

S. Filfli¹, D. Marchio¹, E. Fleury²

¹ CEP, Centre Energétique et Procédés, Ecole des Mines de Paris, 60 bd St Michel, 75006 Paris

² CSTB, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, 84 avenue Jean Jaurès- Champs sur Marne- BP2- F 77421 Marne la Vallée Cedex2

Objectifs

- ✓ Expliquer comment on peut accéder à une réduction de consommation annuelle d'un **facteur 4** (ou plus)
- ✓ Développer des outils pour l'identification des solutions optimales
- ✓ Création d'une méthode qui permet de détecter les meilleures solutions techniques
- ✓ Réduction de la combinatoire des possibles par plan d'expériences

I. Typologie des bâtiments de bureaux/santé retenue

Sélection de bâtiments représentatifs de la diversité des caractéristiques géométriques et architecturales et d'usage.

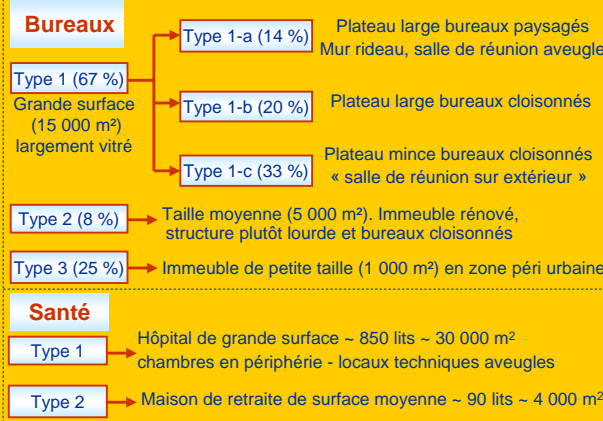
Éléments de choix pour différencier les types

- ✓ Surface utile
- ✓ Ratio de surface par usage
- ✓ Ratio de surface de parois déperditives (opaques et vitrées)

Éléments de choix climatique

- ✓ Découpage selon RT2000
- ✓ Répartition géographique des installations

- ✓ Zone H1a + H2a + H2b : 47% → Trappes
- ✓ Zone H1b : 7%
- ✓ Zone H2c : 10%
- ✓ Zone H2d + H1c : 18% → Mâcon
- ✓ Zone H3 : 18% → Nice



Matrice Système de traitement/Bâtiment

On associe à chaque type de bâtiment les systèmes compatibles. La fabrication de cette matrice est le résultat d'un travail commun avec des experts de bureaux d'études.

	VC	DAV	DAC	DRV	SPLIT	DEC
Bureaux type 1a	✓	✓	✓			
Bureaux type 1b	✓	✓				
Bureaux type 1c	✓	✓				
Bureau type 2	✓			✓		
Bureau type 3	✓			✓	✓	✓
Santé type 1	✓		✓			
Santé type 2	✓				✓	

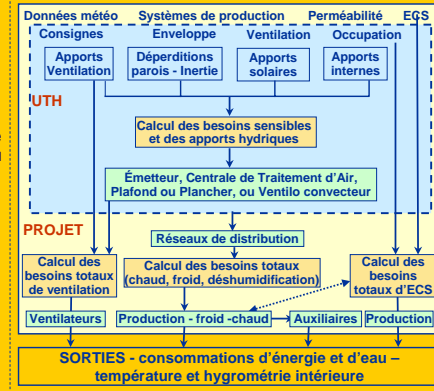
II. Plan d'expériences : 13 paramètres clés – niveaux retenus – exemple bureaux

Les paramètres principaux sont au nombre de treize. Ci dessous les niveaux de variation retenus et les solutions correspondantes (BAT)

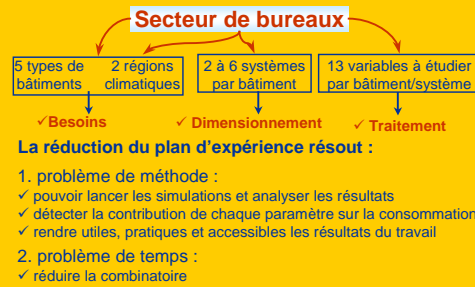
- Isolation du toit et des murs (U = 0,2/0,3 et 0,4/0,6 W/m².K)
 - ✓ 100 mm de polystyrène expansé ou de laine de roche ;
 - ✓ 200 mm de polyuréthane
 - ✓ rupteurs de ponts thermiques
- Surfaces vitrées (U = 2/3 W/m².K)
 - ✓ menuiserie aluminium: + double vitrage 4/16/4 « U_v 1,0 W/m².K » + lame de Krypton + triple vitrage 6/16/4/16/4 « U_v de 0,61 W/m².K » + 2 lames d'Argon
 - ✓ PVC « U_v = 1,5 W/m².K », double vitrage « U_v = 1,5 W/m².K »
- Orientation (façades vitrées N/S ou E/O)
- Inertie (lourde/faible) selon RT2005
- Perméabilité (1,2/2,4 m³/h.m² sous 4 Pa)
- Gestion des protections solaires
- Gestion de la ventilation (réduit de 30% / normal)
 - ✓ Résultat d'une campagne de mesure
 - ✓ Moteur à vitesse variable
- Apports internes (7,5/15 W/m²)
 - ✓ Label « EnergyStar », écrans LCD
- Gestion de l'éclairage (interrupteur + gradateur 10 W/m² / interrupteur seul 18 W/m²)
 - ✓ luminaires fluo-compactes à haut rendement de type T5
 - ✓ ballasts électroniques
- EER nominal et performances à charge partielle 3,3/1,9 condenseur à air : 4,8/3,8 condenseur à eau Split et DRV : COP = 4,5/1,9 - EER = 4,2/1,8
 - ✓ Certification EUROVENT
- Rendement de chaudière sur PCI et modèle charge partielle (chaudière à condensation 0,98 à 70°C _ 1,08 à 30°C / valeur réglementaire)
 - ✓ Base de données ATTA
- Isolation réseaux distribution (0,14/0,28 W/m.K)
 - ✓ Classes de RT2005
- Rendement des auxiliaires (0,52/0,85)
 - ✓ Optimisation des réseaux hydrauliques - EUROPUMP

Outil de simulation : ConsoClim (CSTB et CEP)

ConsoClim est basé sur un modèle de bâtiment dynamique multi zones, à pas de temps horaire : les zones homogènes sont des Unités Thermiquement Homogènes (UTH).

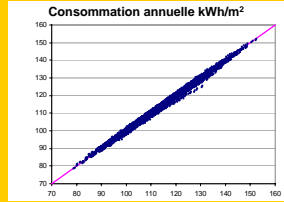


III. Réduction du plan d'expériences – exemple bureaux



Résultat du plan : modèle paramétrique

Consommation totale ou par poste



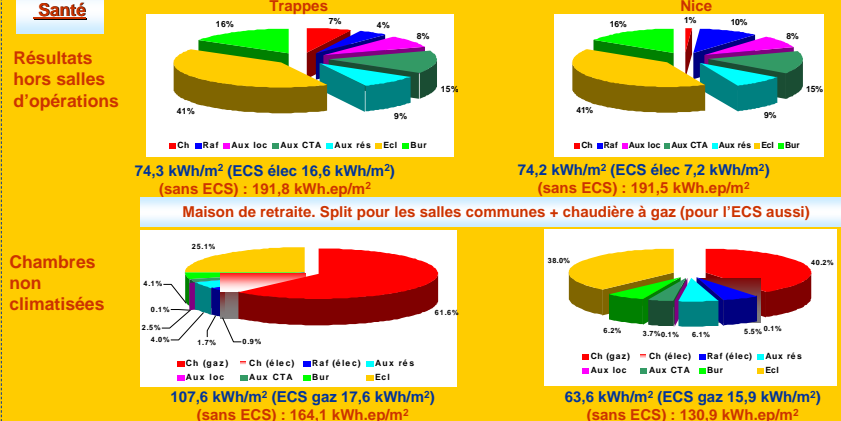
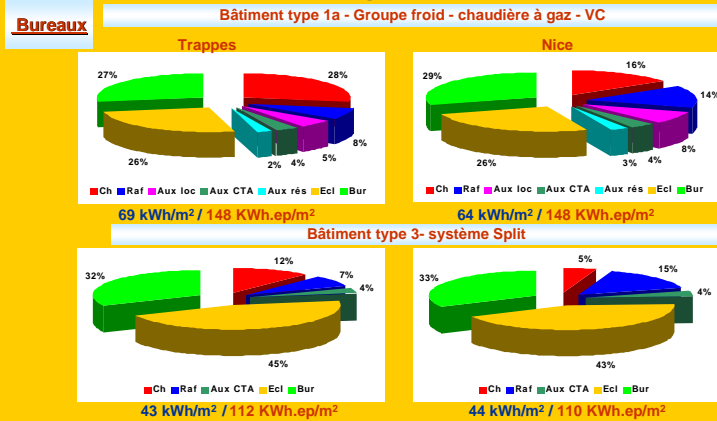
Modèle additif comparé au plan factoriel

La moyenne des écarts est égale à 0,6 kWh/m². Distribution de l'écart sur 8192 simulations

Ecart	% des simulations
-1% ≤ Es 1%	83,5
-3% ≤ Es -1%	16,3
1% ≤ Es 3%	0,2
-5% ≤ Es -3%	0
3% ≤ Es 5%	0
Es 5%	0
Es -5%	0

- Formalisme des plans d'expériences
 - ✓ organisation systématique des simulations
 - ✓ écriture matricielle et calcul des effets
 - Plans fractionnaires et méthode de Taguchi
 - ✓ réduction du nombre de simulations
 - ✓ simplification de la procédure de réduction
 - ✓ étude de l'influence de la réduction sur la précision des résultats
- 13 variables à 2 niveaux, le plan complet nécessite 2¹³ (8192) simulations → **820 heures** de simulation
- 3 heures**
- plan fractionnaire : « fraction » du plan factoriel, sous-ensemble orthogonal de combinaisons du plan factoriel.

IV. Résultats – solution optimale



V. Conclusions

On peut atteindre une consommation annuelle totale de **70 kWh/m²** en agissant sur tous les postes d'un **bâtiment de bureaux**. Le secteur des **bâtiments de santé** est plus consommateur, on atteint **80 kWh/m²** (hors production d'ECS) par Thermo frigo-pompe. La consommation d'éclairage et des équipements électriques représente la moitié de la consommation totale.

L'ensemble des résultats et des exigences (bureaux et santé) a été mis à disposition par la publication de **deux guides de solutions techniques**.

Le travail a été financé et suivi par l'ADEME.