maximales,

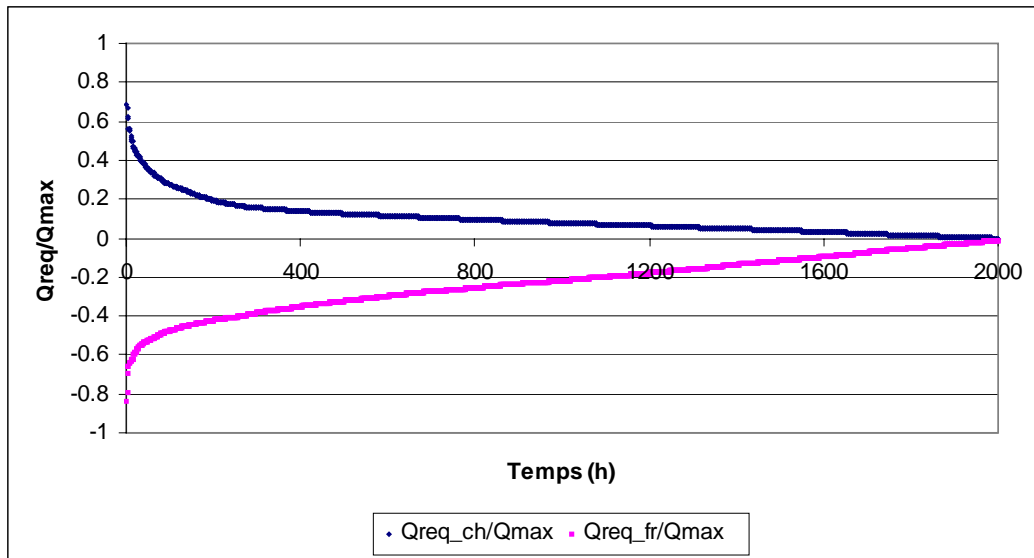


Figure 48 : Ratio entre puissance requise et puissance maximale disponible en chaud et en froid

En plus de ce rapport et du guide un ensemble de courbes de charge (en froid, en chaud, en électricité) est fourni sur un CD. L'exemple de courbe ci après montre la puissance totale appelée (chaud + froid) pour les 8760 heures de l'année en simultanément avec la température extérieure.

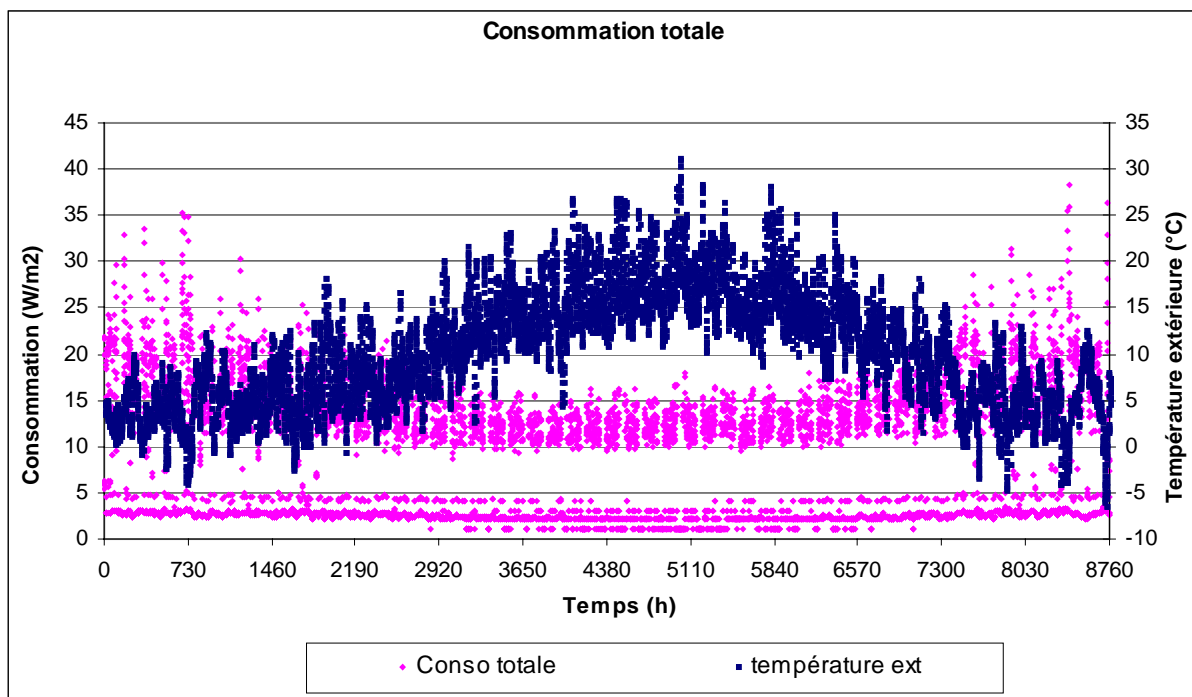


Figure 49 : Courbe de charge pour le bâtiment type 1a à Trappes

Sur la base des 54 millions de m<sup>2</sup> de bureaux climatisés et un renouvellement, de 3,5 millions de m<sup>2</sup> par an on peut considérer :

- qu'en 15 ans le parc existant peut être renouvelé
- que durant ces 15 ans le parc des bureaux climatisés aura cru d'une surface égale

Ainsi, on peut passer :

- **de 2005** : 54 millions de m<sup>2</sup> consommant en moyenne 280 kWh/m<sup>2</sup>.an, soit **15 TWh**, soit encore (sur la base de la répartition donnée page 7) 27, 5 TWh.ep
- **à 2020** : 108 millions de m<sup>2</sup> consommant moins de 80 kWh/m<sup>2</sup>.an, soit **8,6 TWh**, soit encore 16,6 TWh.ep

En se basant sur un cas moyen de l'étude (80 kWh/m<sup>2</sup>.an), les résultats de ce rapport prouvent que l'on peut envisager un doublement de la surface de parc de bureaux climatisés maîtrisé grâce à des solutions techniques disponibles de telle sorte que la consommation énergétique du secteur soit divisée par 2 (ou par 1.65 en raisonnant en énergie primaire).

## X. REFERENCES

- [1] Revue Pratique du Froid, N°894, juin 2001
- [2] MAD - L'Outil Froid, N°10, Avril 1999
- [3] World market for air conditioning update 2001, J.A. GILES and W. ISHIDA, BSRIA, june 2000
- [4] EECCAC, "Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners", study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E.U., Co-ordinator: J. ADNOT, janvier 2005.
- [5] " Energy Efficiency of Room Air-Conditioners ", EERAC, study for the Directorate General for Energy (DGXVII) of the Commission of the European Communities, Co-ordinator : J. ADNOT, mai 1999
- [6] <http://www.industrie.gouv.fr/>
- [7] " Chiffres clés du bâtiment ", ADEME, 2002
- [8] données Clim-info issues de Clim Pratique n°55, mai 2003
- [9] «Batiment Relations Elec », n°37, mai-juin 2000
- [10] Clim Pratique n°45, avril 2002
- [11] Etude CSTB pour EdF
- [12] ThClim - besoins d'énergie. Version 2.0. CSTB
- [13] rapport ConsoClim 2
- [14] rapport Enertech
- [15] Campagne de mesure CSTB sur l'occupation des salles de réunion
- [16] Quelles solutions pour des bâtiments tertiaires climatisés à moins de 100kWh/m<sup>2</sup>/an ? Rapport intermédiaire 1 - Description des bâtiments types. Contrat ARMINES/ADEME. Septembre 2003
- [17] Quelles solutions pour des bâtiments tertiaires climatisés à moins de 100kWh/m<sup>2</sup>/an ? Rapport intermédiaire 2 - Description des bâtiments types. Contrat ARMINES/ADEME. Avril 2004
- [18] Centrale à débit d'air variable. Fiche algorithme.
- [19] J.W.MacArthur, E.W.Grald. "Optimal comfort control for variable-speed heat pumps ". Ashrae transactions 1988,part 2.
- [20] Braun J.E., Klien S.A, Mitchell J.W "Effectiveness models for cooling towers and cooling coils".1989 Ashrae Transactions vol 92 part 2, 164-174.
- [21] Hirano T, Matsumura N,Takeda K. "Development of high efficiency scroll compressor for package air conditioners". Proceedings of the Intenational Compressor Engineering Conference at Purdue 1988 :65-74.
- [22] H.Lijima,N.Tanaka. "Development of a new multi-system air-conditioner with concurrent heating and cooling operation". Ashrae Transactions 1991,vol 97,part 2.

- [23] M.Masuda, K.Wankahara, K.Matsuki. "Development of a multi-system air conditioner for residential use". Ashrae transactions 1991, vol 97, part 1.
- [24] Cho YH, Lee BC, Lee JK. "Development of high efficiency scroll compressor for package air conditioners". Proceedings of the International Compressor Engineering Conference at Purdue 1996 :323-8.
- [25] F.Garde. "Validation et développement d'un modèle thermo-aéraulique de bâtiments en climatisation passive et active. Intégration multimodèle de systèmes".
- [26]. Roger Casari. "Guide de conception des installations de climatisation et de conditionnement d'air industriel". Guide n°10 de l'AICVF 1998.
- [27] A.Benamer, D.Clodic. "Analyse et simulation de systèmes frigorifiques à vitesse variable. Quantification de l'amélioration de l'efficacité énergétique de cette technologie". Armines, Ademe.
- [28] O.Cauret, A.Benamer, D.Clodic. "La compression à vitesse variable : enjeux et conditions de mise en œuvre. Journée technique : Nouveaux fluides frigorigènes : le froid doit-il coûter plus cher ?". Paris Nord Villepinte, le 23 septembre 1999.
- [29] O.Morisot, D.Marchio. "Modélisation simplifiée en régime permanent dans l'optique d'un calcul de consommation d'énergie d'une installation de climatisation à air variable dans bâtiment tertiaire".
- [30] D.Marchio, A.Bolher, R.Casari, E.Fleury, O.Morisot, J.R Millet. "Méthode de calcul des consommations d'énergie des bâtiments climatisés Consoclim".
- [31] Cho H, Park Y, Kim Y. "Thermodynamic analysis on the performance of a variable speed scroll compressor with refrigerant injection".
- [32] Jianjun Xia, Eric Winandy, Bernard Georges, Jean Lebrun. "Testing methodology for VRV systems".
- [33] Hongqi. "Research and development of variable-speed scroll compressor". The International Refrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue 2002, USA.
- [34] Calcul des charges de climatisation et conditionnement de l'air », guide n°2 de l'AICVF, R. CADIERGUES, coordinateur, 1998
- [35] L'eau chaude sanitaire dans les bâtiments résidentiels et tertiaires », guide n°4 de l'AICVF, G. OLIVE et A. TRIBOULET, coordination, 1991
- [36] Cahier des algorithmes Consoclim, version 2005
- [37] [www.rt2000-chauffage.com/chaudiere/index.htm](http://www.rt2000-chauffage.com/chaudiere/index.htm), ATTA2