

**D D E A
A N G E R S**

AUDIT ENERGETIQUE

**Etude d'optimisation énergétique sur le
Bâtiment M de la cité administrative
Place Lafayette - Angers**

A V R I L 2 0 0 9

Etude : 09.814

Région Ouest

14 Allée du Haras – 49100 ANGERS

Téléphone : 02 41 88 04 37 – Télécopie : 02 41 88 04 39 - E.mail : noble.ingenierie@wanadoo.fr

S.A.S. au capital de 40 000 € - RCS ANGERS B 377 994 843 – Code APE 7112B – TVA intracommunautaire : FR 27377994843

<u>1.</u>	<u>CONTEXTE.....</u>	<u>4</u>
<u>2.</u>	<u>ETUDE THERMIQUE DU BATIMENT M</u>	<u>5</u>
2.1	PRESENTATION GENERALE DU BATIMENT.....	5
2.2	PLANS DE L'ETABLISSEMENT	6
2.3	DEFINITION DES CALCULS THERMIQUES REGLEMENTAIRES.....	8
2.4	CARACTERISTIQUES THERMIQUES DE L'ENVELOPPE.....	8
2.5	SYSTEMES ENERGETIQUES EQUIPANT LE BATIMENT.....	11
2.5.1	PRODUCTION & EMISSION DE CHAUFFAGE	11
2.5.2	SYSTEME DE VENTILATION DOUBLE FLUX.....	11
2.5.3	PRINCIPE DE REGULATION.....	11
2.5.4	SCHEMA DE PRINCIPE DE L'INSTALLATION	14
2.5.5	PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE	15
2.5.6	APPAREILS DE BUREAUTIQUE.....	15
2.6	BILAN ENERGETIQUE DE L'ETAT ACTUEL DU BATIMENT	16
<u>3.</u>	<u>MESURE DES CARACTERISTIQUES DE L'AIR INTERIEUR.....</u>	<u>17</u>
3.1	OBJECTIF DE L'ETUDE DES CARACTERISTIQUES DE L'AIR INTERIEUR.....	17
3.2	QUESTIONNAIRE A L'ATTENTION DES OCCUPANTS	17
3.3	REPARTITION DES RELEVES.....	18
3.4	RESULTATS DES MESURES & EXPLOITATION DES RESULTATS.....	18
3.5	ANALYSE DES MESURES	19
<u>4.</u>	<u>OPTIMISATION DE L'ENVELOPPE</u>	<u>24</u>

<u>5.</u>	<u>OPTIMISATION ENERGETIQUE PAR SCENARIOS D'AMELIORATION.....</u>	<u>27</u>
5.1	DEMARCHE.....	27
5.2	RAPPEL DE LA COMBINAISON ACTUELLE.....	28
5.3	SOLUTION D'OPTIMISATION 1 – VERS LE GRENELLE DE L'ENVIRONNEMENT.....	29
5.4	SOLUTION D'OPTIMISATION 2 – VERS UNE LABELLISATION BBC.....	32
5.5	SOLUTION D'OPTIMISATION 3 – INTERMEDIAIRE.....	33
5.6	RECAPITULATIF DES SOLUTIONS.....	35
<u>6.</u>	<u>ANALYSE ECONOMIQUE ET COMPARATIF FINANCIER.....</u>	<u>36</u>
6.1	DEMARCHE.....	36
6.2	ESTIMATION DES COUTS D'INVESTISSEMENT.....	37
6.3	TARIFS DES ENERGIES & TAUX DE HAUSSE ANNUELLE.....	38
6.4	BILAN FINANCIER DE QUELQUES COMBINAISONS.....	38
6.5	CALCUL EN COUT GLOBAL ACTUALISE.....	40
<u>7.</u>	<u>NOTICE SUR LA MISE EN ŒUVRE DE PROTECTIONS SOLAIRES.....</u>	<u>42</u>
<u>8.</u>	<u>NOTE SUR L'EXPLOITATION ET LA MAINTENANCE DE L'INSTALLATION.....</u>	<u>45</u>
<u>9.</u>	<u>CONCLUSIONS & PERSPECTIVES.....</u>	<u>51</u>
	<u>GLOSSAIRE.....</u>	<u>53</u>
	<u>ANNEXES.....</u>	<u>55</u>

1. CONTEXTE

Sur commande de la Direction Départementale de l'Équipement et de l'Agriculture du Maine et Loire (DDEA 49), ce document présente les résultats d'un audit énergétique réalisé sur le bâtiment M de la cité administrative d'Angers, et offrant les clés technico-économiques de la restructuration de l'établissement.

Ce travail doit permettre d'apporter les éléments d'aide à la décision en matière d'amélioration de l'efficacité énergétique du bâtiment, et offrir au maître d'ouvrage de parvenir à des choix justes et avisés.

A ces fins, nous allons étudier diverses solutions de composition du projet, tant au niveau de l'enveloppe du bâtiment qu'au niveau des systèmes énergétiques qui le composent.

Conformément aux objectifs initiaux de l'étude, nous tenterons de déterminer plusieurs « combinaisons énergétiques », permettant de pouvoir répondre aux exigences de performance énergétique souhaitées par le maître d'ouvrage :

Répondre aux objectifs du **Grenelle de l'environnement**, c'est-à-dire deux principales exigences à atteindre :

- ➔ réduire les consommations d'énergie de 40 %
- ➔ réduire les émissions de Gaz à Effet de Serre de 50 %

NB : cette réduction se fait par rapport à un état initial qui doit être calculé à partir de logiciels approuvés réglementairement. Une analyse des factures de gaz et d'électricité n'est donc pas suffisante.

S'orienter vers une labellisation du Bâtiment en **BBC-Effinergie**, soit l'exigence suivante à atteindre :

- ➔ réduire le coefficient en énergie primaire de 40 % par rapport au coefficient de référence,
Soit $Cep\ projet \leq Cep\ ref - 40\%$

Nous présenterons donc plusieurs solutions d'optimisation pouvant répondre à ces cibles.

Un comparatif des combinaisons retenues permettra d'obtenir les informations judicieuses à l'orientation des décisions finales.



Vue de la face Ouest du bâtiment M de la DDEA d'Angers

2. ETUDE THERMIQUE DU BATIMENT M

2.1 Présentation générale du bâtiment

Le bâtiment est situé en centre ville, « Place Lafayette – 49100 Angers ».



Il s'agit d'un bâtiment administratif, composé essentiellement de bureaux et de quelques salles de réunion et salles informatique, occupées de 8h00 à 18h00 du lundi au vendredi.

L'ensemble est formé d'un bâtiment de 5 niveaux :

- Sous sol
- Rez-de-chaussée
- 1^{er} étage
- 2nd étage
- 3^{ième} étage

La Surface Hors Œuvre Nette (SHON) est de 6 725 m².

La surface chauffée, prise en compte pour le calcul des déperditions, est de 5 939 m².

Le volume chauffé est de 15 693 m³.

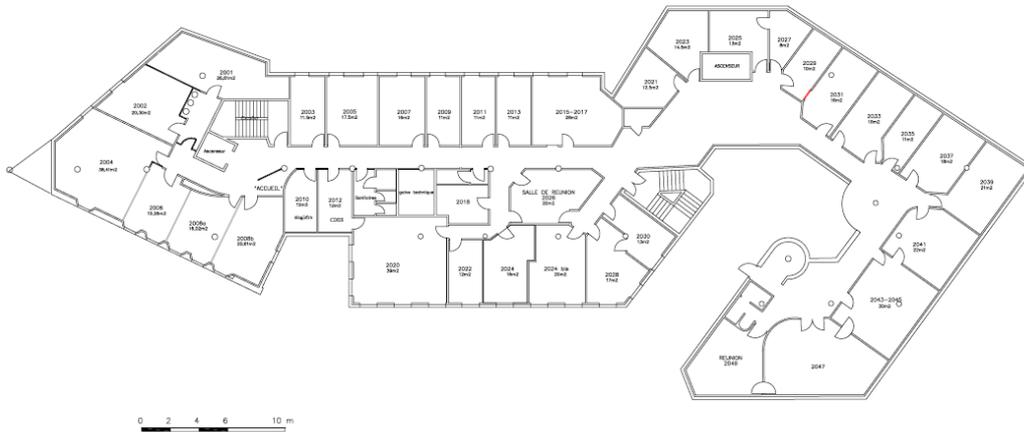
Le bâtiment présente des toitures horizontales de deux types :

- Terrasse végétalisée de 1 590 m² environ
- Terrasse non-végétalisée de 1 456 m² environ

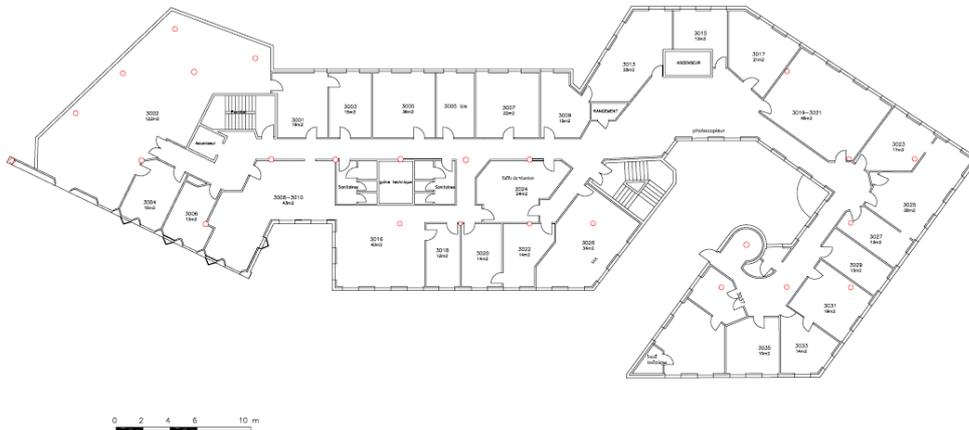
2.2 Plans de l'établissement



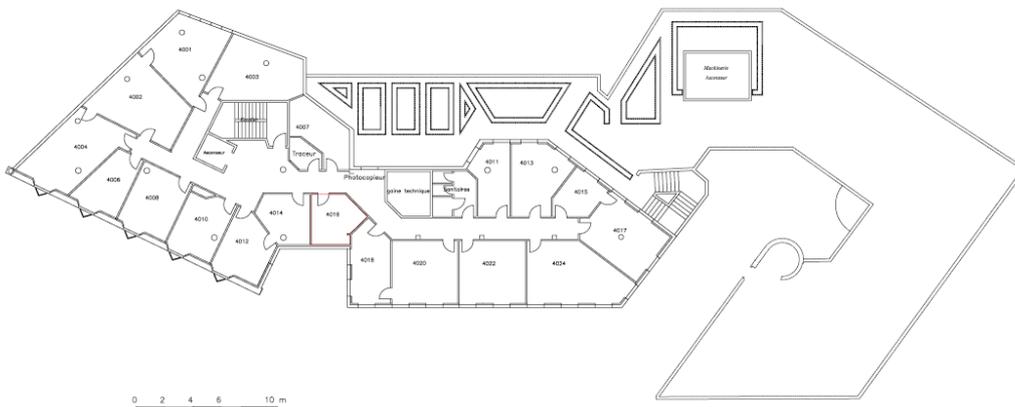
1er étage
Echelle 1/200



2ème étage
Echelle 1/200



3ème étage
Echelle 1/200



2.3 Définition des Calculs thermiques réglementaires

Selon la réglementation thermique en vigueur, l'étude thermique du bâtiment existant peut être menée selon deux cas de figure réglementaires :

- « **L'Arrêté du 13 juin 2008, relatif à la performance énergétique des bâtiments existants de surface supérieure à 1 000 mètres carrés, lorsqu'ils font l'objet de travaux de rénovation importants** ».

Les dispositions de cet arrêté s'appliquent aux bâtiments, et parties de bâtiments, lorsque sont entrepris des travaux de réhabilitation portant sur l'enveloppe, les installations de chauffage, de production d'eau chaude, de refroidissement, de ventilation, d'éclairage ou les équipements utilisant les énergies renouvelables d'un bâtiment, pour un coût total supérieur à 25 % de la valeur du bâtiment concerné.

- **L'Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants** »

Les dispositions de cet arrêté s'appliquent aux bâtiments existants dont les travaux de rénovation n'excèdent pas la limite des 25% du montant total du bâtiment, avec un coût de construction de 1 100 € HT /m² de surface hors œuvre nette.

Lorsque des travaux d'installation ou de remplacement de l'isolation thermique sont entrepris sur une paroi, ceux-ci doivent être réalisés de telle sorte que la paroi isolée doit avoir une résistance thermique totale, telle que définie dans l'annexe III de l'arrêté, supérieure ou égale à la valeur minimale donnée dans le tableau suivant en fonction du type de paroi concernée.

L'étude du comportement thermique du bâtiment M est traitée au sein d'un logiciel de calculs réglementaires dédié aux « **bâtiments existants** ».

2.4 Caractéristiques thermiques de l'enveloppe

Le bâtiment M est aujourd'hui composé comme suit :

Composition des Parois opaques :

- ✓ **Murs Verticaux donnant sur l'extérieur**

- Béton plein = 20 cm
- Laine de verre = 8,5 cm

➔ **$U = 0.5 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$**

- ✓ **Murs sur Parpaing niveau 0**

- Béton plein = 10 cm
- Laine de verre = 4,5 cm

➔ **$U = 0.8 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$**

- ✓ **Plancher haut parking**

- Dalle Béton = 16 cm
- Isolant projeté = 6 cm

➔ **$U = 0.602 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$**

- ✓ **Plancher terre plein**

- Dalle béton = 20 cm

➔ **$U = 2.128 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$**

- ✓ **Terrasse non végétalisée**
 - Dalle béton = 16 cm
 - Laine de verre = 6 cm
 - Mousse Polyuréthane = 2 cm**➔ U = 0.44 W/m².°C**

- ✓ **Terrasse Bac acier**
 - Mousse Polyuréthane = 6 cm**➔ U = 0.467 W/m².°C**

- ✓ **Terrasse végétalisée**
 - Dalle béton = 16 cm
 - Laine de verre = 6 cm
 - Mousse polyuréthane = 2 cm
 - Terre = 4 cm**➔ U = 0.4 W/m².°C**

Composition des Parois vitrées :

- ✓ **Fenêtres & portes fenêtres**
 - Double Vitrage ; U_w = 4 W/m².°C

- ✓ **Skydome**
 - Double Vitrage ; U_w = 5 W/m².°C

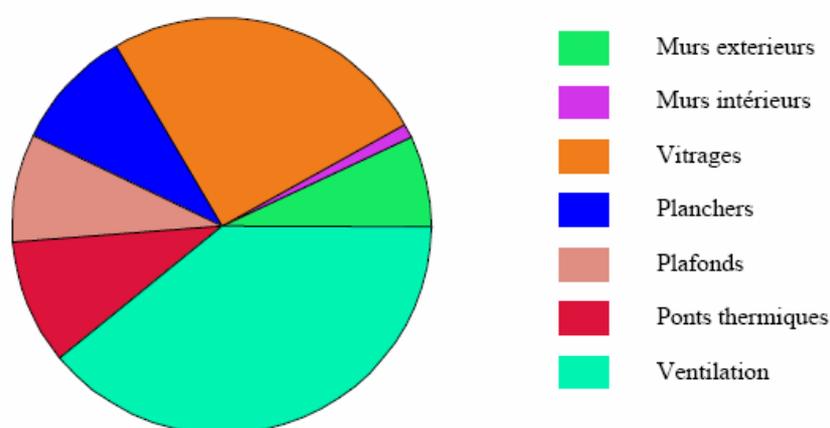
- ✓ **Panneaux de Verre**
 - Double Vitrage ; U_w = 4 W/m².°C

- ✓ **Portes vitrées**
 - Double Vitrage ; U_w = 4.8 W/m².°C

- ✓ **Portes**
 - Double Vitrage ; U_w = 3.5 W/m².°C

Résultats des déperditions :

Type de Paroi	Surface	Déperditions
Murs extérieurs	2118,69 m ²	27041 W
Murs intérieurs	222,61 m ²	4100 W
Vitrages	914,05 m ²	96505 W
Planchers	3133,64 m ²	35755 W
Plafonds	3031,22 m ²	32647 W
Terre-Plein	0 m ²	0 W
Ponts thermiques	3219,17 m	37023 W
Complément		0
Ventilation		149152 W



Les parois vitrées représentent 15% de l'ensemble des parois en contact avec l'extérieur, et participent à hauteur de 25 % des déperditions.

Coefficient U du bâtiment :

- Ubât = 1,196 W/m².°C
- Ubât ref = 0,620 W/m².°C

Résumé :

Bâtiment M – Cité administrative de la DDEA Angers	
Surface à chauffer du bâtiment [m ²]	5 939
Surface Hors d'Oeuvre Nette (SHON) [m ²]	6 725
U bât [W/m ² .°C]	1,196
Station météorologique	Angers
Déperditions [kW]	382 223

2.5 Systèmes énergétiques équipant le bâtiment

2.5.1 Production & Emission de chauffage

Le chauffage de l'établissement est assuré par deux systèmes distincts :

- En base, un réseau centralisé de chauffage par air soufflé, raccordé à une Centrale de Traitement d'Air (CTA), alimenté par deux chaudières au Gaz Naturel. Ces chaudières, d'une puissance de 200 kW chacune, se répartissent la production. Une chaudière à condensation en priorité, et une chaudière à haute performance en appoint.
- Enfin, des appareils indépendants de type « Convecteurs électrique », assurent les 25 derniers pourcents du chauffage dans chaque local.

2.5.2 Système de ventilation Double Flux

Le bâtiment est équipé d'un système de chauffage par air assurant simultanément la ventilation hygiénique des locaux.

Ce système, raccordé à la CTA située en local technique au niveau de la terrasse, est équipé d'un double échangeur permettant la récupération d'une partie des calories de l'air extrait pour les céder à l'air neuf. Ce système devrait théoriquement permettre de récupérer en 25 et 35% d'énergie. Cependant le fonctionnement actuel de l'installation au niveau des débits et de la régulation nous amène à estimer un niveau de récupération réelle de l'ordre de 10%.

2.5.3 Principe de régulation

Chaufferie (hors GTC)

La régulation des chaudières n'est pas liée au système de Gestion Technique Centralisée (GTC). Seul est possible un réglage manuel des températures de chaque chaudière à partir d'aquastats (régulation à températures fixes).

CTA principale (pour la CTA située en local technique terrasse)

La régulation agit via les mesures de :

- La température de l'air repris
- La température de soufflage
- La température d'air neuf

Paramétrages :

- Programmation journalière et hebdomadaire des périodes d'occupation et d'inoccupation.
- Calcul de la température de consigne en fonction de la température extérieure suivant deux courbes de chauffe paramétrable : une courbe « hiver » (besoin de chauffage) et une courbe « été » (besoin rafraîchissement).
- Réglage d'une température de consigne de l'air neuf pour autorisation de la récupération de calories.
- Réglage d'une position minimum du volet d'air neuf pur assurer l'air neuf hygiénique.

Actions :

- Commande « marche/arrêt » de la centrale de traitement d'air en fonction de la programmation.
- Commande « ouverture de la vanne de la batterie chaude » en fonction de la température de soufflage, et par rapport à la consigne (besoin de chauffage).

- Commande « ouverture de la vanne de la batterie froide » en fonction de la température de soufflage, et par rapport à la consigne (besoin de refroidissement).
- Commande « ouverture du registre air neuf » en fonction de la température de soufflage, et par rapport à la consigne et la température de l'air neuf (Free-Cooling pour besoin de refroidissement).
- Commande de la pompe de récupération en fonction de la température de l'air neuf (air neuf inférieure à 20°C).

Convecteurs (en appoint chauffage)

Nota : consigne individuelle locale

La régulation agit via les mesures de :

- La température ambiante mesurée à l'aide de sondes de température positionnées par zone.

Paramétrages :

- Mise en « marche » ou « arrêt » de chaque zone.
- Programmation journalière et hebdomadaire des périodes d'occupation et d'inoccupation.
- Réglage d'une « température de consigne d'occupation ».
- Réglage d'une « température de consigne d'inoccupation ».
- Réglage d'une « température de déclenchement d'alarme ».

Actions :

- Commande « marche/arrêt » des convecteurs en fonction de la température ambiante mesurée, et de la température de consigne déterminée par la programmation horaire.
- Délestage de chaque zone en fonction du dépassement de la puissance totale appelée par rapport à la puissance souscrite.

Ventilo-convecteurs (en appoint chauffage de certains bureaux)

Nota : consigne individuelle locale

La régulation agit de la même manière que les convecteurs, sauf pour le délestage, et en particulier pour la zone RDC N°7.

CTA conférence et CTA Formation (situées dans le local technique au sous-sol)

La régulation agit via les mesures de :

- La température de soufflage
- La température d'air neuf

Paramétrages :

- Commande « marche/arrêt » des CTA.
- Calcul de la température de consigne en fonction de la température extérieure, suivant deux courbes de chauffe paramétrable : une courbe « hiver » (besoin de chauffage) et une courbe « été » (besoin rafraîchissement).
- Réglage d'une position minimum du volet d'air neuf pur assurer l'air neuf hygiénique.

Actions :

- Commande « ouverture de la vanne de la batterie chaude » en fonction de la température de soufflage, et par rapport à la consigne (lors du besoin de chauffage).
- Commande « ouverture de la vanne de la batterie froide » en fonction de la température de soufflage, et par rapport à la consigne (lors du besoin de refroidissement)

- Commande « ouverture du registre d'air neuf » en fonction de la température de soufflage, et par rapport à la consigne et à la température d'air neuf (free-cooling pour besoin de refroidissement).

Groupe froid (situé en terrasse)

La régulation agit via les mesures de :

- La température extérieure
- La température de départ de l'eau glacée

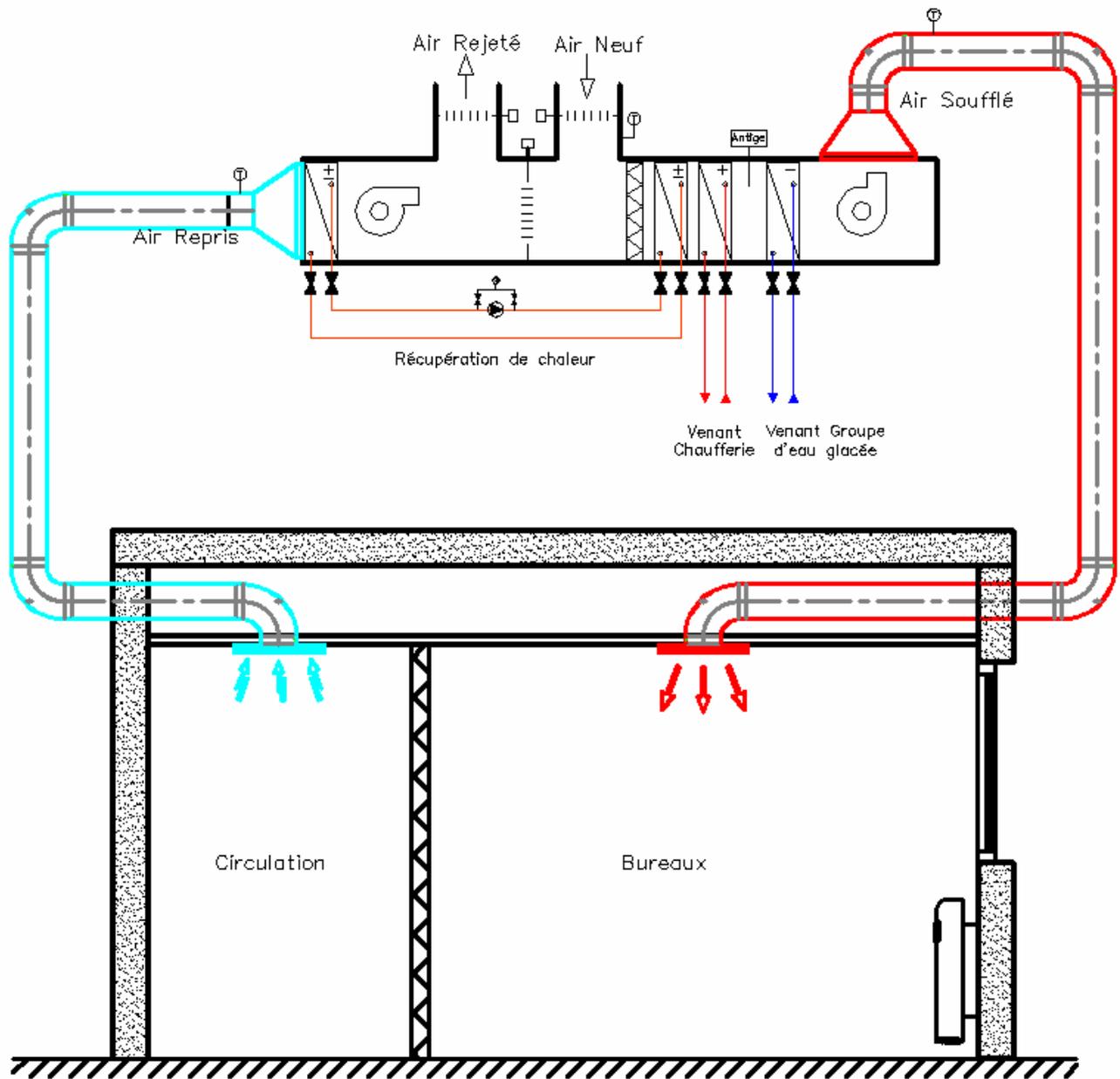
Paramétrages :

- Mise en marche ou arrêt manuel du groupe froid.
- Réglage d'une consigne de température extérieure pour la mise en arche automatique du groupe froid.
- Réglage d'une consigne de température extérieure pour la relance des pompes de circulation par température très basse.
- Autorisation de la relance des pompes.
- Réglage d'une température haute d'eau glacée pour déclenchement d'alarme.
- Réglage d'une température basse d'eau glacée pour déclenchement d'alarme.

Actions :

- Commande « marche/arrêt » du groupe.
- Commande « marche/arrêt » du groupe sur température extérieure.

2.5.4 Schéma de Principe de l'installation



2.5.5 Production d'eau chaude sanitaire

Le bâtiment est équipé de plusieurs chauffe-eau électriques répartis aux différents étages.

Nous avons estimé les besoins en énergie due à la production d'eau chaude sanitaire (ECS), selon des consommations quotidiennes pour chaque usage, comme indiqué dans le tableau ci-dessous :

	Consommation de référence	Quantité moyenne	Consommation	Besoins
Bureaux	5 litres/jour.personne	200 occupants	1250 litres/jour	50 kWh/jour
Total des besoins				18 250 kWh/an
Consommations électriques résiduelles				26 324 kWh/an

Estimation des besoins ECS

La puissance ECS à installer pour répondre à ces besoins, en considérant 1 ballon accumulateur de 4 000 litres, est d'une puissance de 220 kW.

2.5.6 Appareils de bureautique

La part des consommations énergétiques issues des appareils de bureautique doit être prise en compte dans l'étude énergétique du bâtiment.

Voici la liste des appareils de bureautique comptabilisés dans le bilan énergétique du bâtiment.

Equipement	Puissance Unitaire [W]	Temps d'utilisation [h/jour]	Consommation Quotidienne [kWh/jour]	Consommation annuelle [kWh/an]	Nombre	Consommation totale [kWh/an]
Ordinateurs Fixes	82	8	0,656	151,54	255	38 642
Ecrans Plats	90	8	0,720	166,32	255	42 412
Serveurs	105	24	2,520	582,12	22	12 807
équip. Annexe Serveur	60	24	1,440	332,64	22	7 318
Imprimantes - A4 N&B	10	3	0,030	6,93	23	159
Imprimantes - A4 Couleur	15	3	0,045	10,40	7	73
Imprimantes - A3 Couleur	15	2	0,030	6,93	5	35
Traceurs - A0 Couleur	15	2	0,030	6,93	3	21
Imprimantes individuelles Jet d'encre	10	4	0,040	9,24	25	231
Photocopieuses	20	3	0,060	13,86	10	139
						101 835

2.6 Bilan énergétique de l'état actuel du bâtiment

Afin de connaître les consommations totales du site, nous avons évalué les besoins et consommations par poste au sein du logiciel de calculs réglementaire, puis les avons sommées de manière à obtenir le bilan énergétique complet.

Pour mémoire, ni la production d'eau chaude sanitaire ni la consommation des bureaux n'est prise en compte dans les calculs réglementaires lorsqu'il s'agit d'un bâtiment utilisé en bureau.

Le tableau suivant présente les résultats obtenus par le logiciel de calculs réglementaire :

Poste de consommation			Valeurs Initiales	Valeurs de Référence	Ecart
Chauffage :	Electrique	kWh EF	65 339	58 015	-12,6
	Gaz	kWh EF	228 268	243 520	6,3
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	59,01	58,47	-0,93
Refroidissement :	Electrique	kWh EF	65 798	0	0
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	25,24	0	
Eclairage :	Electricité	kWh EF	190 198	129 246	-47,16
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	72,97	49,58	
Auxiliaires :	Autres (électrique)	kWh EF	5 944	3 571	-66,46
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	2,28	1,37	
	Ventilateurs (électrique)	kWh EF	104 704	92 345	-13,38
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	40,17	35,43	
TOTAL : Cep issu des calculs réglementaires		kWh EP /m ²	199,67	144,85	-37,85

Cep du bâtiment M dans son état actuel - Saisie logiciel

Autres usages			Valeurs du Projet
ECS :	Electrique	kWh EF	26 234
Bureautique :	Electrique	kWh EF	101 835
Total des consommations finales du bâtiment M :	Electrique [kWh]		560 051
	Gaz Naturel [kWh]		228 268

Total des consommations finales du bâtiment M

Pour repère, notons que les moyennes des consommations du bâtiment pour les quatre dernières années (selon les factures de 2005 à 2008) sont :

- 579 000 kWh en électricité
- 338 000 kWh en Gaz naturel

L'écart entre les valeurs « réelles » et théoriques peut facilement s'expliquer par le fonctionnement réel du mode de chauffage du bâtiment.

En effet, les températures de consigne de chauffage sont peu respectées, et les températures à l'intérieur des locaux sont très souvent supérieures aux températures théoriques. La température de soufflage étant largement trop élevée, la consommation réelle due au chauffage des bureaux est alors nettement supérieure à la valeur réglementairement calculée qui servira de base pour les exigences du Grenelle.

3. MESURE DES CARACTERISTIQUES DE L'AIR INTERIEUR

3.1 Objectif de l'étude des caractéristiques de l'air intérieur

Afin de pouvoir appréhender les problématiques liées au confort des occupants à l'intérieur des locaux, nous avons cherché à étudier les caractéristiques de l'air intérieur de plusieurs locaux « clés » du bâtiment M de la cité administrative de la DDEA d'Angers.

Ainsi, nous avons utilisé des sondes enregistreuses afin de relever ces différentes caractéristiques :

- Sonde 1 : Températures extérieures
- Sonde 2 : Températures Intérieures de différents locaux
- Sonde 3 : Températures, Humidité relative, et teneur en CO₂ à l'intérieur de différents locaux

La concentration de dioxyde de carbone à l'intérieur varie en fonction de l'emplacement, du taux d'occupation et du moment de la journée et elle a tendance à augmenter au fur et à mesure que la journée avance. En général, les concentrations que l'on retrouve dans les bureaux sont de l'ordre de 600-800 ppm.

Il faut faire preuve de prudence lorsqu'on utilise les concentrations de dioxyde de carbone comme indicateur d'une qualité des l'air intérieure (QAI) acceptable. Selon cette hypothèse, si le système de CVC (Chauffage, Ventilation et Climatisation) ne permet pas d'éliminer le dioxyde de carbone, alors les autres polluants intérieurs s'accumulent probablement de manière proportionnelle. Toutefois, il peut exister une source intérieure importante d'un contaminant malgré une faible teneur en dioxyde de carbone (CO₂). La comparaison entre les concentrations maximales de dioxyde de carbone lues dans différentes pièces et celles qui sont lues dans les zones entre les différentes unités de traitement de l'air peut aider à déceler divers problèmes de ventilation.

Pour mesurer l'effet de confinement de l'air intérieur, nous utilisons une sonde de mesure de la teneur en dioxyde de carbone émis par la respiration des personnes présentes. Plus l'air est confiné, plus le niveau de CO₂ est élevé et moins bonne devrait être la qualité de l'air dans la pièce.

En complément de ces mesures, nous avons effectué des relevés de débit d'air dans différents bureaux afin de vérifier le fonctionnement de l'installation existante et affiner nos observations.

3.2 Questionnaire à l'attention des occupants

Plusieurs zones du bâtiment reflétant le comportement thermique de ce dernier ont été ciblées.

Un questionnaire a été remis aux occupants des bureaux situés dans ces zones.

Ce questionnaire nous a permis de connaître les doléances des utilisateurs, et l'exploitation des réponses d'envisager les lieux nécessitant une prise de mesures des conditions intérieures.

Le questionnaire vierge est présenté en Annexe 2.

Un condensé des réflexions faisant suite aux doléances reçues est présenté en Annexe 3.

3.3 Répartition des relevés

Le tableau suivant présente la répartition des positionnements des sondes dans les différents locaux ciblés :

DDEA Angers - Bâtiment M					
Planning des relevés de mesures (<i>toutes les 30 minutes</i>)					
	Dates	Heure	Sonde CO2	T° 1	T° 2
<i>jeudi</i>	12-mars-09	A-M	Dépose des sondes NOBLE		
<i>vendredi</i>	13-mars-09	9h00	Bureau 1054	Bureau 1007	Extérieur
<i>samedi</i>	14-mars-09				Extérieur
<i>dimanche</i>	15-mars-09				Extérieur
<i>lundi</i>	16-mars-09	9h00	Salle de Réunion	Bureau 1065	Extérieur
<i>mardi</i>	17-mars-09				Extérieur
<i>mercredi</i>	18-mars-09	9h00	Bureau 3016	Bureau 2004	Extérieur
<i>jeudi</i>	19-mars-09				Extérieur
<i>vendredi</i>	20-mars-09	9h00	Bureau 3031	Bureau 2029	Extérieur
<i>samedi</i>	21-mars-09				Extérieur
<i>dimanche</i>	22-mars-09				Extérieur
<i>lundi</i>	23-mars-09	9h00	Bureau 4024	Bureau 3006	Extérieur
<i>mardi</i>	24-mars-09				Extérieur
<i>mercredi</i>	25-mars-09	A-M	Récupération des sondes NOBLE		

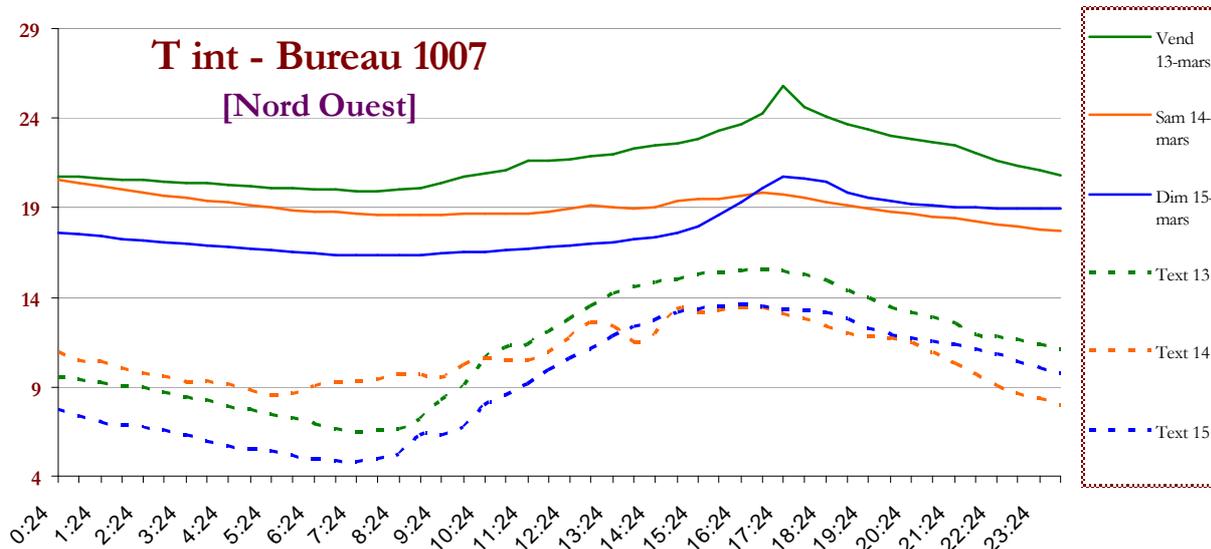
3.4 Résultats des mesures & exploitation des résultats

Les relevés sont récupérés, et les mesures traduites sous forme de graphiques. Ainsi, nous obtenons par local et par date précise, l'évolution des températures et/ou des valeurs d'hygrométrie et de teneur en CO2 dans le temps, ainsi que l'évolution de la température extérieure pour ces mêmes instants.

L'ensemble des résultats est présenté en Annexe 4.

3.5 Analyse des mesures

3.5.1) Bureau 1007



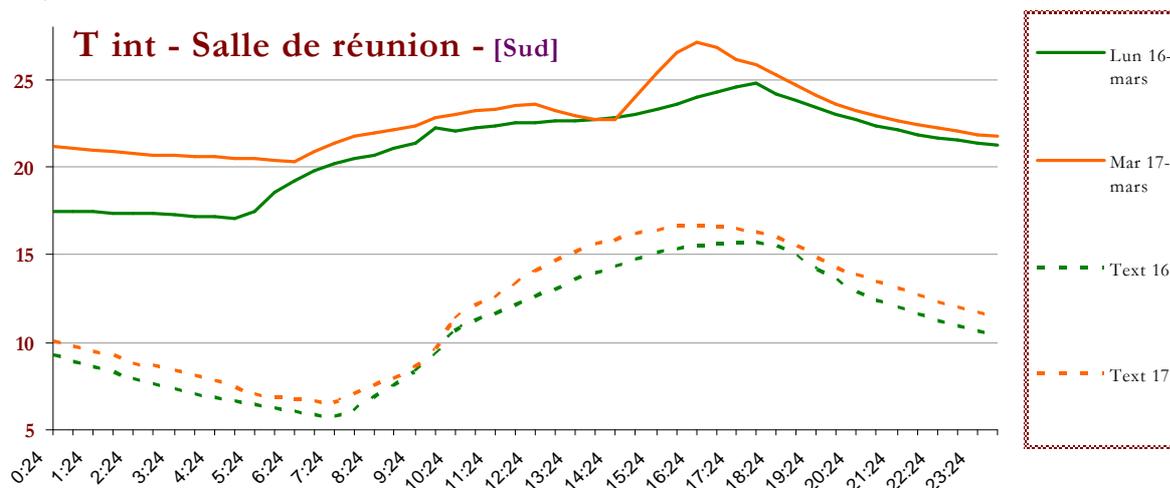
Ce graphique présente, pour le bureau 1007 qui est orienté Nord-Ouest, l'évolution des températures intérieures lors des journées du vendredi 13, samedi 14, et dimanche 15 mars.

On note ainsi une augmentation des températures intérieures dès 8h30 le matin le vendredi, une pointe jusqu'à 25°C environ vers 18h00, puis on voit la nette baisse de la température, due à l'abaissement effectué via le système de régulation.

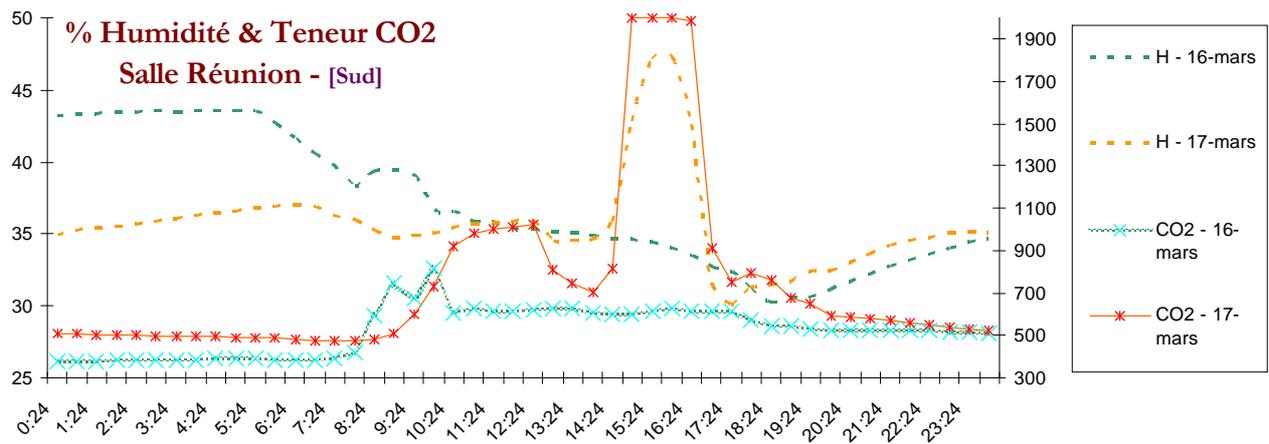
Pour le samedi et le dimanche, la température intérieure suit, avec un décalage sensible, les températures de l'air extérieur.

La pointe des températures intérieures en fin d'après midi provient de l'ensoleillement, et notamment de l'orientation du bureau vers le Nord-Ouest.

3.5.2) Salle de réunion

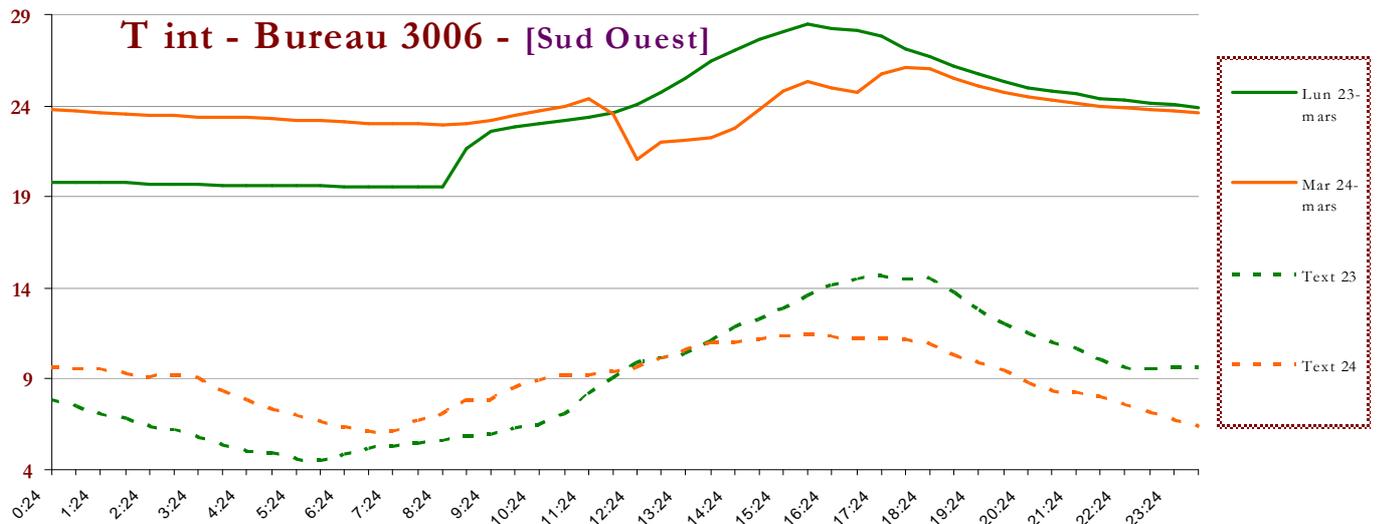


La salle de réunion est orientée vers le Sud. Le lundi alors que l'occupation était réduite, on aperçoit nettement que l'évolution des températures intérieures suit celle de la température extérieure. Par contre la courbe du mardi montre une évolution directement liée à l'occupation avec une température dépassant largement les 25°C



Pour le mardi 17 mars, le pic de concentration en CO2 suit l'augmentation du taux d'humidité dans la salle. On peut alors supposer que la salle a été utilisée pendant cette période. Le large dépassement du seuil de 1000PPM en CO2 laisse monter penser que la ventilation de la salle n'a pas été maintenue en service pendant la réunion soit il y a un dysfonctionnement réel de la centrale de traitement d'air. En revanche, le manque de mouvement des paramètres de l'air intérieur dans la journée du lundi montre que cette salle n'a pas été utilisée ce jour là.

3.5.3) Bureau 3006



Les utilisateurs du bureau 3006 ont notés des surchauffes récurrentes dues à un ensoleillement, et une absence de protection solaire.

Ce graphique concorde avec ces propos, puisque on voit la température intérieure atteindre les 28°C en plein après-midi lorsque la température extérieure est d'environ 14°C.

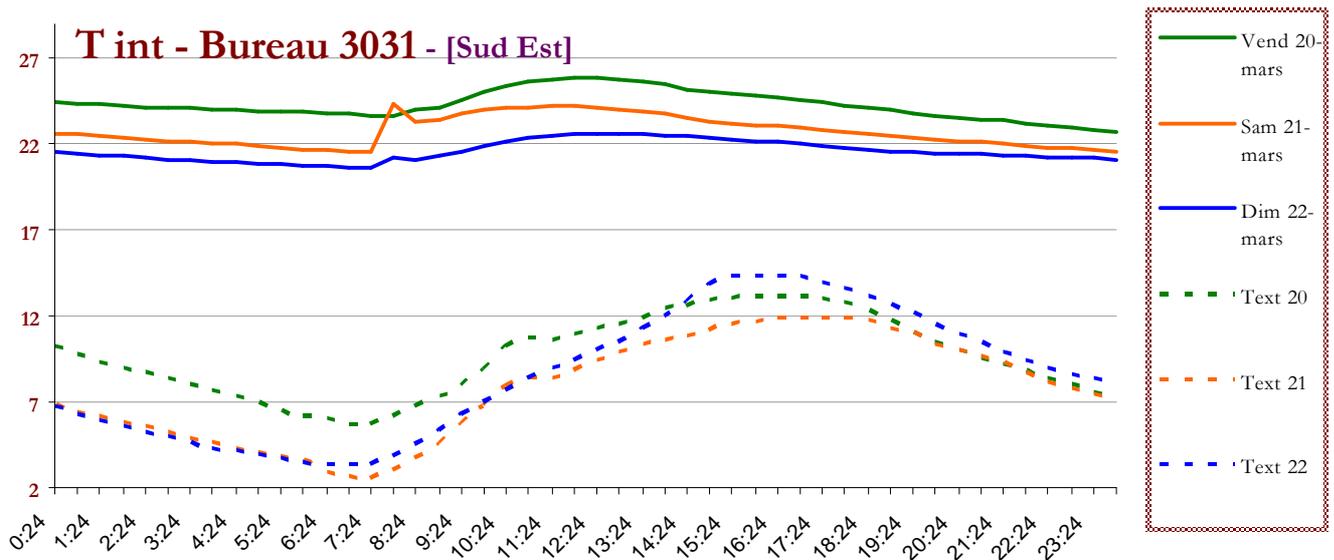
La température intérieure, pour les deux jours étudiés, dépasse continuellement les 19°C, voire même les 20°C, y compris la nuit, et dépasse très souvent les 24°C (dès la fin de matinée).

Ces phénomènes, et notamment l'écart entre l'intérieur et l'extérieur, montre l'évidence d'une incohérence de fonctionnement, probablement due à des problèmes de régulation.

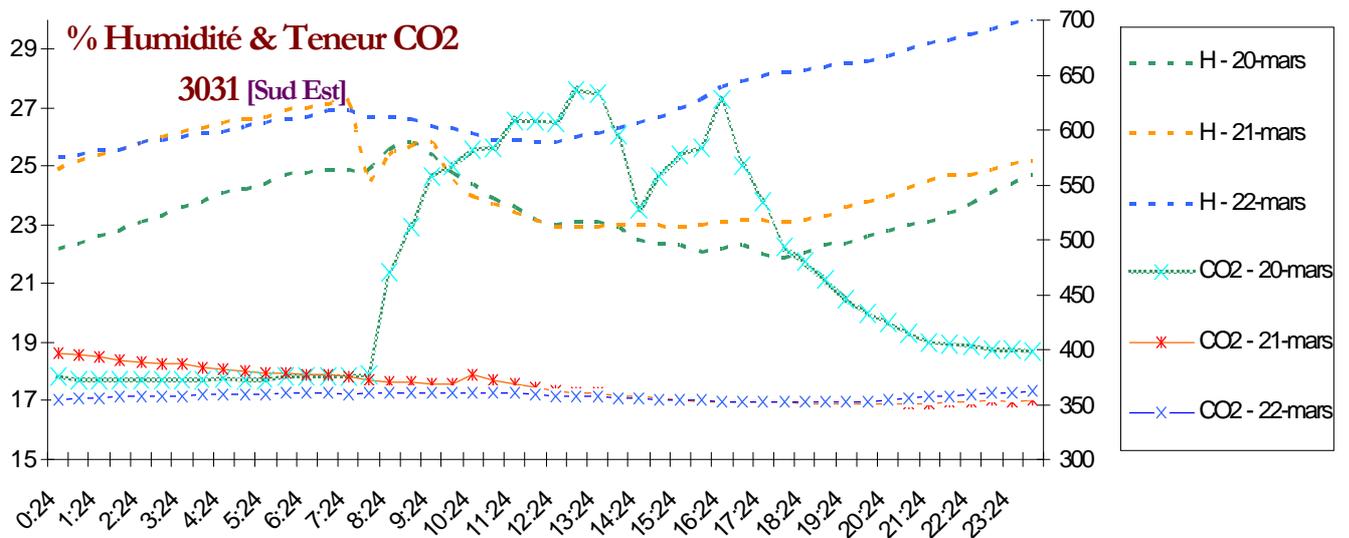
En effet, l'air chaud provenant du système de chauffage s'additionne aux apports externes, et ceci même lorsqu'il n'y a pas de besoin de chauffage.

Le niveau de température intérieure est alors beaucoup trop élevé, et provoque un inconfort évident.

3.5.4) Bureau 3031



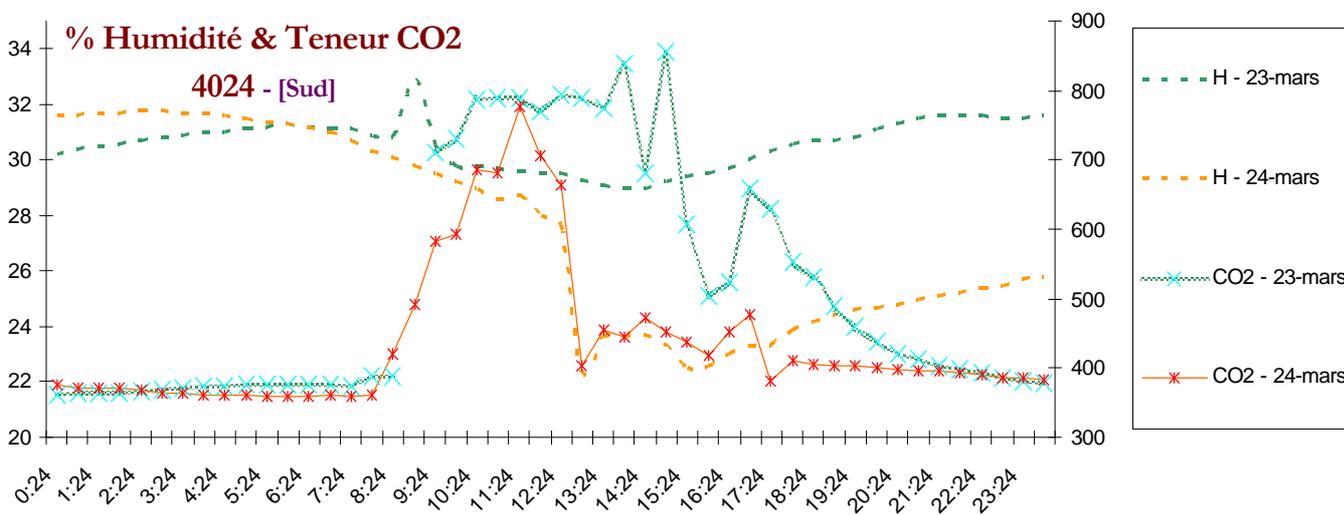
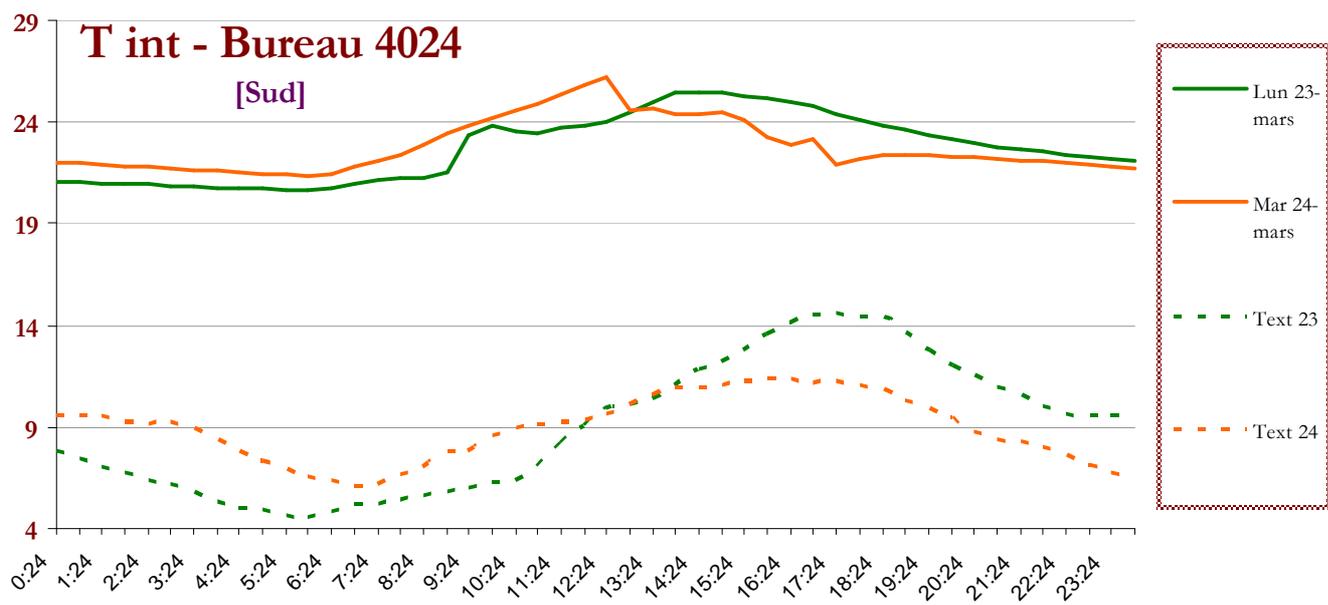
L'évolution des températures du bureau 3031 semble correcte sur chaque journée, y compris le week-end, ou la baisse de consigne semble être efficace. A noter, cependant que les températures restent dans l'ensemble trop élevées.



On remarque que le taux d'humidité est nettement plus important le vendredi, jour de travail, que le samedi, et le dimanche, jours de repos.

On note aussi que la teneur en CO2 est en mouvement le vendredi, dans les proportions correctes (400 à 600 ppm), alors que ce mouvement est inexistant le week-end.

3.5.5) Bureau 4024



Le bureau 4024 se situ plein Sud, au 3^{ème} étage.
 On peut noter l'effet sur la température intérieure du à la surchauffe par l'ensoleillement d'une part, et la forte teneur en CO2 sur quasi toute la journée d'autre part.

3.5.6) Débit d'air

Les mesures de débit d'air dans différents bureaux montrent une grande disparité des débits mesurés par rapport aux débits théoriques. La majorité des bureaux bénéficient d'un débit hygiénique suffisant, par contre les débits sont très souvent insuffisant au regard du principe de chauffage de base prévu à l'origine du projet. Ceci peut aussi expliquer les problèmes d'inconfort tant en hiver qu'en été, notamment pour la mise en chauffe du lundi matin.

N°Bureau	Nombre de personnes	Débit théorique hygiénique	Débit théorique chauffage	Débit mesuré	Observations
1065	2	50	100	35	Débit hygiénique insuffisant Débit de chauffage très insuffisant
2006	1	25	50	60	Débit soufflé supérieur au débit de chauffage
2043	2	50	100	36	Débit hygiénique insuffisant Débit de chauffage très insuffisant
3002	8	200	400	320	Débit de chauffage insuffisant
3016	3	75	150	106	Débit de chauffage insuffisant

Synthèse des différentes mesures de débit

4. OPTIMISATION DE L'ENVELOPPE

Dans l'objectif d'améliorer sensiblement les performances du bâti, nous avons modélisé plusieurs interventions sur l'enveloppe.

Nous avons fait varier les composition et/ou caractéristiques de certains isolants, ainsi que des menuiseries, en prenant compte de la faisabilité technique et technologique de ces mesures.

Ainsi, voici les trois interventions prévues :

- Toitures Terrasses :

D'un point de vue technique, la modification des toitures terrasses non végétalisées du bâtiment est facilement réalisable. De plus, la réfection de ces parties est d'ores et déjà prévue par le maître d'ouvrage.

La réfection des toitures terrasses « non végétalisées » comprend la pose d'un isolant de type '**Polystyrène Extrudé**' d'épaisseur 10 cm, apportant une performance de paroi : $U_p < 0,17 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.



Sur demande du maître d'ouvrage, nous avons remis une notice d'intervention sur les toitures, indiquant les préconisations de mise en œuvre pour l'obtention de parois performantes. Cette notice est disponible en Annexe 1.



- Planchers donnant sur le Parking

L'état actuel du matériaux d'isolation posé en sous face du plancher haut étant relativement mauvais, puis d'autre part, cette paroi étant aisément accessible, nous envisageons un changement complet de l'isolant actuel, par un matériau de type « Laine de Roche Coupe Feu ».

Considérant une conductivité thermique de $0,035 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$, nous prévoyons une épaisseur de matériau d'au moins 16 cm.

Cette exigence permet une performance de paroi ; $U_p < 0,20 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

- **Ouvrages : Vitrages & Portes**

La vétusté des menuiseries actuelles ne permet pas d'atteindre de hautes performances thermiques.



Nous avons envisagé une modification lourde des ouvertures, en voici la présentation :

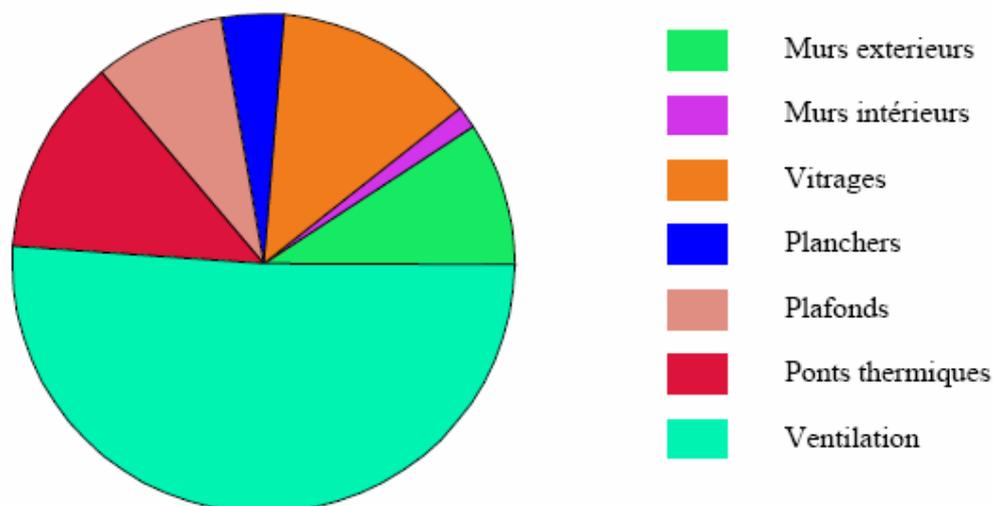
Nom	Longueur	Hauteur	Surface	Nombre	Surface totale [m ²]	Coefficient actuel Uw [W/m ² .°C]	Coefficient Amélioré Uw [W/m ² .°C]
Porte Fenêtre Triangulaire	1,10	2,65	2,92	176	513	4	1,4
Fenêtre Triangulaire	0,90	0,60	0,54	109	59	4	1,4
Fenêtre au Nu intérieur	1,00	1,00	1,00	145	145	4	1,4
Fenêtre au Nu extérieur	1,00	1,00	1,00	25	25	4	1,4
Fenêtre -3ième	0,80	1,00	0,80	30	24	4	1,4
Porte Vitrée	2,00	2,13	4,26	3	13	4,8	2
Porte Pleine Int	0,83	2,13	1,77	8	14	3,5	2,2
Porte Pleine Double	1,40	2,13	2,98	4	12	3,5	2,2
Panneaux Verre (Entrée)	0,98	3,50	3,43	10	34	4	2,1
Panneaux Verre (Toit)	2,00	1,00	2,00	33	66	4	2,1
Sky Dome	1,00	1,00	1,00	9	9	5	2

Le cas des Panneaux de verre va être particulièrement étudié, de manière à percevoir l'impact sur les consommations provoqué par leur modification.



Les résultats sur l'amélioration de l'enveloppe sont les suivants :

Type de Paroi	Surface	Déperditions
Murs extérieurs	2118,69 m ²	27041 W
Murs intérieurs	222,61 m ²	4100 W
Vitrages	914,05 m ²	37789 W
Planchers	3133,64 m ²	11716 W
Plafonds	3031,22 m ²	24603 W
Terre-Plein	0 m ²	0 W
Ponts thermiques	3219,17 m	37023 W
Complément		0
Ventilation		149152 W



Coefficient U du bâtiment :

- U_{bât} = 0,693 W/m².°C
- U_{bât ref} = 0,585 W/m².°C

Notons que les améliorations apportées sur le bâti ne permettent pas d'obtenir un coefficient U_{bât} inférieur au U_{bât} de référence.

En effet, nous ne sommes intervenu ni sur les murs extérieurs, ni sur les ponts thermiques.

	Actuel	Amélioré
U _{bât} [W/m ² .°C]	1,196	0,693
Déperditions [W]	382 223	291 424

➔ Soit un gain de 24 % environ sur les déperditions du bâtiment.

5. OPTIMISATION ENERGETIQUE PAR SCENARIOS D'AMELIORATION

Nous évoquons ici différentes combinaisons énergétiques envisageables, et comparerons leurs intérêts énergétiques, écologiques et économiques sur le long terme.

5.1 Démarche

L'objectif de cette optimisation est d'arriver à définir des compositions du bâtiment M de la DDEA permettant d'atteindre l'un des deux, ou les deux objectifs de performance énergétique suivants :

1- Objectifs du Grenelle de l'environnement :

- ➔ Réduction de 40% des consommations énergétiques du projet par rapport aux consommations initiales
- ➔ Réduction de 50% des émissions de Gaz à Effet de Serre

2- Objectifs de labellisation BBC-EFFINERGIE

- ➔ Réduction de 40% le Cep projet par rapport au Cep de référence

Dans un premier temps, nous avons amélioré le bâti par des changements d'ouvertures (fenêtres, portes fenêtres, portes, ...), une modification des matériaux en toitures terrasses et en sous plancher donnant sur le parking.

Dans ce chapitre, nous interviendrons sur les systèmes équipant le bâtiment, en proposant des solutions technologiques permettant d'apporter un progrès sensible sur les consommations énergétiques et sur les émissions de Gaz à Effet de Serre.

Ainsi, nous proposerons des « combinaisons énergétiques », rassemblant des interventions sur l'enveloppe et sur les systèmes, et permettant de répondre aux objectifs de performance énergétique recherchés.

Note sur les modifications de l'enveloppe :

Plusieurs modélisations sans intervention préalable sur le bâti montrent que ces modifications, tant sur les vitrages que sur les matériaux d'isolation, sont un passage nécessaire si l'on souhaite aboutir aux exigences de performances énergétiques du bâtiment.

Pour chaque cas de solution, une analyse énergétique réglementaire est menée sur logiciel Perrenoud (utilisation du « module U48 », relatif aux bâtiments existants). Ces solutions feront ensuite l'objet d'une analyse financière.

5.2 Rappel de la combinaison actuelle

Le bâtiment est aujourd'hui équipé comme suit :

- 2 chaudières à Gaz Naturel (dont l'une est à Condensation)
- CTA équipée d'un système de récupération des calories (Double Flux intégrée à la CTA)
- Emission de la chaleur par Air Pulsée, via les conduites connectée à la CTA
- 25 derniers % assurés par des convecteurs électriques
- Partiellement : Refroidissement par Groupe à Eau Glacée
- Partiellement : Climatisation par système PAC air/air à détente directe

Les résultats obtenus par le logiciel de calculs réglementaires sont :

Poste de consommation		Valeurs du Projet	Valeurs de Référence	Ecart %	
Chauffage :	Electrique kWh EF	65 339	58 015	-12,6	
	Gaz kWh EF	228 268	243 520	6,3	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	59,0	58,5	-0,9	
Refroidissement :	Electrique kWh EF	65 798	0	0	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	25,2	0		
Eclairage :	Electricité kWh EF	190 198	129 246	-47,2	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	72,9	49,6		
Auxiliaires :	Autres (électrique) kWh EF	5 944	3 571	-66,5	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	2,3	1,4		
	Ventilateurs (électrique) kWh EF	104 704	92 345	-13,4	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	40,2	35,4		
TOTAL : Cep issu des calculs réglementaires		kWh EP /m²	199,7	144,9	-37,9
Emission de GES		Kg éq CO₂/m².an	12		

5.3 Solution d'optimisation 1 – Vers le Grenelle de l'environnement

5.3.1) Solution d'optimisation (variante 1.1)

Les interventions modélisées en remplacement, ou en complément de l'état actuel sont :

- Changement des ouvertures, et des matériaux d'isolation, comme indiqué au chapitre 4.
- Remplacement de la CTA avec :
 - . Mise en place d'un échangeur Double Flux avec une efficacité de 55%
 - . Mise en place d'un By-pass échangeur pour fonctionnement en Free-cooling
 - . Optimisation de la puissance des ventilateurs (moteur à régulation de vitesse en fonction des pertes de charges du réseau).
- Modification du système de régulation, tant pour le chauffage que pour le refroidissement
 - . Extension de la GTC à la production de chaud et de froid
 - . Optimisation des consignes de production de chaleur et de production de froid
 - . Optimisation des consignes de chauffage et de refroidissement
 - . Optimisation des courbes de températures et de la zone neutre chaud/froid
 - . Optimisation de la gestion horaire occupation/inoccupation avec abaissement de consignes quotidien et hebdomadaire, et arrêt total de la ventilation uniquement en intersaison.
- Amélioration des systèmes d'éclairage (puissance installée de 12W/m² avec interrupteurs détection de présence)

L'amélioration de l'éclairage par des dispositifs plus performants comprend un remplacement des tubes fluorescent et des luminaires, couplés par des systèmes d'ouverture et fermeture automatique (détecteurs de présence) dans les bureaux et les pièces à occupation passagère.

Les résultats obtenus par le logiciel de calculs réglementaires sont :

Poste de consommation			Valeurs du Projet	Valeurs de Référence	Ecart %
Chauffage :	Electrique	kWh EF	21622	46 856	53,8
	Gaz	kWh EF	129 028	261 172	50,6
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	27,5	56,8	51,6
Refroidissement :	Electrique	kWh EF	33617	0	0
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	12,9	0	
Eclairage :	Electricité	kWh EF	98 621	129 246	23,7
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	37,8	49,6	
Auxiliaires :	Autres (électrique)	kWh EF	5 972	3 734	-59,9
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	2,3	1,43	
	Ventilateurs (électrique)	kWh EF	95 395	95 345	-3,3
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	36,6	35,4	
TOTAL : Cep issu des calculs réglementaires		kWh EP /m ²	117,1	143,3	18,3
Emission de GES		Kg éq CO ₂ /m ² .an	6		

Cette solution permet de répondre à l'objectif initial du maître d'ouvrage, puisqu'en effet :

- la consommation est de 41,4 % moins importante que les consommations de l'état initial
- les émissions de Gaz à Effet de Serre sont de 50% inférieure aux émissions de l'état initial

➤ Cette solution satisfait les exigences du Grenelle de l'environnement.

5.3.2) Solution d'optimisation (variante 1.2)

Seul changement par rapport à la solution 1.1 :

- Conservation de l'état initial des Panneaux de verre situés dans le Hall d'entrée

Les résultats obtenus par le logiciel de calculs réglementaires sont :

Poste de consommation		Valeurs du Projet	Valeurs de Référence	Ecart %	
Chauffage :	Electrique kWh EF	21 924	46 864	53,2	
	Gaz kWh EF	130 314	261 153	50,1	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	27,8	56,8	51,1	
Refroidissement :	Electrique kWh EF	33 213	0	0	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	12,7	0		
Eclairage :	Electricité kWh EF	98 621	129 246	23,7	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	37,8	49,6		
Auxiliaires :	Autres (électrique) kWh EF	5 899	3 733	-57,9	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	2,3	1,4		
	Ventilateurs (électrique) kWh EF	95 274	92 345	-3,2	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	36,6	35,4		
TOTAL : Cep issu des calculs réglementaires		kWh EP /m²	117,2	143,3	18,2
Emission de GES		Kg éq CO2/m².an	7		

Par rapport à la solution précédente, le coefficient Cep reste presque identique. Ceci est dû au fait que seul le poste de chauffage ait significativement changé.

En effet, l'étude montre une augmentation des consommations de 1 185 kWh, uniquement due à la conservation des murs rideaux dans le hall du rez-de-chaussée.

Cette variante, moins contraignante techniquement que la solution 1.1, provoque une hausse des consommations de chauffage, ainsi que des émissions de gaz à effet de serre.

- Cette solution ne satisfait pas les exigences du Grenelle de l'environnement.

5.3.3) Solution d'optimisation (variante 1.3)

Seul changement par rapport à la solution 1.1 :

- Intervention sur l'ensemble des toitures végétales

Cette variante propose une intervention sur les toitures végétalisées, et impose donc la contrainte de modifier l'ensemble des toitures terrasses.

Les résultats obtenus par le logiciel de calculs réglementaires sont :

Poste de consommation			Valeurs du Projet	Valeurs de Référence	Ecart %
Chauffage :	Electrique	kWh EF	20 584	46 856	56,1
	Gaz	kWh EF	124 698	261 172	52,3
	Rapporté à la surface		kWh EP /m ²	26,4	56,8
Refroidissement :	Electrique	kWh EF	31 669	0	0
	Rapporté à la surface		kWh EP /m ²	12,2	
Eclairage :	Electricité	kWh EF	98 621	129 246	23,7
	Rapporté à la surface		kWh EP /m ²	37,8	
Auxiliaires :	Autres (électrique)	kWh EF	5 729	3 734	-53,4
	Rapporté à la surface		kWh EP /m ²	2,2	
	Ventilateurs (électrique)	kWh EF	95 063	92 345	-2,9
	Rapporté à la surface		kWh EP /m ²	36,5	
TOTAL : Cep issu des calculs réglementaires		kWh EP /m ²	115,1	143,3	19,7
Emission de GES		Kg éq CO ₂ /m ² .an	6		

Les performances thermiques sont donc améliorées par rapport à la solution 1.1.

- Cette solution satisfait les exigences du Grenelle de l'environnement.

5.4 Solution d'optimisation 2 – Vers une labellisation BBC

Les recommandations d'interventions dans cette solution sont largement plus drastiques.

Les interventions modélisées sont :

- Toitures terrasses dont toitures végétales, plancher sur parking, et Ouvertures améliorées
- Isolation performante en Murs Extérieurs, avec Ruptures des ponts thermiques
- Système de chauffage entièrement refait (réseau radiateurs eau sur chaudières Gaz actuelles, et pas de convecteurs électriques),
- Ventilation Double Flux pour le bâtiment avec efficacité de l'échangeur à 55%,
- Amélioration des systèmes de refroidissement et de climatisation,
- Pose de 150 m² de Panneaux photovoltaïques Monocristallin,
- Eclairage optimisé (*identiquement à solution 1.1*)

Les résultats obtenus par le logiciel de calculs réglementaires sont :

Poste de consommation		Valeurs du Projet	Valeurs de Référence	Ecart %	
Chauffage :	Electrique kWh EF	0	0	0	
	Gaz kWh EF	53 980	182 229	70,38	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	8,03	27,1	70,38	
Refroidissement :	Electrique kWh EF	13 943	0	0	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	5,35	0		
Eclairage :	Electricité kWh EF	98 621	129 246	23,70	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	37,84	49,58		
Auxiliaires :	Autres (électrique) kWh EF	3 913	1 873	-108,94	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	1,5	0,72		
	Ventilateurs (électrique) kWh EF	20 258	29 778	31,97	
	Rapporté à la surface kWh EP /m ²	7,77	11,42		
TOTAL : Cep issu des calculs réglementaires		kWh EP /m²	53,0	88,82	40,33
Emission de GES		Kg éq CO2/m².an	3		

Cette combinaison permet de répondre aux exigences du label BBC en bureaux. En effet, le coefficient Cep du bâtiment projeté est de plus de 40 % inférieur au Cep de référence.

En outre, le U_{bât} est ici amélioré, et est en dessous de la référence : U_{bât} projet = 0,414 W/m².°C

Ce cas d'intervention est évidemment très coûteux, puisqu'il s'agit d'intervenir sur la totalité du bâti, ainsi que sur les systèmes énergétiques.

➤ Cette solution permet de répondre aux exigences du label BBC.

Solution BBC subsidiaire

De manière à ouvrir le panel des possibilités, nous avons recherché une seconde solution répondant aux objectifs de labellisation BBC, mais ne nécessitant pas d'intervention lourde sur le Bâti.

Dans cette optique, nous avons conservé la solution d'optimisation présentée précédemment (solution 2), en supprimant l'intervention sur les murs extérieurs et les ponts thermiques, et en ajoutant une surface de panneaux solaires photovoltaïques suffisante.

Dans ces conditions, et pour répondre à l'objectif « Cep projet < 40 % Cep réf », il est nécessaire de poser 340 m² de panneaux photovoltaïques.

➤ Cette solution permet de répondre aux exigences du label BBC.

5.5 Solution d'optimisation 3 – Intermédiaire

5.5.1) Solution d'optimisation 3 – variante 3.1

De manière à proposer une combinaison économiquement plus accessible, nous présentons des interventions de moindre coûts, mais apportant une diminution sensible des consommations en énergie.

Seul changement par rapport à la solution 1.1 :

- Annulation des modifications sur les parois vitrées

Voici les résultats de cette combinaison :

Poste de consommation			Valeurs du Projet	Valeurs de Référence	Ecart %
Chauffage :	Electrique	kWh EF	32 984	46 078	28,4
	Gaz	kWh EF	178 091	257 266	30,8
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	39,1	55,9	30,0
Refroidissement :	Electrique	kWh EF	28 277	0	0
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	10,9	0	
Eclairage :	Electricité	kWh EF	98 621	129 246	23,7
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	37,8	49,6	
Auxiliaires :	Autres (électrique)	kWh EF	5 669	3 698	-53,3
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	2,2	1,4	
	Ventilateurs (électrique)	kWh EF	94 699	92 345	-2,6
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	36,3	35,4	
TOTAL : Cep issu des calculs réglementaires		kWh EP /m ²	129,3	142,4	11,3
Emission de GES		Kg éq CO ₂ /m ² .an	8		

Ceci permet d'éviter le coût d'investissement lourd du aux changements de vitrages, des portes et des panneaux de verre.

➤ Cette solution ne satisfait aucun des objectifs initialement souhaités.

5.5.2) Solution d'optimisation 3 – variante 3.2

Seul changement par rapport à la solution 1.1 :

- Annulation des modifications des systèmes d'éclairage

Voici les résultats de cette combinaison :

Poste de consommation			Valeurs du Projet	Valeurs de Référence	Ecart %
Chauffage :	Electrique	kWh EF	18 256	46 856	61,0
	Gaz	kWh EF	112 099	261 172	57,1
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	23,7	56,8	56,8
Refroidissement :	Electrique	kWh EF	39 358	0	0
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	15,1	0	
Eclairage :	Electricité	kWh EF	190 198	129 246	-47,2
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	72,9	49,6	
Auxiliaires :	Autres (électrique)	kWh EF	6 880	3 734	-84,3
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	2,6	1,4	
	Ventilateurs (électrique)	kWh EF	96 847	92 345	-4,9
	Rapporté à la surface	kWh EP /m ²	37,25	35,4	
TOTAL : Cep issu des calculs réglementaires		kWh EP /m ²	151,5	143,3	-5,8
Emission de GES		Kg éq CO ₂ /m ² .an	6		

Cette solution permet d'économiser plus de 90 000 kWh par an et ainsi de réaliser des économies de 7500 €/an au tarif EDF actuel.

Même si l'investissement n'apparaît pas comme rentable économiquement, le Cep diminue de 22.5% essentiellement grâce à l'éclairage, et permet donc de se conformer aux exigences du Grenelle.

Ce choix permet de réduire les coûts d'investissement, mais diminue significativement les performances énergétiques du bâtiment.

- Cette solution ne satisfait aucun des objectifs initialement souhaités.

5.6 Récapitulatif des solutions

Bâtiment M – DDEA Angers					
Combinaison	Cep [kWh/m ² .an]	Gain par rapport au Cep initial	GES [kg _{eq} CO ₂ /an]		Gain par rapport au Cep de référence
N°0 (actuel)	200	0	12		- 38 %
N°1.1 (grenelle...)	117	- 41,3 %	6	-50 %	-18,3 %
N°1.2 (sans panneaux verre)	117	- 41,2%	7	-41%	-18,2%
N°1.3 (toitures végétales)	115	-42,6%	6	-50%	-19,7%
N°2.1 (BBC enveloppe)	53	- 69,7 %	3	- 75 %	- 40,3 %
N°2.2 (BBC photovoltaïque)	53	-65,6%	5	- 58 %	- 40,1 %
N°3.1 (Intermédiaire)	126	- 37 %	8	- 33 %	- 11 %
N°3.2 (n°1 sans éclairage)	151	-24.5%	6	-50 %	+ 5.6%

Les solutions n°1.1 et n°1.3 répondent aux objectifs du Grenelle de l'environnement.

Les solutions n°2.1 et n°2.2 répondent aux objectifs du Label BBC Effinergie.

Les solutions n°3.1 et n°3.2 ne répondent à aucun objectif de performance énergétique.

6. ANALYSE ECONOMIQUE ET COMPARATIF FINANCIER

6.1 Démarche

Les combinaisons énergétiques présentées précédemment sont techniquement et technologiquement envisageables, mais peuvent nécessiter des efforts financiers et opérationnels très lourds.

En l'occurrence, considérant les coûts colossaux dus aux solutions permettant la labellisation BBC, nous n'étudierons pas les évolutions financières de ces solutions.

Néanmoins, et dans le but de garder un certain réalisme, nous allons étudier la solution d'optimisation répondant aux exigences du Grenelle de l'environnement, soit la combinaison 1.

Dans cet objectif, nous devons établir l'ensemble des différents coûts incombant à chaque solution. C'est-à-dire que nous devons estimer :

- les coûts d'investissement des matériaux, et/ou des travaux sur l'enveloppe,
- les coûts d'investissement des systèmes & équipements énergétiques,
- le prix du ou des combustibles (s) utilisé (s),
- les abonnements,
- les coûts de maintenance

Ces estimations nous permettront de connaître les coûts de fonctionnement de notre combinaison, puis le coût d'exploitation prenant compte des coûts annuels d'entretien et de maintenance.

Ensuite, les coûts d'investissement nous permettront d'obtenir les coûts globaux.

Sur demande du maître d'ouvrage, à l'aide de ces différentes estimations, et en prenant compte d'un coefficient de hausse du prix de chaque énergie, nous calculerons les évolutions économiques de cette combinaison en la comparant à l'état actuel, sur le long terme en « **Coût Global Actualisé** », et obtiendrons ainsi les éventuels seuils de rentabilité de la solution d'optimisation.

L'actualisation est une méthode permettant de comparer des sommes reçues ou versées à des époques différentes. Ainsi, avec un taux d'actualisation [a], un euro payé en l'année « 2009 + n » aura une valeur actualisée en 2009 de :

$$\text{€}_{2009} = \text{€}_{2009+n} \times \frac{1}{(1+a)^n}$$

Cette méthode sert à comparer entre eux les investissements. Un taux d'actualisation de 4% (a=1,04) sera pris sur demande du maître d'ouvrage.

6.2 Estimation des Coûts d'investissement

Voici une estimation des différents coûts d'investissements [€ HT] pris en compte dans l'étude :

Ouvertures : Dépose des fenêtres, portes-fenêtres, portes, panneaux de verre et skydome actuels. Remplacement par des ouvertures performantes	486 400 €
Dépose & Remplacement des panneaux de verre	250 000 €
Toitures Terrasses (non végétales) : Dépose des matériaux d'isolation actuels, et remplacement par mise en place de l'isolation type « polystyrène extrudé »	219 900 €
Toitures Terrasses - non végétales et végétales : Dépose des matériaux et remplacement par mise en place de l'isolation type « polystyrène extrudé »	455 000 €
Plancher sur Parking : dépose de l'isolant actuel, et remplacement par un isolant performant	92 000 €
Système de Ventilation Double Flux : efficacité de l'échangeur = 55%	20 000 €
Régulation des systèmes : Installation d'appareillage de régulation améliorant la gestion et le fonctionnement des systèmes énergétiques	15 000 €
Eclairage : Amélioration et optimisation des luminaires sur l'ensemble de l'établissement (<i>surcoût issu de cette solution</i>)	200 000 €

En se référant à l'Arrêté du 3 mai 2007 (voir paragraphe 2.3), la limite des coûts d'investissement pour l'application de l'Arrêté du 13 juin 2008 est d'environ :

$$25\% \times 1\,100\,000\,€ \times 6\,725\,m^2 = 1\,849\,000\,€\,HT$$

Dans le cas d'un dépassement de ce seuil, la mise en œuvre des solutions d'amélioration proposées exigerait de prendre en compte les dispositions de l'Arrêté du 3 mai 2007 (Cf. p8).

Il serait alors impératif de respecter la réglementation RT 2005 « globale » et non « par éléments », ce qui aurait pour incidence de respecter l'ensemble des valeurs de référence et des « garde fou » à partir du logiciel de calcul réglementaire. Un tel passage impliquerait par exemple d'intervenir lourdement sur les murs extérieurs (isolation supplémentaire), les planchers sur terre-plein (difficile en rénovation), et aboutirait alors à un surinvestissement conséquent.

Or, au regard de nos estimations financières, et hormis les solutions 2.1 et 2.2 répondant aux exigences du label BBC non estimées dans notre étude, il apparaît que ce montant n'est atteint par aucune autre solution d'amélioration proposée :

Combinaison	Coûts d'Investissement estimé
N° 1.1 – grenelle...	1 280 000 € HT
N° 1.2 - sans panneaux de verre	1 030 300 € HT
N° 1.3 - avec toitures végétales	1 518 800 € HT
N° 3.1 - Intermédiaire	543 900 € HT
N° 3.2 - n°1 sans éclairage	1 080 300 € HT

6.3 Tarifs des énergies & Taux de hausse annuelle

Nous utilisons les prix de l'énergie hors taxes suivants:

Source d'énergie	Prix moyen [€/kWh final]	Abonnements [€/an]
Gaz Naturel – Tarif B2S (source DGEMP – Août 2008)	0,0434 € HT/kWh	860 €/an
Gaz Naturel – Tarif B2I (source DGEMP – Août 2008)	0,0487 € HT/kWh	187 €/an
Electricité – Tarif Vert (Source : factures 2008 de la DDEA Angers)	0,0663 € HT/kWh	890 €/an

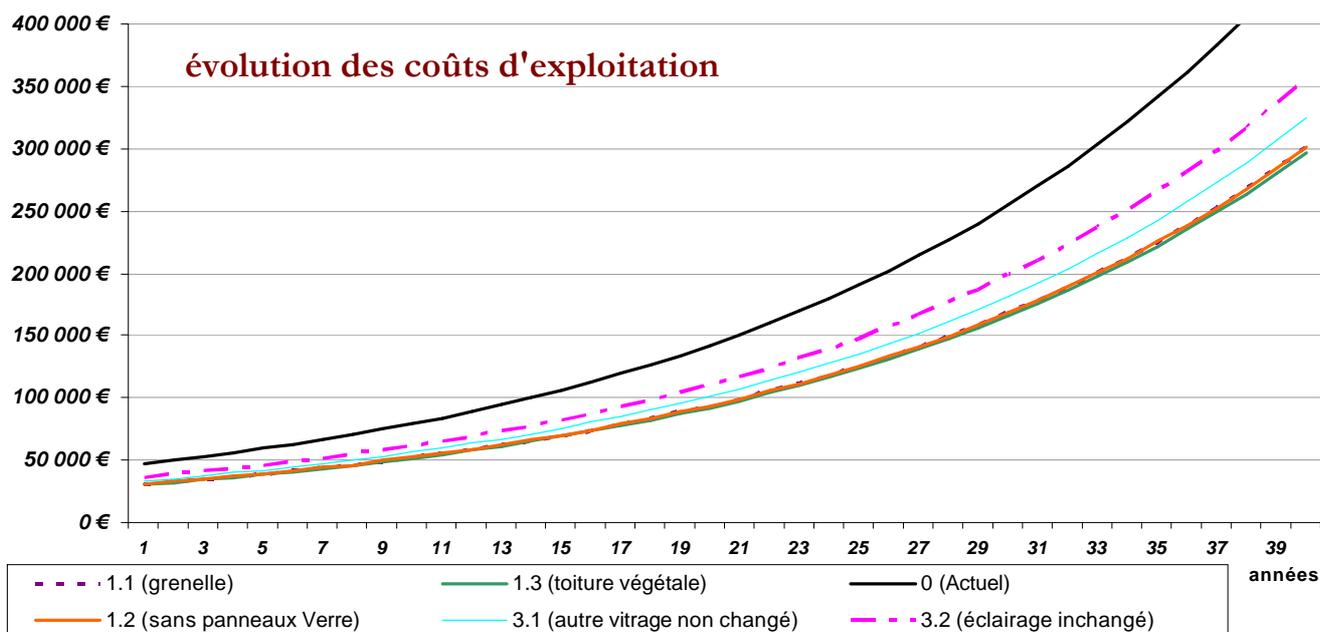
Tarifs des énergies Hors Taxes

Afin d'évaluer à long terme l'intérêt de chaque combinaison, nous intégrons une hausse annuelle des prix de l'énergie de 6%.

Sur demande du maître d'ouvrage, nous réaliserons aussi un calcul du Coût Global Actualisé, en prenant compte d'un taux d'actualisation de 4%, puis d'une hausse du coût de l'énergie de 3%, puis 6%, puis 9%.

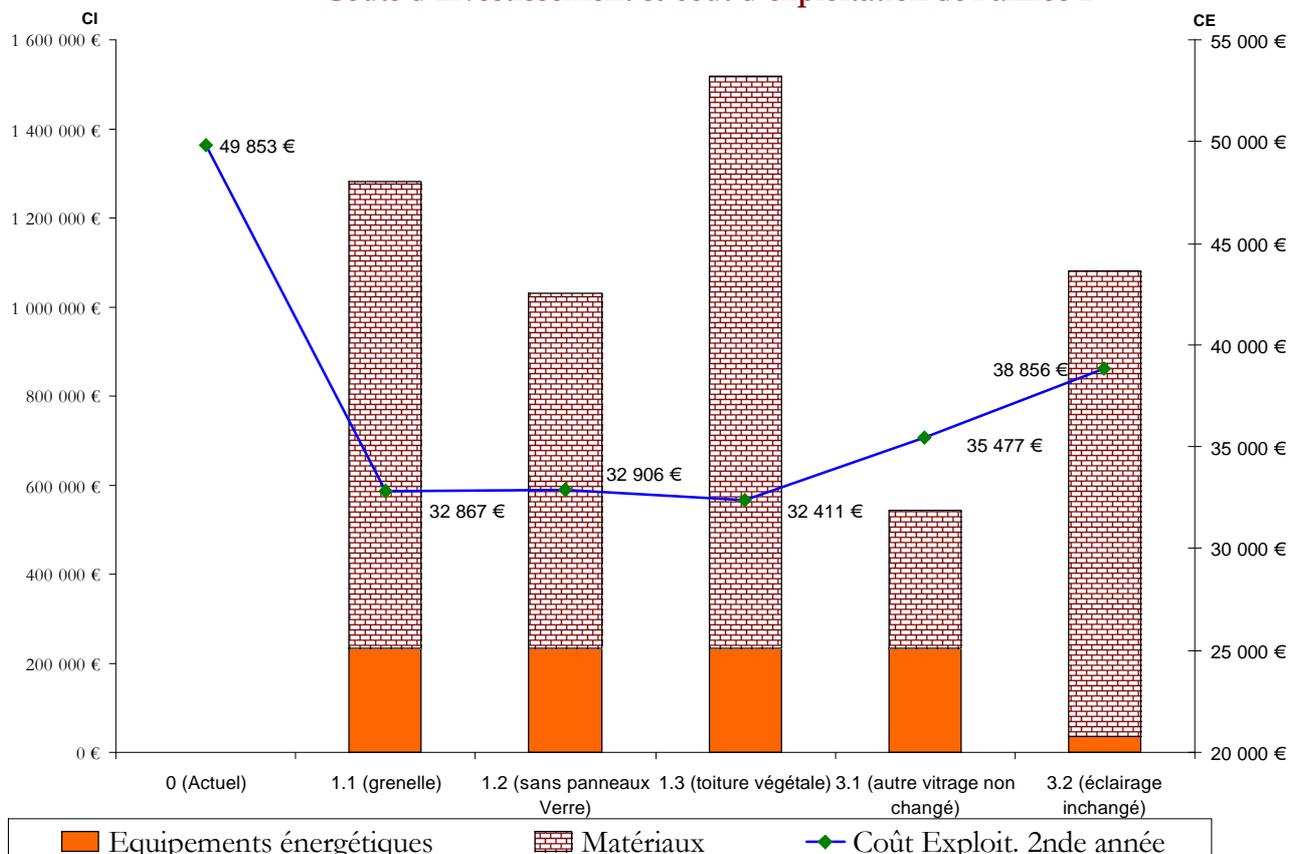
6.4 Bilan Financier de quelques combinaisons

Le graphique suivant présente l'évolution des coûts d'exploitation à long terme des cinq combinaisons retenues dans l'étude financière :

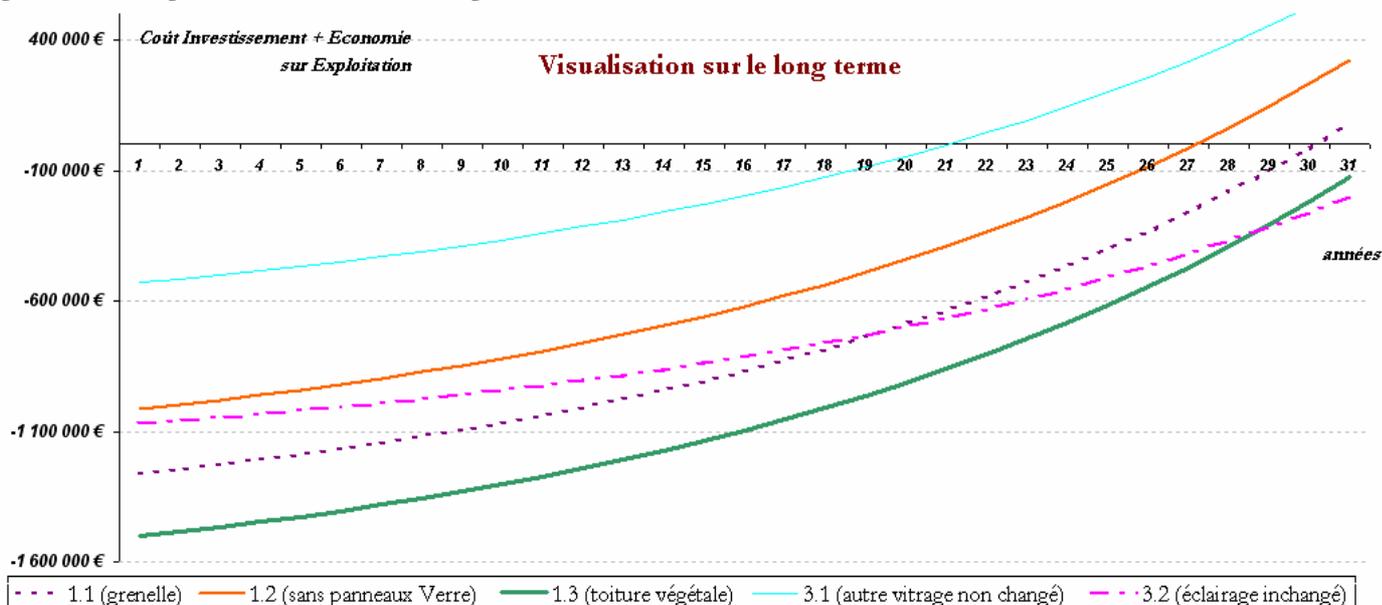


Le tableau suivant présente, pour les 5 solutions d'optimisation retenues dans l'étude financière, les coûts d'exploitation et les coûts d'investissement, puis le cumul de ces coûts permettant d'estimer le montant global de l'opération après deux années :

Coûts d'investissement & coût d'exploitation de l'année 2



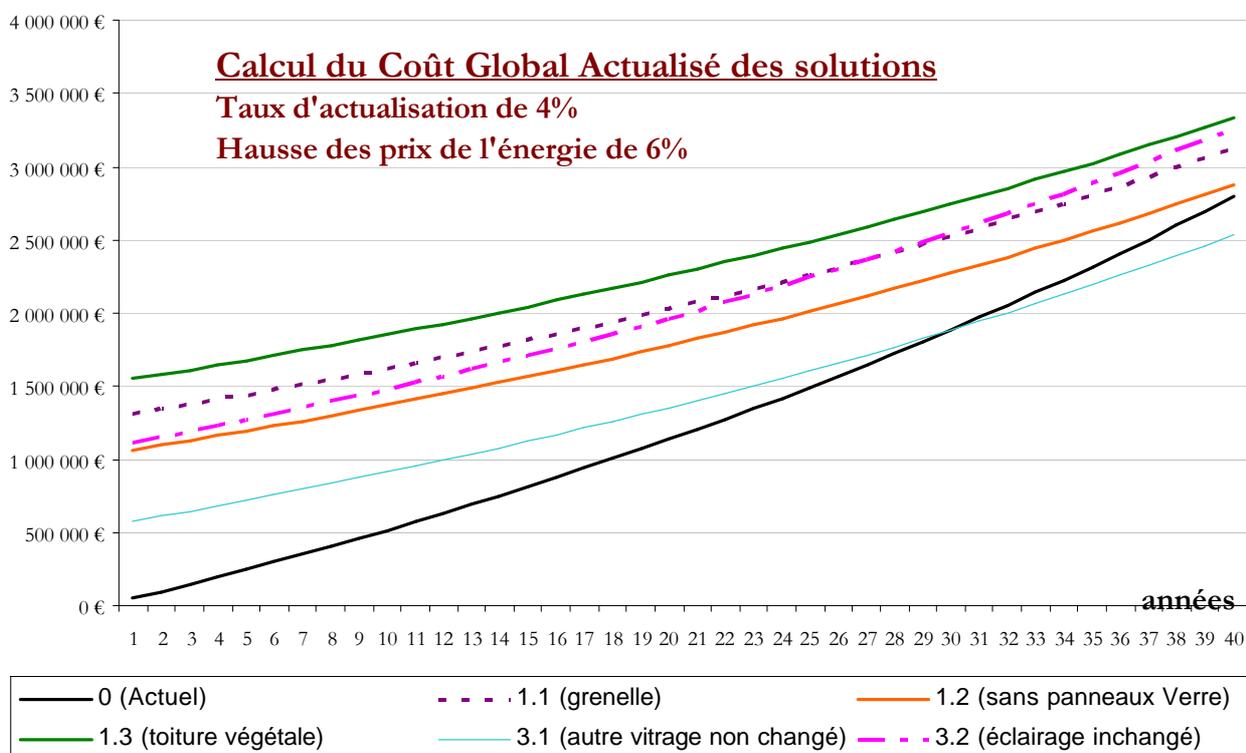
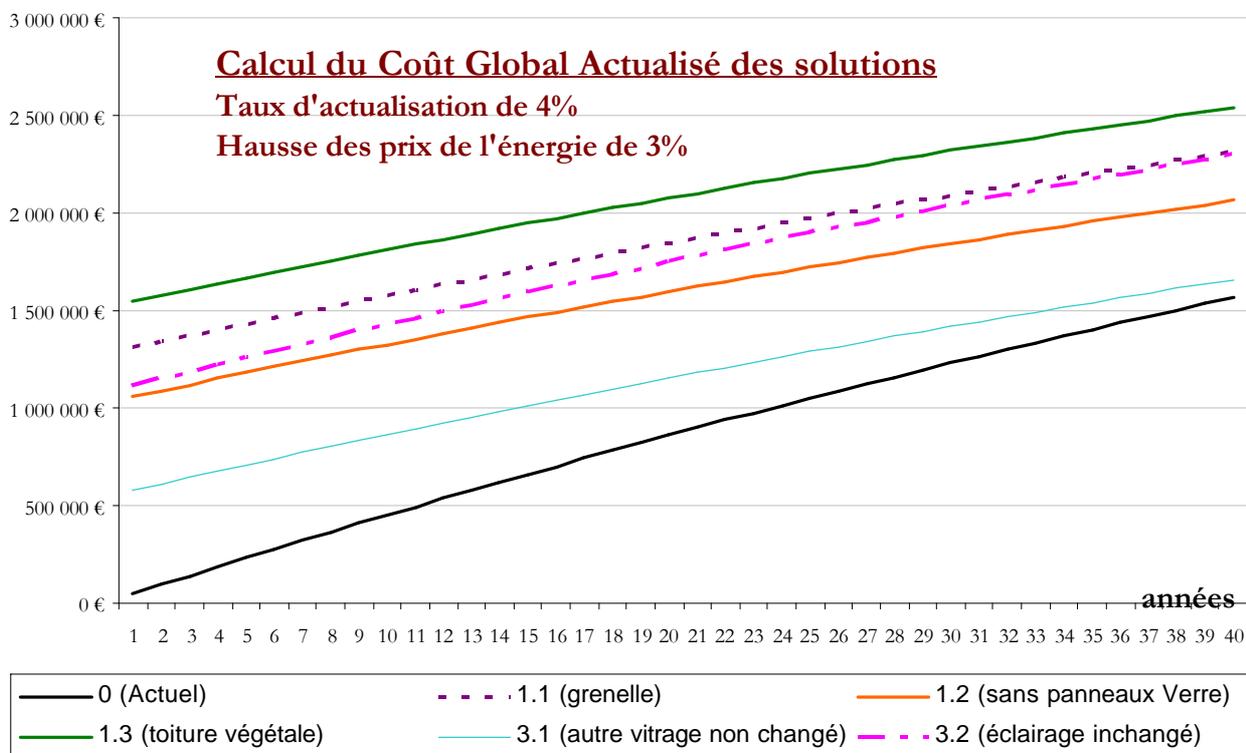
Le graphique suivant permet de visualiser les évolutions des coûts cumulés sur 40 années d'utilisation et présente une première version de temps de retour sur investissement :

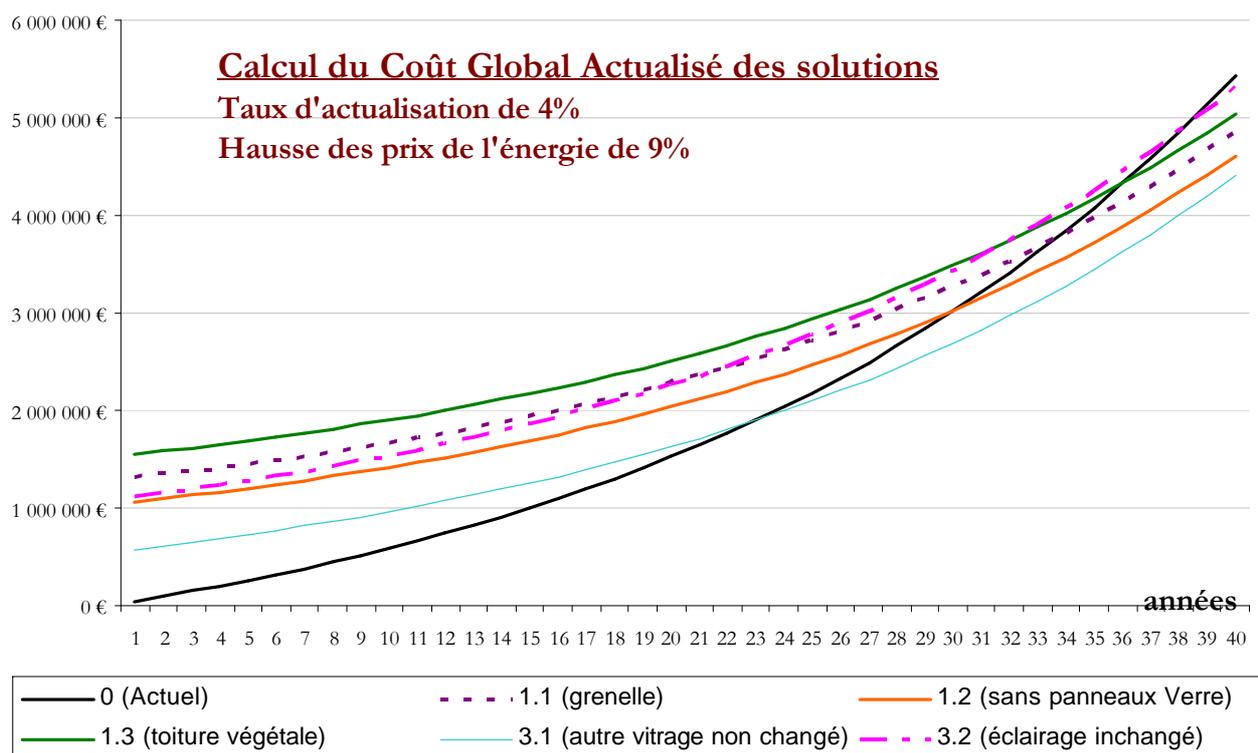


Le temps de retour de la solution 1.1 serait de moins de 30 années, alors que celui de la solution d'optimisation intermédiaire d'environ 20 ans.

6.5 Calcul en Coût Global Actualisé

Les graphiques suivants présentent les résultats des calculs sur le long terme en Coût Global Actualisé, pour différents scénarios de hausse du prix de l'énergie.





On s'aperçoit alors que le seul scénario de hausse du prix de l'énergie permettant un retour sur investissement, selon ce calcul par Coût Global Actualisé, est celui avec une hausse des prix de l'énergie de 9%.

Dans ces conditions, l'investissement de la solution répondant aux objectifs du Grenelle de l'environnement serait amorti en 32 ans environ.

En revanche, la solution d'optimisation intermédiaire offre un temps de retour de 22 ans dans le cas d'une hausse du prix de l'énergie de 9%.

7. NOTICE SUR LA MISE EN ŒUVRE DE PROTECTIONS SOLAIRES

Sur demande du maître d'ouvrage, voici une notice d'information sur les protections solaires, présentant notamment quelques solutions permettant d'accroître le confort intérieur des occupants lors des périodes fortement ensoleillée.

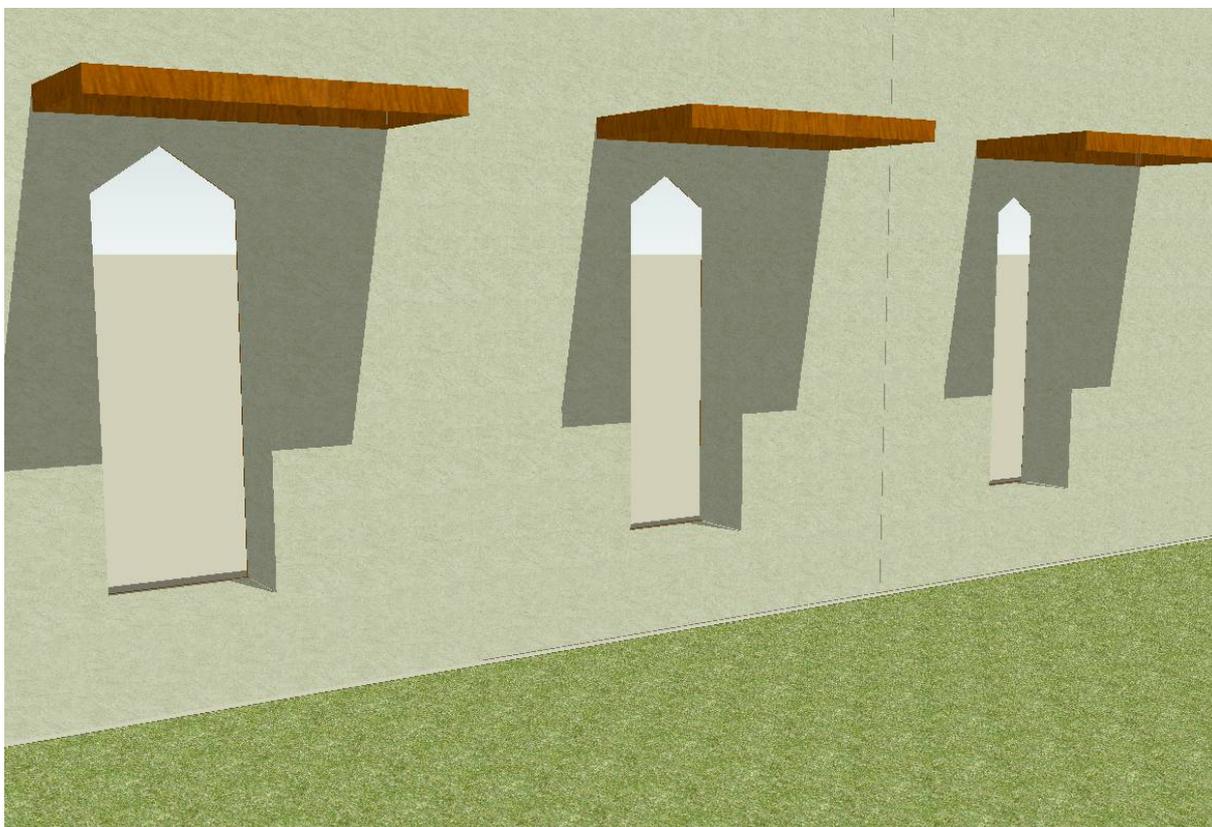
Les choix de protection estivale peuvent être différents en fonction de l'orientation des bâtiments.

Proposition 1 :

Pour un bâtiment plutôt orienté vers le sud, les « casquettes solaires » laissent passer le rayonnement solaire en hiver, et le bloquent en été.

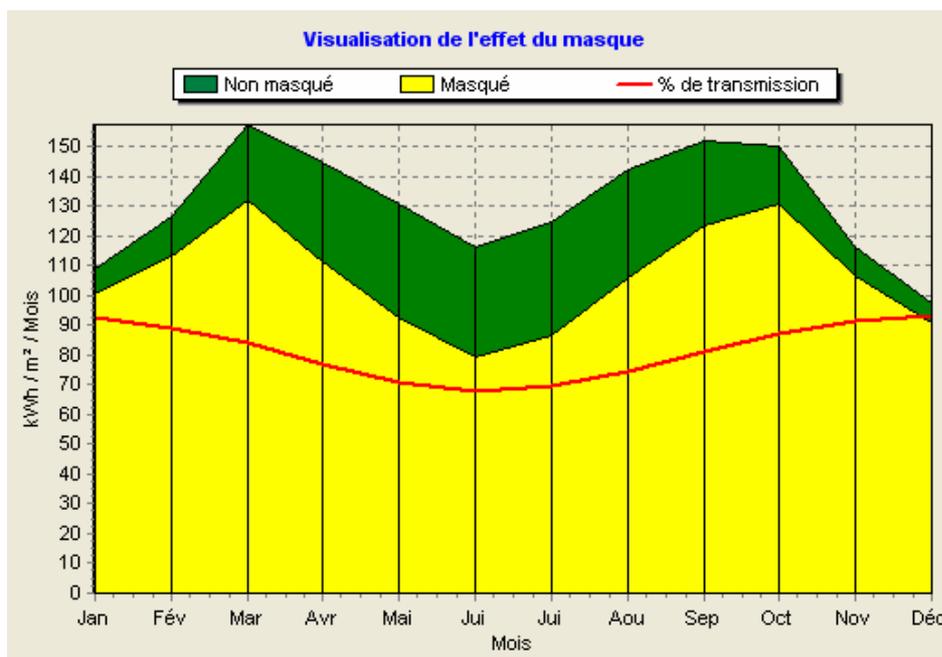
Considérant le bâtiment étudié, ce procédé pourrait être intégré directement sur les murs existant au rez-de-chaussée, comme illustré ci-dessous (notons que l'intervention s'avère plus compliquée pour les fenêtres des étages).

Cette image a été réalisée sous le logiciel de dessin « Sketch'up ».



Casquettes solaires d'environ 1.5m de longueur

Le graphique ci-dessous montre les performances d'une telle mise en œuvre pour les fenêtres du bâtiment M de la DDEA exposées plein sud (casquette de 80cm de longueur à 10cm au dessus des fenêtres) :



On note que le pourcentage de transmission solaire reste supérieur à 80 % de septembre à avril, puis descend à 68% pendant lors des périodes caniculaires.

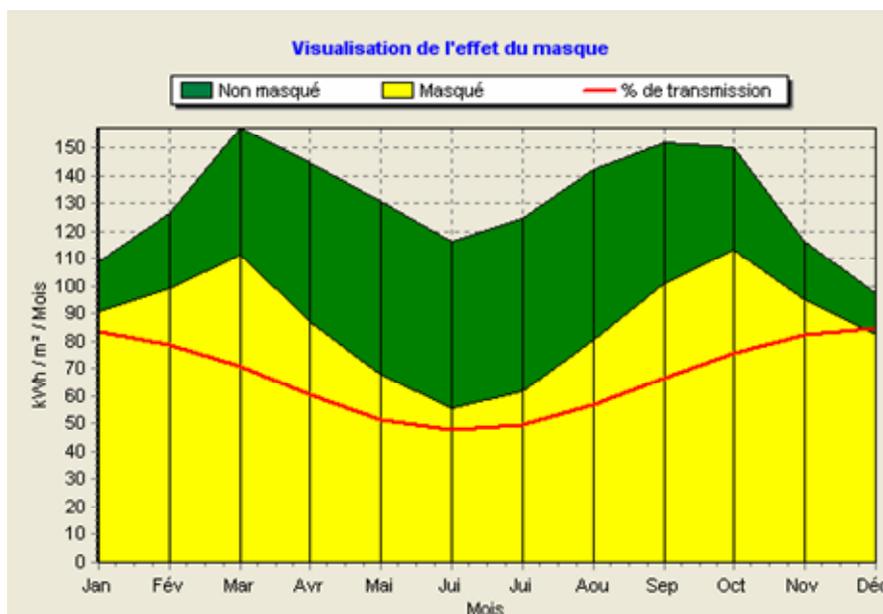
Ce résultat paraît peu satisfaisant, notamment parce que la hauteur des fenêtres est importante (soit 2,65 m), et nécessite alors une longueur de casquette plus importante.

Proposition 2 :

Une seconde proposition de protection consisterait à intégrer des lamelles horizontales à l'extérieur. Il s'agit là de protection « fixes ».

Le principe est le même que pour les casquettes, mais les protections sont moins longues et homogènes tout le long des fenêtres.

Les résultats de simulation pour le même type de fenêtre sont modélisés ci-dessous. Des lamelles horizontales de 7cm de longueur sont espacées de 15cm.



Les coefficients de transmission sont inférieurs à 50% en été, mais on perd une partie importante des apports solaires en hiver.

Il est alors envisageable d'intervenir manuellement, afin de remonter les stores lorsque l'ombrage n'est pas nécessaire.

Notons qu'il y aurait également une difficulté d'installation de ces stores du fait de la forme triangulaire du haut des fenêtres.

Proposition 3 :

Une dernière solution peut être la mise en place de stores à lamelles inclinables, permettant d'adapter l'opacité en fonction du confort de l'utilisateur, comme illustré ci-dessous :



8. NOTE SUR L'EXPLOITATION ET LA MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

Cette note a pour objectif de décrire et commenter succinctement le fonctionnement de l'installation, et de proposer des solutions d'amélioration sur l'exploitation de l'installation énergétique.

Le bâtiment a originellement été conçu avec un fonctionnement précis :

- ➔ Chaudière à condensation pour la production de chaleur
- ➔ Chauffage de base par air associé au renouvellement d'air hygiénique
- ➔ Appoint par convecteurs électriques,
- ➔ Refroidissement par groupe d'eau glacée afin d'assurer le confort des occupants toute l'année, tout en assurant le froid nécessaire au fonctionnement des matériels sensibles.

Néanmoins, l'exploitation au fil des années a perdu la philosophie initiale de cette installation. Ceci, certainement pour de multiples raisons, telles que la perte au fil du temps de la connaissance du projet initial, des réponses ponctuelles aux problèmes d'inconforts, ou autres cas ayant pu entraîner une intervention sur l'installation...

Voici une liste non exhaustive des dysfonctionnements constatés à partir des différents relevés effectués et de constatations visuelles.

Production de chaleur :

La production de chaleur fonctionne actuellement sur les aquastats de chaudière réglés à 75°C, avec un retour d'eau à environ 55°C.

A cette température, on peut considérer que la condensation est quasiment nulle. Or, le régime d'eau devrait être rétabli au niveau prévu dans le projet. C'est-à-dire avec un départ à 45° pour un retour à 40°C environ.

Dans ces conditions, le rendement théorique des chaudières pourrait passer de 93 à 105%.

A noter qu'il serait judicieux que la commande de la régulation de chaufferie soit reportée sur la gestion technique centralisée (GTC).

Ventilation :

Comme vu précédemment les débits de soufflage ne sont plus conformes aux débits théoriques initiaux. Ceci peut avoir de multiples causes plus ou moins simultanées :

- Manque d'entretien des filtres : débit global insuffisant
- Manque d'entretien des centrales : réglage des débits...
- Manque d'entretien des réseaux : équilibrage
- Pas de mise à jour de l'installation suivant modification des aménagements successifs : exemple du bureau paysagé du niveau 2 qui a été recoupé sans modification des réseaux. (plus de ventilation des bureaux individuels).

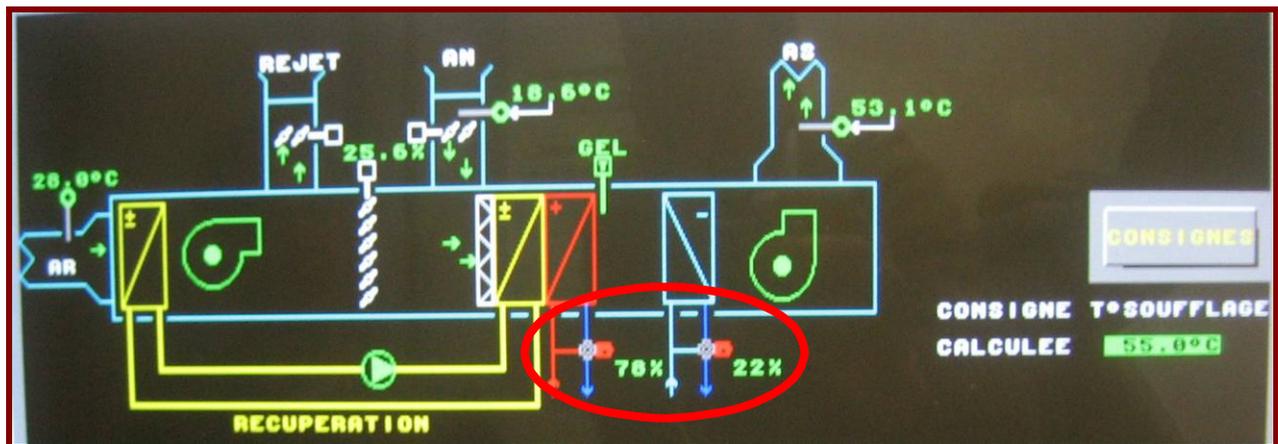
Ces sous-débits provoquent des dysfonctionnements notables de l'installation par rapport à sa conception initiale. Ils contribuent à la rendre difficile à exploiter et augmenter l'inconfort des occupants.

Régulation :

L'équipement du bâtiment en GTC est un progrès notable apporté à l'installation depuis l'installation initiale.

Cependant il semble que certains paramètres n'aient pas été pris en compte, ou ait été modifiés au fil du temps :

- On s'aperçoit notamment d'une absence de zone neutre entre la régulation en mode chaud et froid. Ceci provoquant des demandes simultanées en chaud et en froid sur la CTA principale, avec des vannes chaud et froid ouvertes en même temps.



L'image ci-dessus (capture écran de la GTC du bâtiment) illustre les propos, puisque les vannes des batteries froides et chaudes sont respectivement ouvertes de 22% et 78%.

Néanmoins, lors de ces constats, le groupe froid n'étant pas en service, il n'y avait donc pas de surconsommation d'énergie liée à la production de froid.

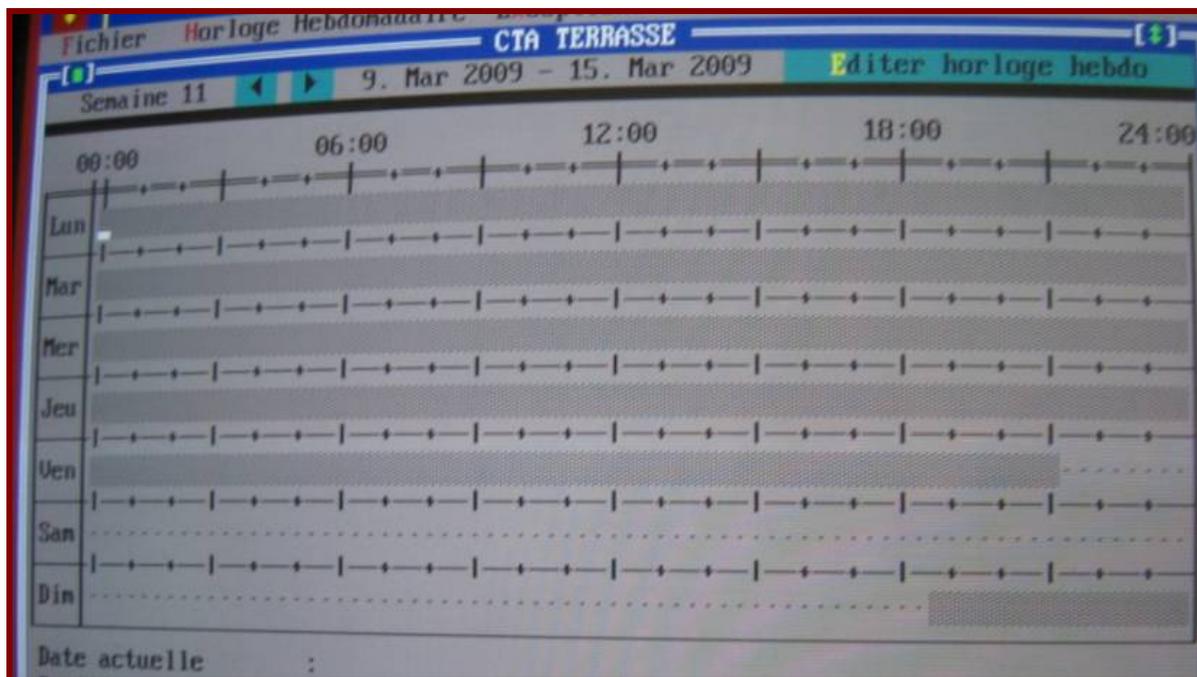
- Incohérence entre les réglages de pente en mode chaud et froid et manque de logique dans l'évolution des courbes. On souffle de l'air chaud alors que la température de reprise d'air est déjà supérieure à la température de confort.



L'image ci-dessus (capture écran de la GTC du bâtiment) illustre ces propos, puisque pour une température de reprise de 28°C la consigne de soufflage calculée est de 55°C. Ces conditions de fonctionnement, outre une consommation d'énergie excessive due au chauffage inutile de l'air soufflé, contribuent largement à l'inconfort des occupants.

De plus ces réglages empêchent le système de fonctionner en mode Free-Cooling. En effet dans cet exemple précis, la température extérieure (air neuf) étant de 18°C, il aurait suffi d'ouvrir le volet d'air neuf pour rafraîchir les locaux sans qu'il y est de consommation d'énergie.

- Le pilotage des périodes de présence n'est pas judicieux : La centrale fonctionne en 'Tout Ou Rien' en fonction de l'occupation des locaux, et ceci uniquement sur les périodes de week-end et de congés.



L'image ci-dessus (capture écran de la GTC du bâtiment) montre que la période d'occupation est réglée du dimanche à 18h30 au vendredi 21h00.

Le démarrage précoce du système de production (dès le dimanche soir) a pour objectif d'atteindre une température de confort le lundi matin 8h00 suite à l'arrêt total du chauffage pendant environ 48h00.

Il serait alors judicieux, et même préférable, que lors de la saison de chauffage, la ventilation ne soit pas stoppée le week-end, et que seuls les volets d'air neuf soient fermés pour économiser l'énergie liée au renouvellement d'air. Ceci avec un abaissement de consigne maîtrisé, afin d'éviter la surconsommation générée par une trop forte demande d'énergie, actuellement nécessaire dans ce cas de régulation, pour remonter les locaux en température.

Ce principe pourrait être étendu en semaine avec un abaissement nocturne maîtrisé.

La ventilation pourrait être totalement stoppée uniquement en inter saisons, lorsque les écarts de température extérieure ne perturbent pas trop l'équilibre thermique du bâtiment.

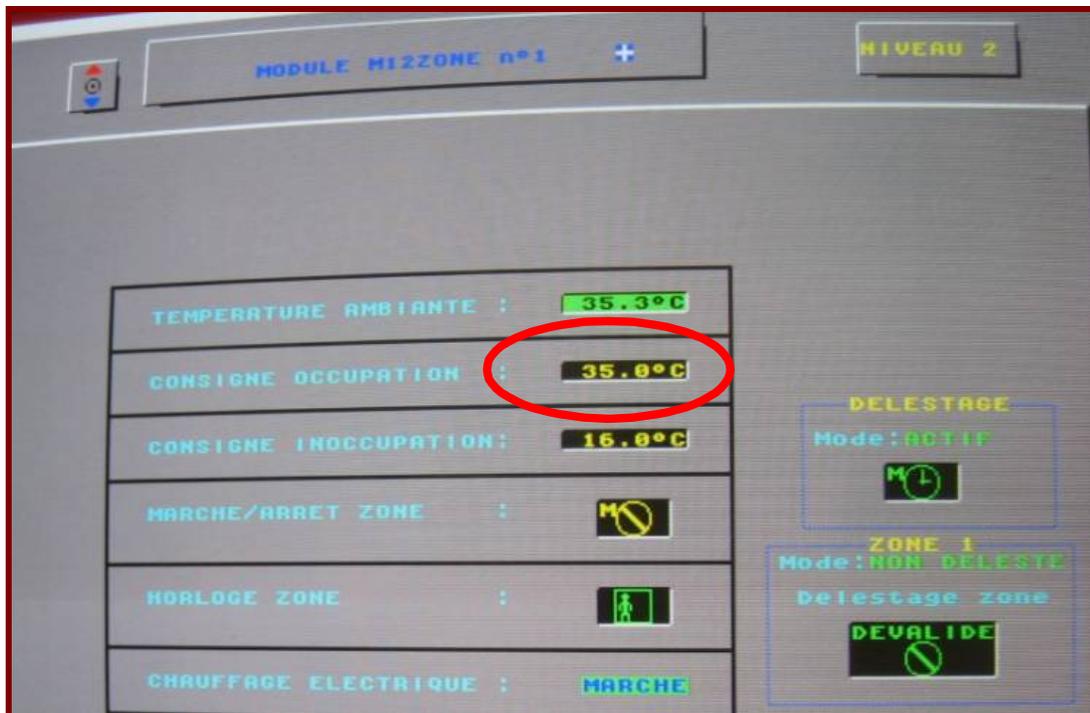
Ces réglages permettraient en outre d'éviter les problèmes d'inconfort dus à la remise en température du bâtiment en début de semaine.

Maintenance :

La maintenance de l'installation ne semble pas complètement maîtrisée :

- La fréquence d'entretien ou de remplacement des filtres des CTA semble insuffisante. (Remarque issue de notre visite sur place nous ayant permis de vérifier l'état des filtres entreposés dans le local CTA en terrasse).
- Une intervention de maintenance n'apparaît pas dans le cahier de suivi disponible dans le local technique CTA en terrasse, pouvant laisser supposer un écart d'un an entre deux visites.

- Les sondes de la GTC ne sont pas toutes opérationnelles, obligeant ainsi le personnel d'exploitation à modifier les consignes pour atteindre la température souhaitée. La photo ci-dessous montre un exemple de température de consigne fixée artificiellement à 35°C à cause de la donnée erronée de la sonde d'ambiance qui indique 35.3°C



- Le local technique CTA du sous sol est encombré, laissant présager un entretien limité des centrales situées dans ce local du à l'accès difficile à la CTA :



Conclusion :

Ces remarques sont issues d'une visite sur site nous ayant permis de faire un examen de l'installation actuelle, et des différents relevés effectués pour l'objet de l'étude.

Aussi, ces propos et recommandations ne sauraient en aucun cas être considérés comme exhaustifs.

Ceci démontre cependant qu'une installation de cette envergure nécessite un suivi et une maintenance de qualité, ainsi qu'une exploitation avec une bonne maîtrise du système, de manière à en extraire le meilleur bénéfice possible.

Les dérives dans la conduite et la régulation de l'installation de production peuvent mener à des surconsommations d'énergie très difficiles à évaluer, mais qui peuvent être conséquentes.

Qui plus est, ces problématiques sont vraisemblablement sources d'inconfort pour les occupants, et rejoignent un bon nombre de résultats présentés dans cette étude : Consommations énergétiques du bâtiment trop élevées, températures intérieures de certains locaux trop élevées, teneur en CO2 parfois trop élevée, mauvais débit d'air soufflé dans certains endroits, ...

9. CONCLUSIONS & PERSPECTIVES

Cette étude a permis de révéler les dysfonctionnements inhérents au bâtiment dans son état d'utilisation et de fonctionnement actuel.

Nous avons cherché à proposer des solutions d'optimisation permettant de répondre aux objectifs de performance énergétique du Grenelle de l'environnement, ainsi qu'à ceux pour l'obtention du Label BBC-Effinergie.

Rappelons ici que les exigences de ces deux objectifs obligent à étudier l'optimisation de manière nettement différente.

En effet, les exigences de performances énergétiques du Grenelle de l'environnement se basent notamment sur une amélioration du coefficient de consommation énergétique par rapport à l'état initial du bâtiment (Cep du projet amélioré par rapport au Cep initial du bâtiment). Puis, le second critère est une réduction de 50% des émissions de Gaz à Effet de Serre.

En revanche, les exigences de performances énergétiques du label BBC se basent sur une amélioration de ce même coefficient par rapport à des valeurs de références du même bâtiment, au sens de la RT2005.

Ceci constitue un écart important entre ces deux objectifs de performance, et est clairement visible dans notre étude.

Par exemple : en terme de Cep, la solution N°1.1 apporte un gain de 41,3% par rapport à l'état initial, mais seulement de 18,3% par rapport au Cep de référence.

Ainsi dans notre cas, l'optimisation du bâtiment pour atteindre les exigences du Grenelle demande, principalement d'intervenir sur le système de chauffage, puisque d'une part il s'agit du principal poste d'émission de gaz à effet de serre, et d'autre part la vétusté du système actuel permet une forte réduction des consommations avec peu d'intervention. Plus précisément, le remplacement du récupérateur de chaleur assure à lui seul une part importante de ces réductions.

La solution BBC est nettement plus contraignante, puisque les valeurs de référence tendent à s'améliorer au fur et à mesure que des solutions d'amélioration sont modélisées.

Ces exigences imposent donc une haute qualité de l'enveloppe du bâtiment, ainsi qu'une haute efficacité des systèmes énergétiques l'équipant.

En outre, nous proposons une solution d'intervention pour répondre au Grenelle de l'environnement :

Cette solution nécessite de forts coûts d'investissement, mais restant en dessous du seuil exigeant le respect de la Réglementation Thermique 2005 « global », et notamment du respect des références du coefficient Ubât du bâtiment.

Cette combinaison permet une réduction des consommations énergétique de plus de 40%, ainsi qu'une réduction des émissions de Gaz à Effet de Serre de 50% par rapport à l'état initial du bâtiment.

Le temps de retour brut de cet investissement serait de plus de 29 ans.

Parallèlement, nous évoquons des solutions d'optimisation plus poussées, qui permettent de répondre aux exigences élevées de labellisation BBC-Effinergie.

Considérant les énormes coûts d'investissement induits par ces préconisations, nous n'avons pas exploré les aspects financiers de ces combinaisons.

L'étude économique de ces solutions aboutirait à un montant de sur investissement n'offrant aucun temps de retour financier.

Subsidièrement, nous proposons deux solutions d'optimisation intermédiaires, qui permettraient une nette baisse des consommations énergétiques et des émissions de Gaz à Effet de Serre, mais qui ne permettraient pas de répondre aux objectifs de performance énergétique souhaités.

Notons, dans le cas précis de la solution sans changement des menuiseries, que celle-ci paraît financièrement plus intéressante, puisque son temps de retour, tout calcul financier confondu, varie de 19 à 40 ans.

Cette étude apporte des informations techniques et technologiques permettant une amélioration sensible des performances environnementales et énergétiques du bâtiment M de la cité administrative de la DDEA d'Angers.

En outre, il s'agit d'outil d'aide à la décision présentant les évolutions de chaque préconisation sur le long terme.

GLOSSAIRE

✓ **Coefficient Cep (consommation en énergie primaire)** : représente la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment. Il est exprimé en kWh d'énergie primaire/m².an.

Il s'agit d'un indicateur des consommations dans les postes suivants : chauffage, refroidissement, éclairage, ventilation, autres auxiliaires électriques. Il diffère de la consommation d'énergie finale car il prend en compte les rendements de production et d'acheminement de l'énergie. Ainsi, pour l'électricité, un coefficient de 2,58 sera affecté, dû au faible rendement des centrales et aux pertes d'acheminement.

✓ **Coefficient Cep réf** : représente la consommation conventionnelle d'énergie du bâtiment ayant les caractéristiques de référence [kWh d'énergie primaire/m².an], c'est-à-dire ce que devrait consommer un bâtiment « fictif » composé d'équipements analogues. La différence entre le calcul du Cep du projet et du Cep de référence réside dans les types de matériaux et de matériels « réels » ou « de référence » au sein du logiciel (Par exemple ; dans le cas d'un chauffage au Gaz, la chaudière à condensation est en référence).

✓ **Coefficient U (coefficient de transmission surfacique)** : c'est un indicateur de la quantité de chaleur pouvant transiter à travers une surface pour une différence de température donnée aux extrémités. Il est exprimé en W/m².°C. Plus la valeur U sera basse, moins il y aura de transfert thermique, donc plus la paroi sera isolante. E, général un coefficient de paroi sera noté **Up**.

Pour les vitrages, les coefficients de transmission surfacique diffèrent grandement entre les menuiseries et les vitrages, c'est pour cela que l'on distingue deux coefficients : **Ug** pour la vitre, **Uf** pour la menuiserie. **Uw** est le coefficient moyen de la fenêtre entière.

✓ **Conductivité Thermique - λ [W/m².°C]** : flux thermique traversant un mètre d'épaisseur de matériau pour une différence de température d'un Kelvin entre les deux faces du matériau.

✓ **Flux thermique [W]** : quantité de chaleur transmise (ou fournie par) un système par unité de temps.

✓ **Humidité ou Hygrométrie** : eau ou vapeur d'eau contenu dans l'air ou dans les matériaux, exprimé à travers :

- l'humidité absolue : poids de vapeur d'eau (en g) par m³ d'air
- l'humidité spécifique : poids de vapeur d'eau (en g) par kg d'air humide
- l'humidité relative (HR) : ou degré d'humidité : proportion d'eau contenue dans l'air en %, par rapport à un air saturé ou HR = 100 %

✓ **Pont Thermique** : zone ponctuelle ou linéaire qui, dans l'enveloppe d'un bâtiment, présente une moindre résistance thermique, par exemple les abouts de planchers et de murs, les jonctions de parois, les huisseries (notamment métalliques).

✓ **Résistance Thermique R [m².K/W]** : inverse du flux thermique à travers un mètre carré d'un système pour une différence de température d'un Kelvin entre les deux faces de ce systèmes (tel que $R= 1/U$)

✓ **Ubât** : est le coefficient moyen caractérisant les déperditions thermiques réelles d'un bâtiment par transmission à travers les parois et les baies [W/m².K]. Ce coefficient est un condensé de l'ensemble des coefficients relatifs aux déperditions thermiques de chaque type de paroi.

✓ **Ubât réf** : est le coefficient caractérisant les déperditions thermiques du bâtiment ayant les caractéristiques thermiques de référence [W/m².K]. Ce coefficient reflète donc ce que le bâtiment devrait être s'il avait été construit selon les règles actuelles. Pour respecter la réglementation, le Ubât n'est pas nécessairement inférieur au Ubât ref, ce dernier est essentiellement utilisé en tant qu'indicateur de la qualité du bâtiment.

Les **valeurs de références** sont calculées en fonction des exigences standard de la réglementation thermique en vigueur (efficacité des systèmes, pertes de chaleur, performance d'éclairage ...).

✓ **Les « Garde-fou »** : les caractéristiques de l'isolation thermique des parois et des équipements de chauffage, ventilation, climatisation, eau chaude sanitaire, éclairage (pour le tertiaire) et de protection solaire doivent présenter des performances minimales appelées « garde-fou ».

ANNEXES

ANNEXE 1

Affaire : DDEA Angers - Audit énergétique du bâtiment M
Objet : Proposition d'intervention sur les toitures terrasses

Date : Mars 2009



1) Contexte :

Dans le cadre d'une mission d'audit énergétique du bâtiment M de la cité administrative, et sur demande de la DDEA d'Angers, ce document présente une notice technique proposant une intervention de mise en œuvre sur les toitures terrasses du bâtiment étudié.

Cette note porte donc exclusivement sur les surfaces de toitures.

2) Présentation des toitures

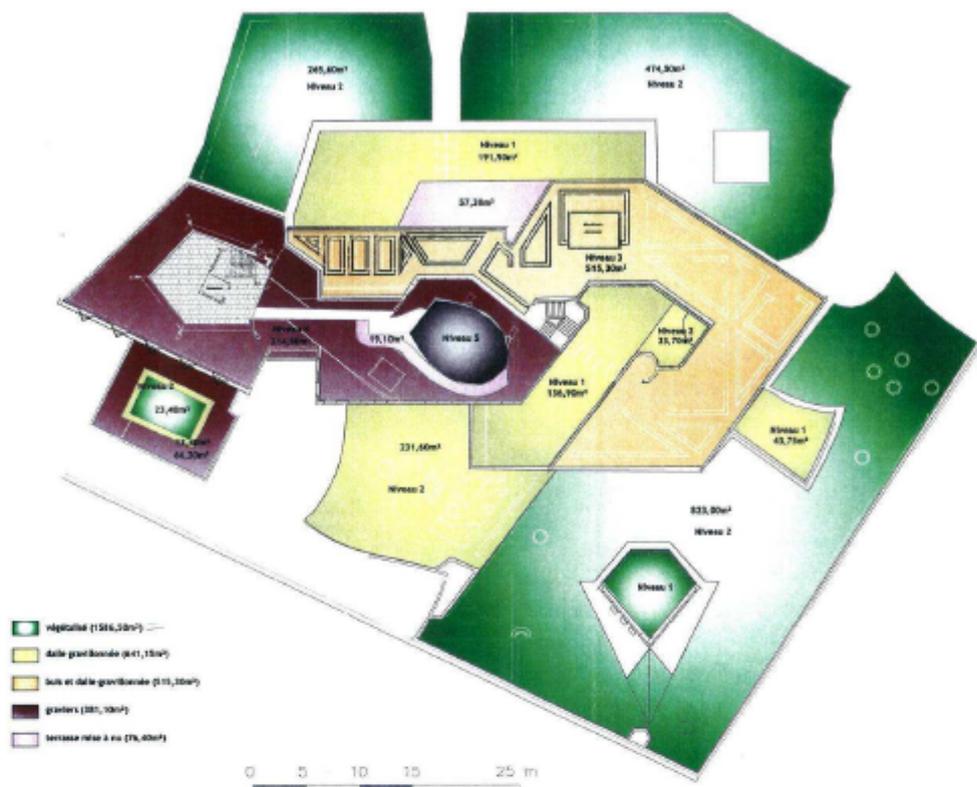
Le bâtiment présente des toitures horizontales de deux types :

- Terrasse accessible = 893 m²
- Terrasse végétalisée = 2 143 m²



Bâtiment M de la DDEA Angers – vue aérienne

La figure suivante illustre la répartition des toitures terrasses :



Les toitures terrasses sont actuellement composées comme suit :

a) Toitures accessibles

Désignation	Epaisseur [m]	Conductivité thermique [W/m. °C]	Résistance [m². °C/W]
Dalle Béton	0.16		0.23
Mousse Polyuréthane	0.05	0.035	1,429
Isolant	0.02	0.047	0,426
U = 0,45 W/m². °C			

b) Toitures végétalisées

Désignation	Epaisseur [m]	Conductivité thermique [W/m. °C]	Résistance [m². °C/W]
Dalle Béton	0.16		0.23
Mousse Polyuréthane	0.05	0.035	1,429
Isolant	0.02	0.047	0,426
Terre	0.04	0.16	0.250
U = 0,404 W/m². °C			

Affaire : DDEA Angers - Audit énergétique du bâtiment M
 Objet : Proposition d'intervention sur les toitures terrasses

Date : Mars 2009

3) Etude des choix d'amélioration

Afin de garantir une haute performance thermique des planchers hauts, nous proposons un seuil minimal des performances de la paroi opaque étudiée.

En l'occurrence, prenant en considération les recommandations du guide rédigé par le groupe référentiel de l'association **Effinergie** telles que présentées dans le tableau ci-dessous :

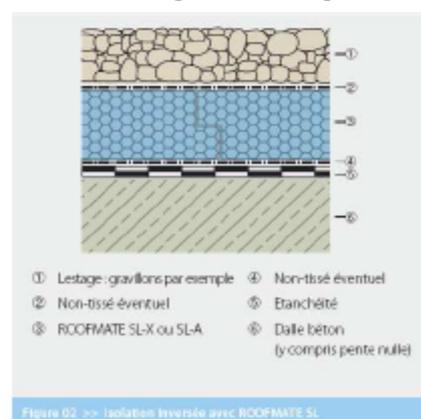
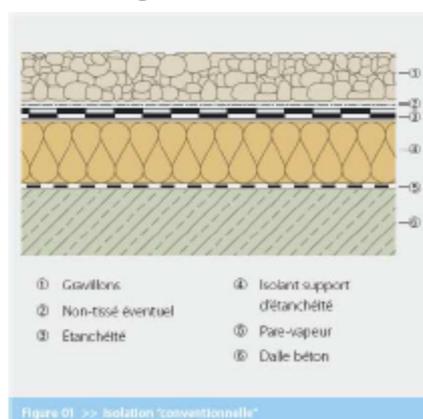
Isolation parois opaques		
	effinergie	RT 2005
R Toit (en m².K/W)	6,5 à 10	4 à 6
R Mur (en m².K/W)	3,2 à 5,5	2,2 à 3,2
R Sol sur terre-plein (en m².K/W)	2,4 à 4	1,7 à 2,9
R Sol sur vide sanitaire (en m².K/W)	3,4 à 5	2,4 à 4
Ponts thermiques	Très faibles	Moyens à faibles

- ✓ Nous proposons la pose d'un isolant permettant à l'ensemble de la paroi d'atteindre les performances thermiques de la RT2005, avec au moins un coefficient $R_{Toiture}$ de 6 [m².°C/W].

$$\text{Soit, } U_{p \text{ Toiture}} \leq 0,17 \text{ [W/m}^2\text{.°C]}$$

D'autre part, prenant en considération les contraintes techniques liées à la mise en œuvre de nouveaux matériaux d'isolation pour les toitures terrasses sur le site étudié,

- ✓ Nous distinguons deux solutions techniques de mise en œuvre envisageables :
 - **Isolation standard** ; Dépose de l'étanchéité et de l'isolation actuelle. Puis réfection complète des toitures en y incluant la mise en place d'un nouveau matériau d'isolation, et la d'une nouvelle étanchéité de la paroi horizontale.
 - **Isolation inversée** ; permettant la pose d'un nouveau matériau d'isolation au dessus de l'isolation, et de l'étanchéité existantes.
- Ce cas de figure permet de ne pas devoir refaire l'étanchéité actuellement en place. L'isolation positionnée en partie haute, comme illustré sur le schéma ci-dessous, apporte une protection de la structure porteuse et de l'étanchéité contre les chocs thermiques et mécaniques.



Affaire : DDEA Angers - Audit énergétique du bâtiment M
Objet : Proposition d'intervention sur les toitures terrasses

Date : Mars 2009

4) Préconisations

L'étude thermique du bâtiment M nous permet de connaître la part des déperditions issue des toitures terrasses :

- Déperditions totales = 382 kW
- Déperditions par Terrasses Accessibles = 10,4 kW ; Soit 2,7 %
- Déperditions par Terrasses Plantées = 22,3 kW ; Soit 5,8 %

➤ La part issue des toitures (*ligne « Plafonds »*) représente environ 8 % des déperditions totales.

Cette part étant relativement faible par rapport aux déperditions totales du bâtiment, nous proposons d'intervenir sur les toitures terrasses de manière à atteindre les critères de performances 'élevés' de la RT2005.

Pour les postes plus déperditifs, l'étude énergétique en cours, et réalisée parallèlement à cette notice, proposera des interventions plus fortes, et parfois ciblées sur les niveaux de performance du référentiel Effinergie.

4.1) Cas de l'isolation standard – Pour toutes les terrasses

L'isolation existante sera retirée et remplacée par un isolant de type « Polystyrène extrudé », ou équivalent.

Le coefficient de conductivité thermique (λ) de l'isolant recommandé sera inférieur ou égal à 0,029 [W/m.°C].

La Résistance Thermique du nouveau matériau d'isolation sera au moins de $R = 5,5$ [m².°C/W]

Ainsi dans ces conditions, **l'épaisseur minimale de ce matériau d'isolation est 16 cm.**

Isolation Standard préconisée en toiture terrasse	
Type :	Polystyrène extrudé ou équivalent
Conductivité thermique minimale	0,029 W/m.°C
Epaisseur minimale	16 cm

Affaire : DDEA Angers - Audit énergétique du bâtiment M
Objet : Proposition d'intervention sur les toitures terrasses

Date : Mars 2009

4.2) Cas de l'isolation inversée – Pour toutes les terrasses

L'isolation existante est conservée.

Une isolation de type « Polystyrène extrudé », ou équivalent, est ajoutée au dessus des matériaux actuels.

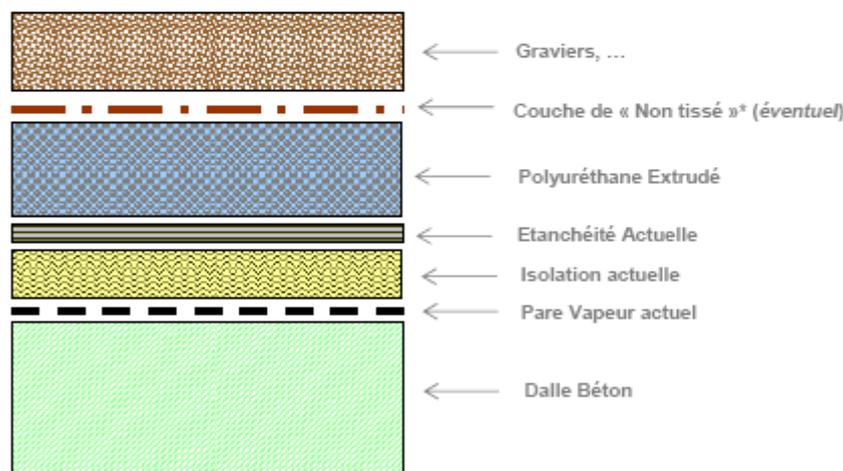
Le coefficient de conductivité thermique (λ) de l'isolant recommandé sera inférieur ou égal à 0,029 [W/m.°C].

La Résistance Thermique du nouveau matériau d'isolation sera au moins de $R = 3,4$ [m².°C/W]

Ainsi dans ces conditions, **l'épaisseur minimale de ce matériau d'isolation est 10 cm.**

Isolation Inversée préconisée en toiture terrasse	
Type :	Polystyrène extrudé ou équivalent
Conductivité thermique minimale	0,029 W/m.°C
Epaisseur minimale	10 cm

Exemple de mise en œuvre :



* Le voile non-tissé, réalisé en fibres synthétiques, est placé entre l'isolant et le lestage (graviers par exemple). Il permet de diminuer sensiblement l'incidence de la pluviométrie, et améliore la performance thermique de la paroi. En effet, on peut considérer que dans le cas d'une isolation inversée classique, la totalité de l'eau de pluie ruisselle entre l'isolant et l'étanchéité. La mise en place d'un voile non-tissé ralentira fortement ce phénomène, ne laissant passer qu'environ 5% de l'eau de pluie.

ANNEXE 2

DDE ANGERS

Février 2009

Questionnaire à l'attention des usagers du bâtiment M

Contexte : Dans le cadre d'une étude d'optimisation énergétique du bâtiment M, portant notamment sur l'amélioration du confort intérieur des occupants, nous adressons ce questionnaire aux usagers de manière à identifier les différentes problématiques rencontrées.

L'objectif de cet outil est d'obtenir une première approche des perceptions à l'intérieur du bâtiment, et de dresser une première liste de points faibles. Les réponses seront ensuite mises en interaction avec d'autres analyses thermiques, de manière à évaluer les priorités d'intervention.

Merci de votre participation.

Identification de la zone	
Local (nom, numéro, ...)	
Situation (étage, exposition, ...)	
Type d'usage (bureau, laboratoire, ...)	
Occupation (horaires/jour, jours/semaine) <i>ex: 8h/12h et 14h/18h – tous à vendredi</i>	
Nombre d'occupant	

1) Citer les inconforts ressentis lors de ces différentes périodes :

Perception des ambiances	Période de chauffage		Période de jours chauds		Intensivision		Globalement		Autre
Sensation de froid	Jamais	Toujours	Jamais	Toujours	Jamais	Toujours	Jamais	Toujours	
	Parfois	Souvent	Parfois	Souvent	Parfois	Souvent	Parfois	Souvent	
Sensation de chaud	Jamais	Toujours	Jamais	Toujours	Jamais	Toujours	Jamais	Toujours	
	Parfois	Souvent	Parfois	Souvent	Parfois	Souvent	Parfois	Souvent	
Autre									

2) Avez-vous des appareils bureautiques dégageant de la chaleur ?

Unité centrale ordinateur

Moniteur ordinateur

photocopieuse

Lampes halogènes

Eclairage incandescent

Autres :

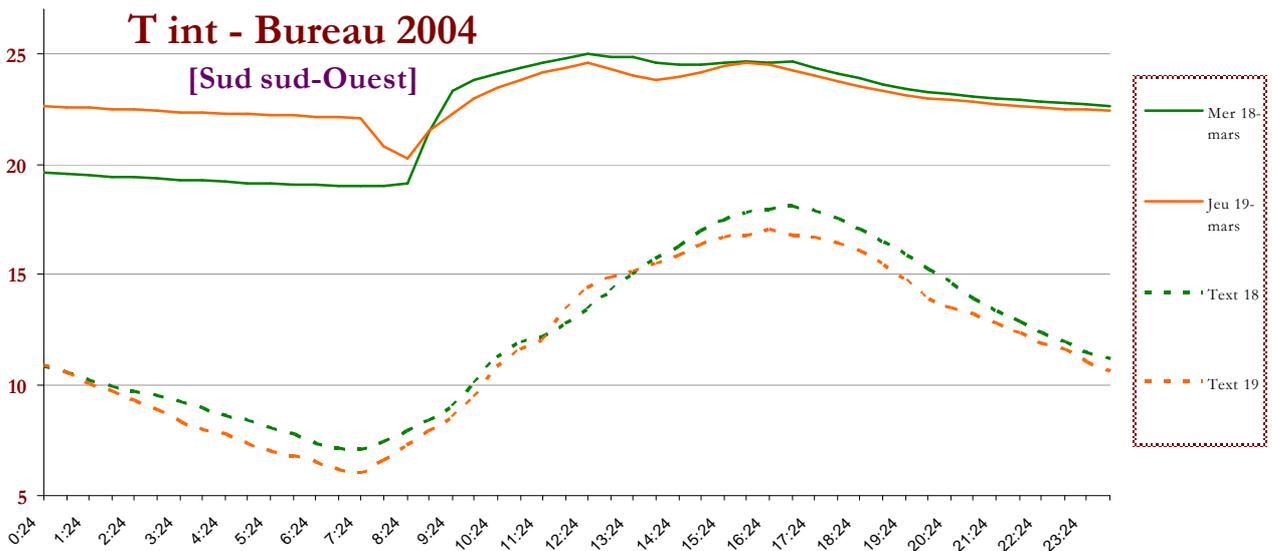
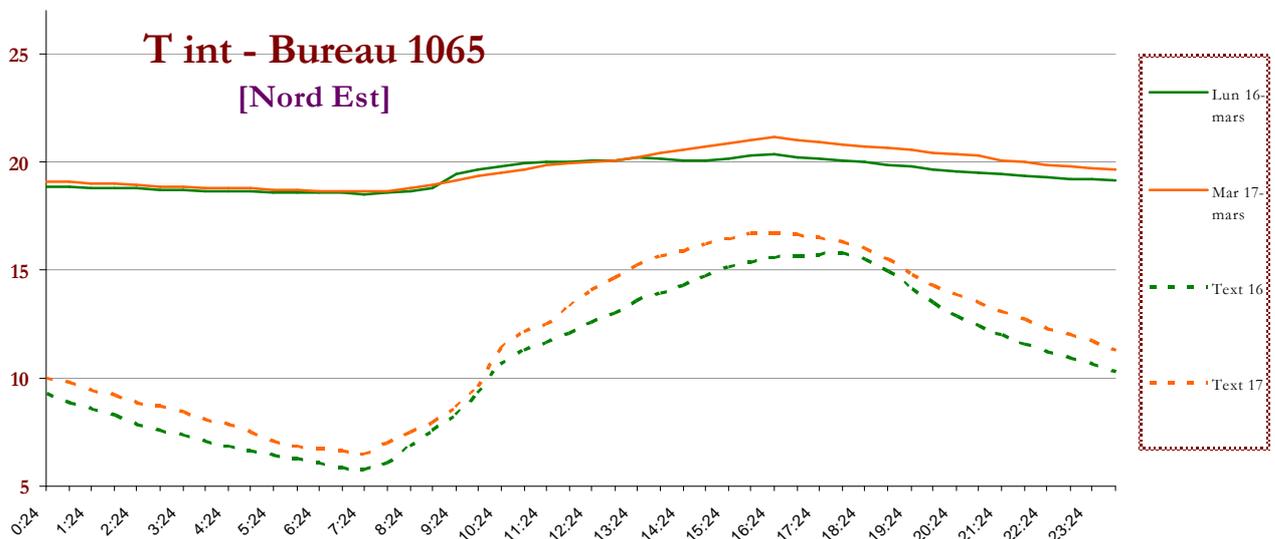
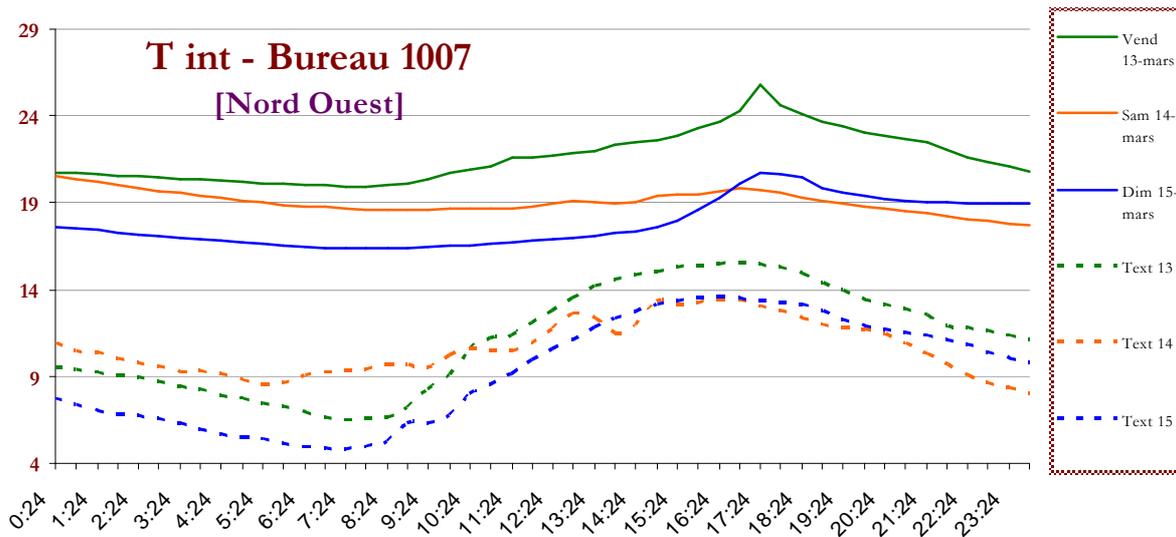
3) Autres informations particulières, remarques, ou Avis...

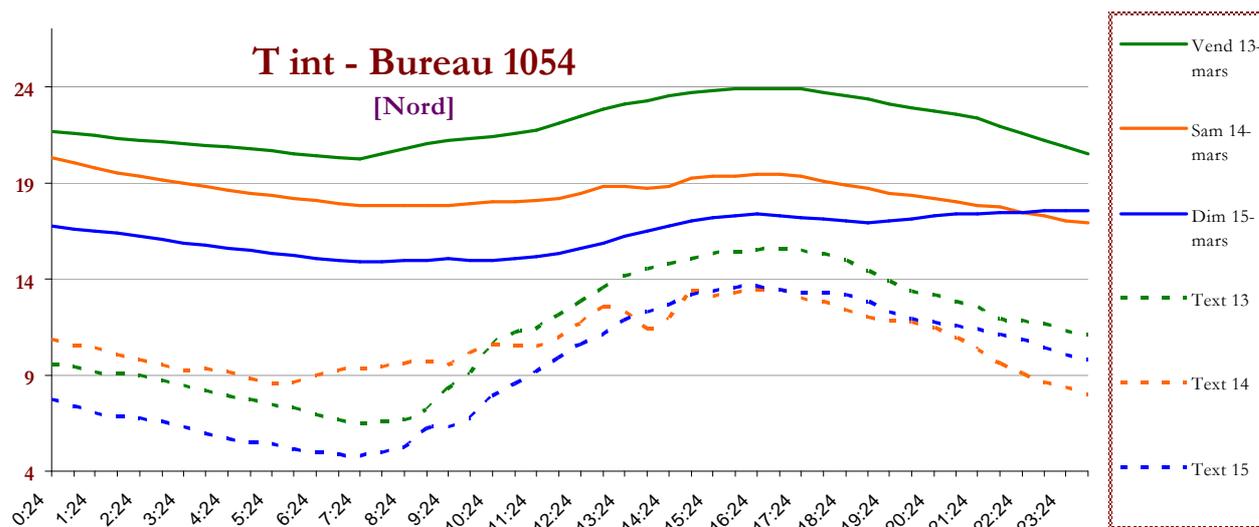
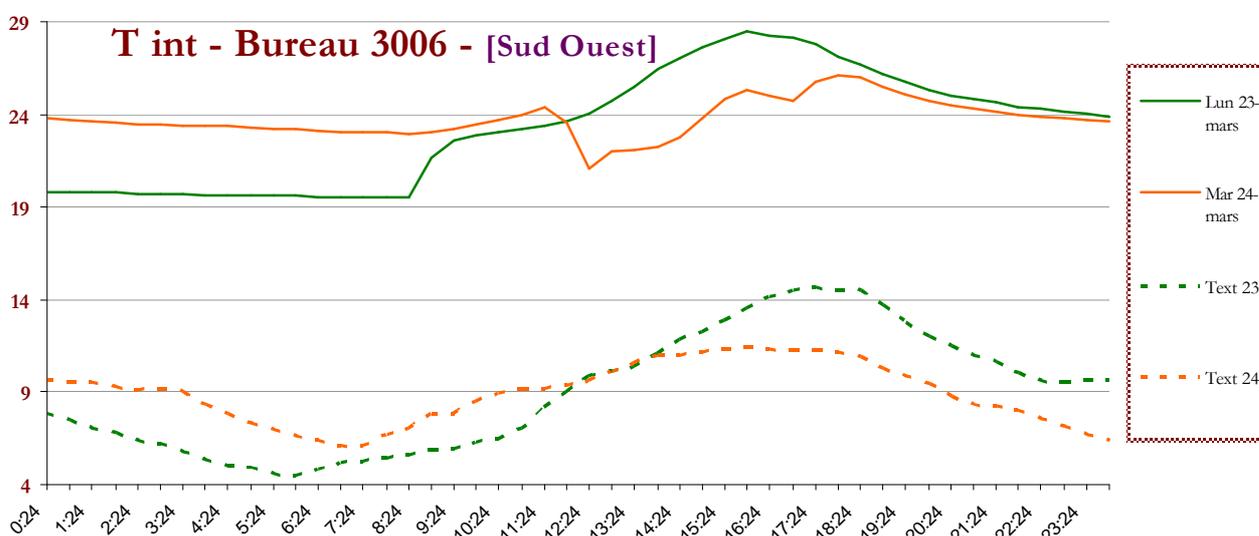
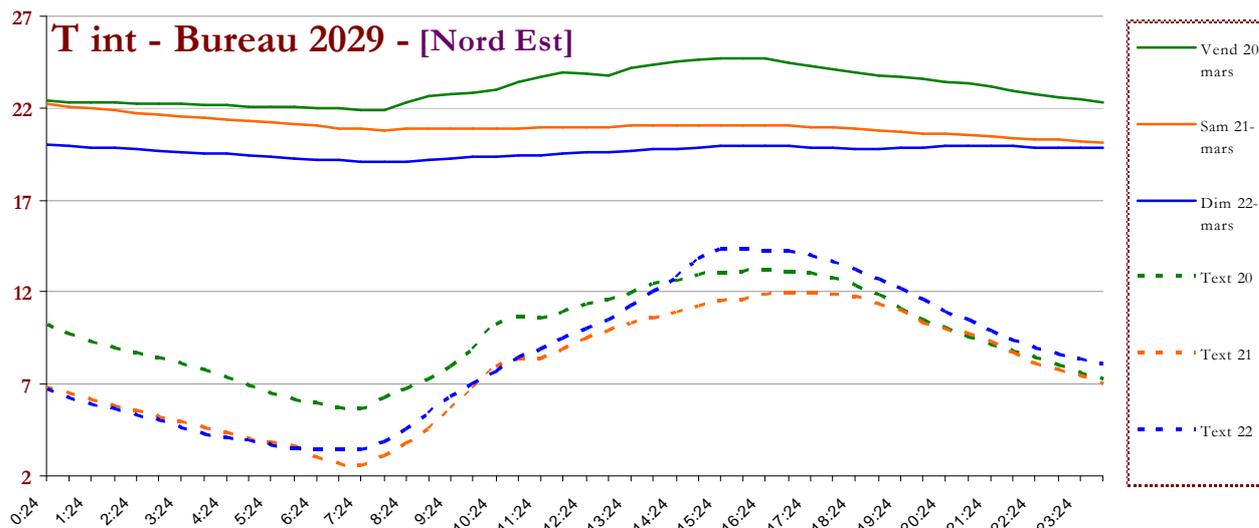
ANNEXE 3

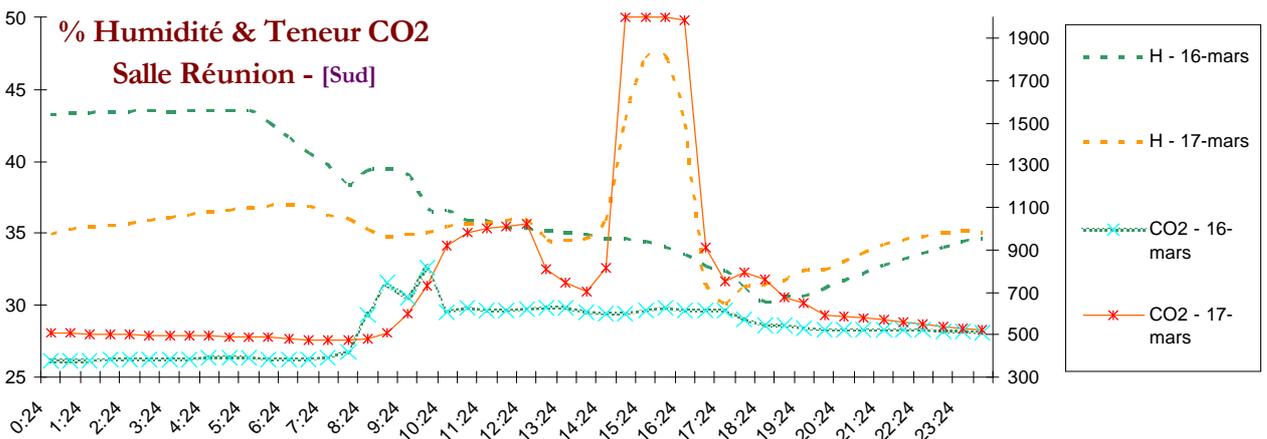
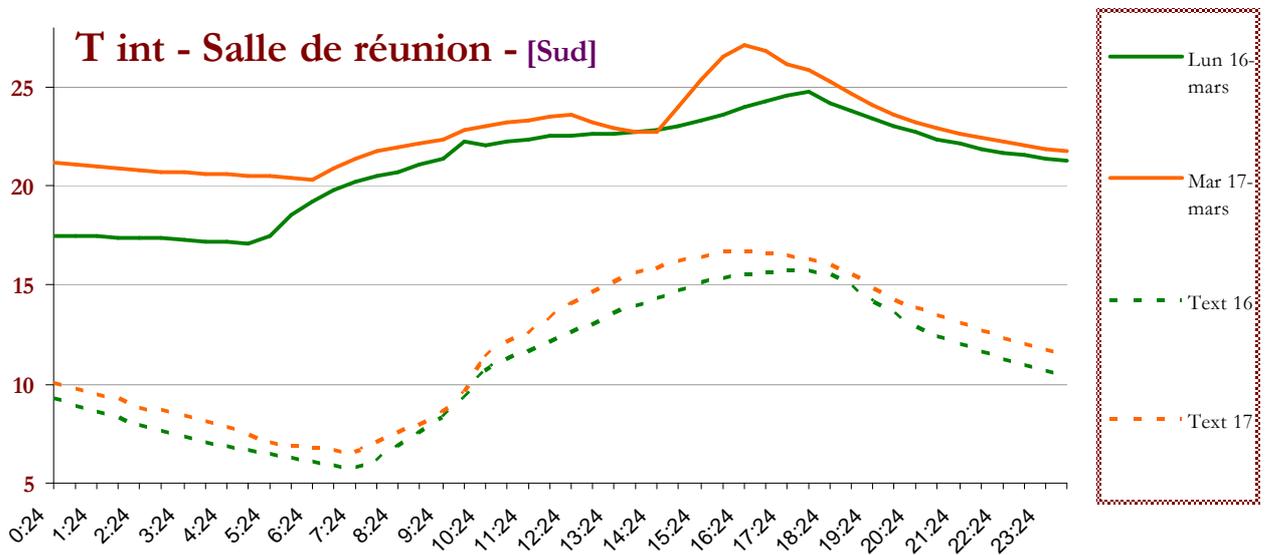
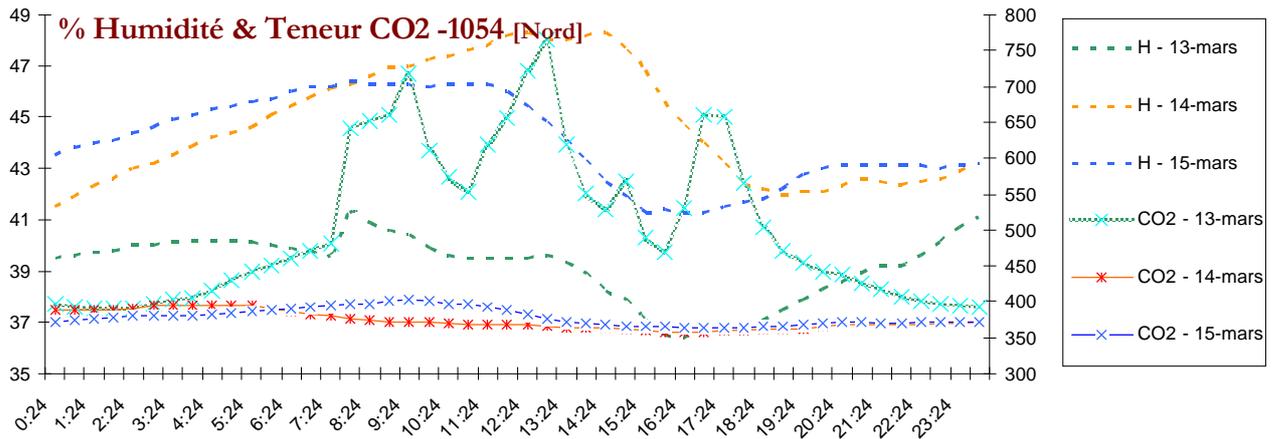
DDEA ANGERS - Jeudi 12 mars 2009

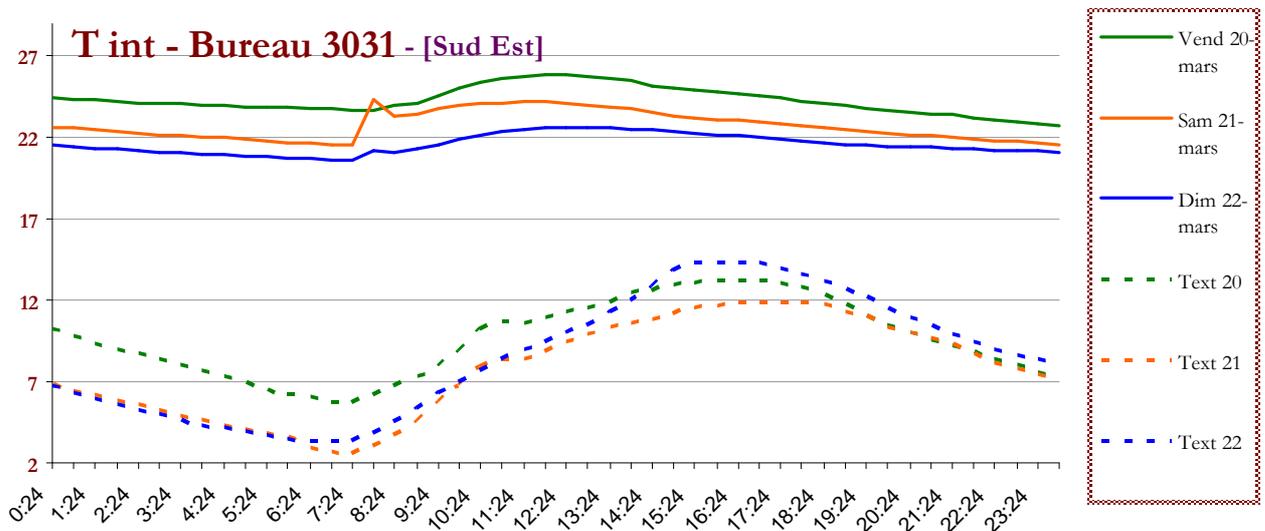
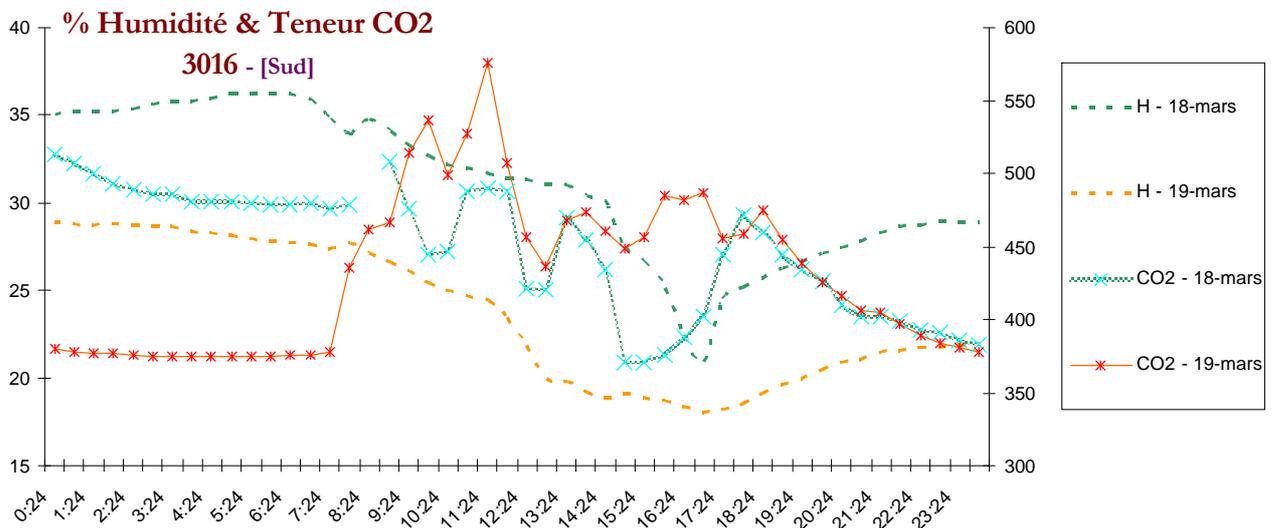
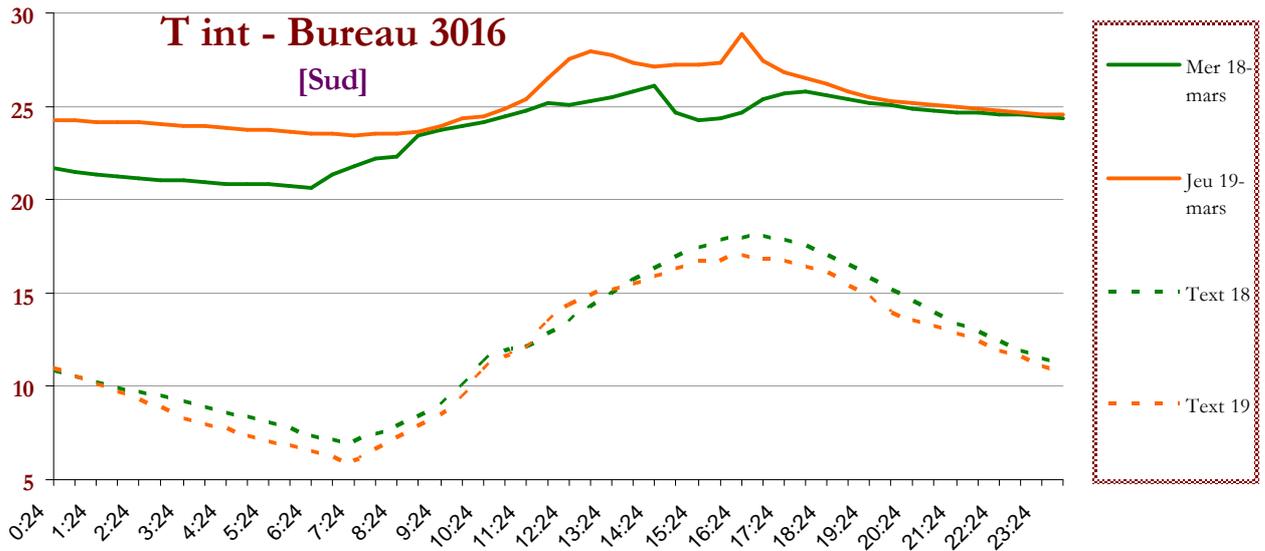
N° Bureau	Questions	Vérification technique	Sondes de Mesure	
Niveau 0	1007	Date changement joints ?, si rideaux fixes ?, Pourquoi besoin rideaux si pas d'exposition ?	Etat fenêtres, Apports solaires ?	T°
	1054		Etat fenêtres, Clim ou VMC ?	CO2
	1066	Incohérence Froid/chaud vu l'exposition ?...		
	1065	Voir pourquoi surchauffé été		T°
	1055	Voir voisines de palier si pbl ...		
	Salle Réunion	Vérif confinement		CO2
Niveau 1	2004	Aucune surchauffé ici ? ; Froid en été ?	Vitrages, Cohérence système production et émission	T°
	2024	Ouvrerture fenêtres pour air frais en hiver ?	Faisabilité protections solaires ?	
	2029	Toujours chaud !, jamais froid... mais orientation Nord ?		T°
	2043		Faisabilité protections solaires ?	
Niveau 2	3002	Surchauffé été partout ?, ou juste pour les bureaux orientés Sud ?	Vérif régulation chauffage (pbl tôt le matin...)	
	3006	Les couloirs surchauffé en Hiver ? Hall ...	Voir régul sur sonde ambiante ?...	T°
	3018	Ouverture fenêtre en hiver ? Pas besoin de chauffage, ou pas besoins d'appoint ?	Voir régul ?, Faisabilité protections solaires ?	CO2
	3031	Atmosphère sèche été comme hiver ??..	Voir régul ? Humidité ?, Faisabilité protections solaires ?	CO2
Niveau 3	4004	Passage pour vérifier si idem que bureau N°3002 (juste en dessous)	Vérif régulation chauffage + Fenêtres	
	4020	Globalement trop chaud toute l'année (surtout été), et souvent froid l'hiver ?	Voir régul ?, Faisabilité protections solaires ?, Parois froides par les vitrages	CO2

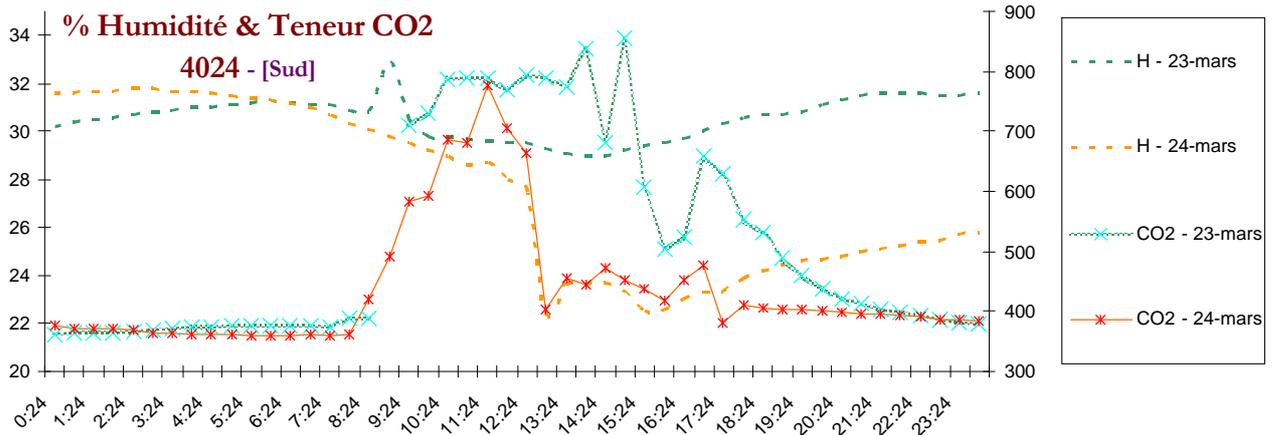
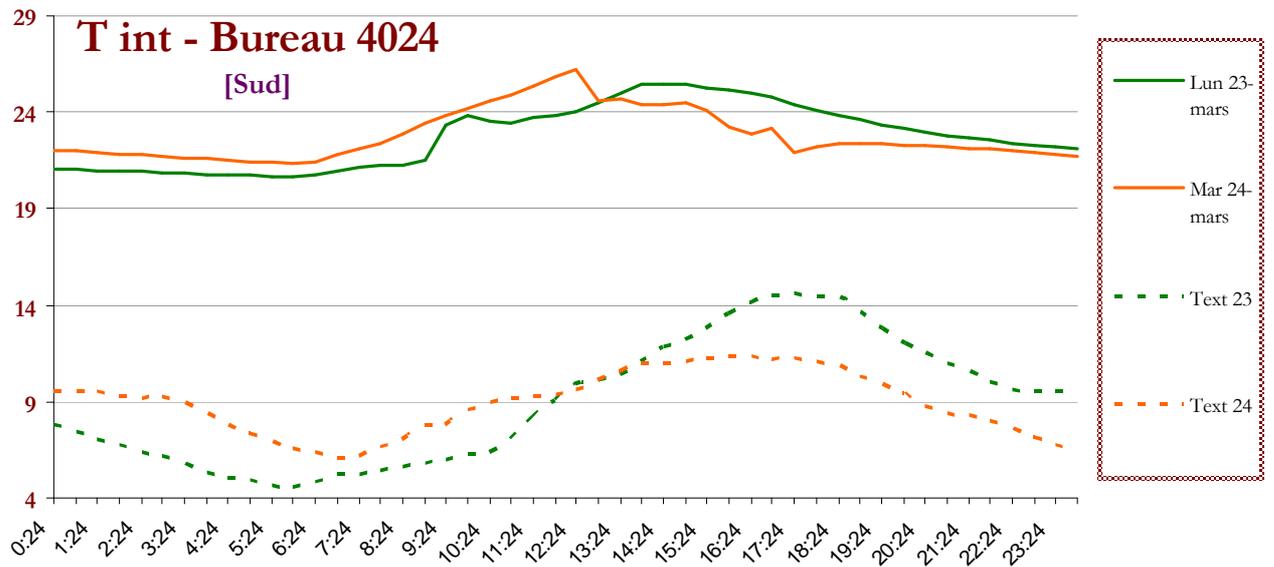
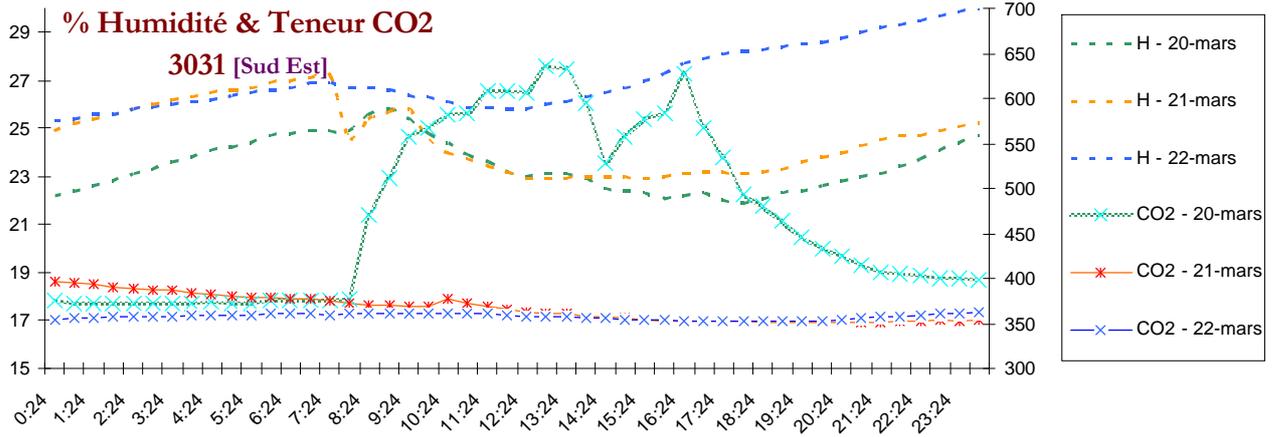
ANNEXE 4









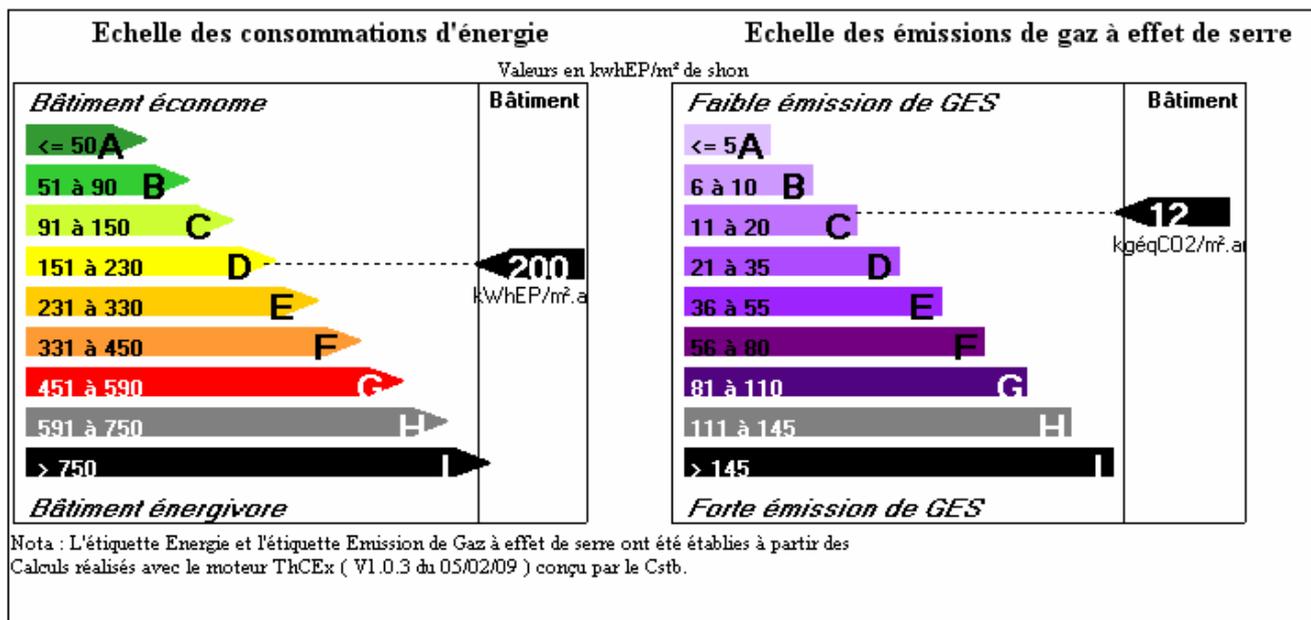


N°Bureau	Nombre de personnes	Débit théorique hygiénique	Débit théorique chauffage	Débit mesuré	Observations
1065	2	50	100	35	Débit hygiénique insuffisant Débit de chauffage très insuffisant
2006	1	25	50	60	Débit soufflé supérieur au débit de chauffage
2043	2	50	100	36	Débit hygiénique insuffisant Débit de chauffage très insuffisant
3002	8	200	400	320	Débit de chauffage insuffisant
3016	3	75	150	106	Débit de chauffage insuffisant

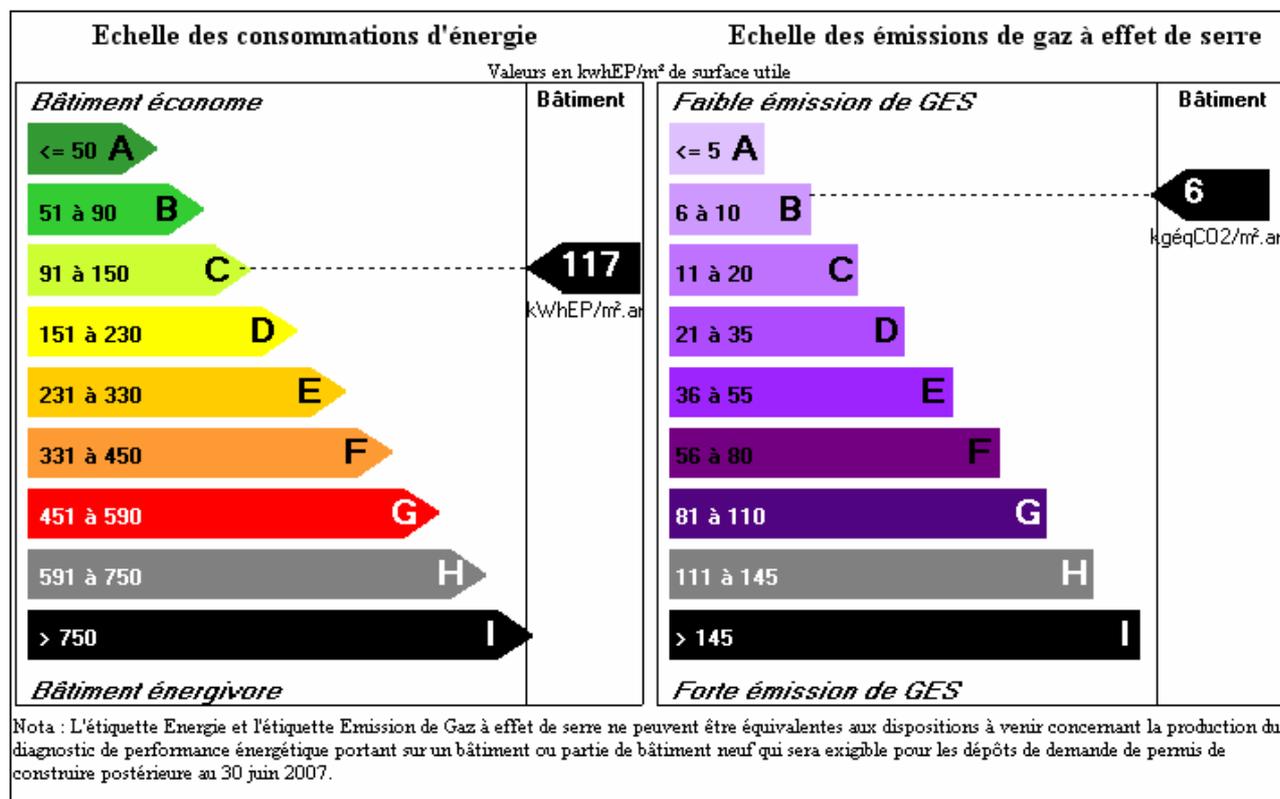
Synthèse des différentes mesures de débit

ANNEXE 5

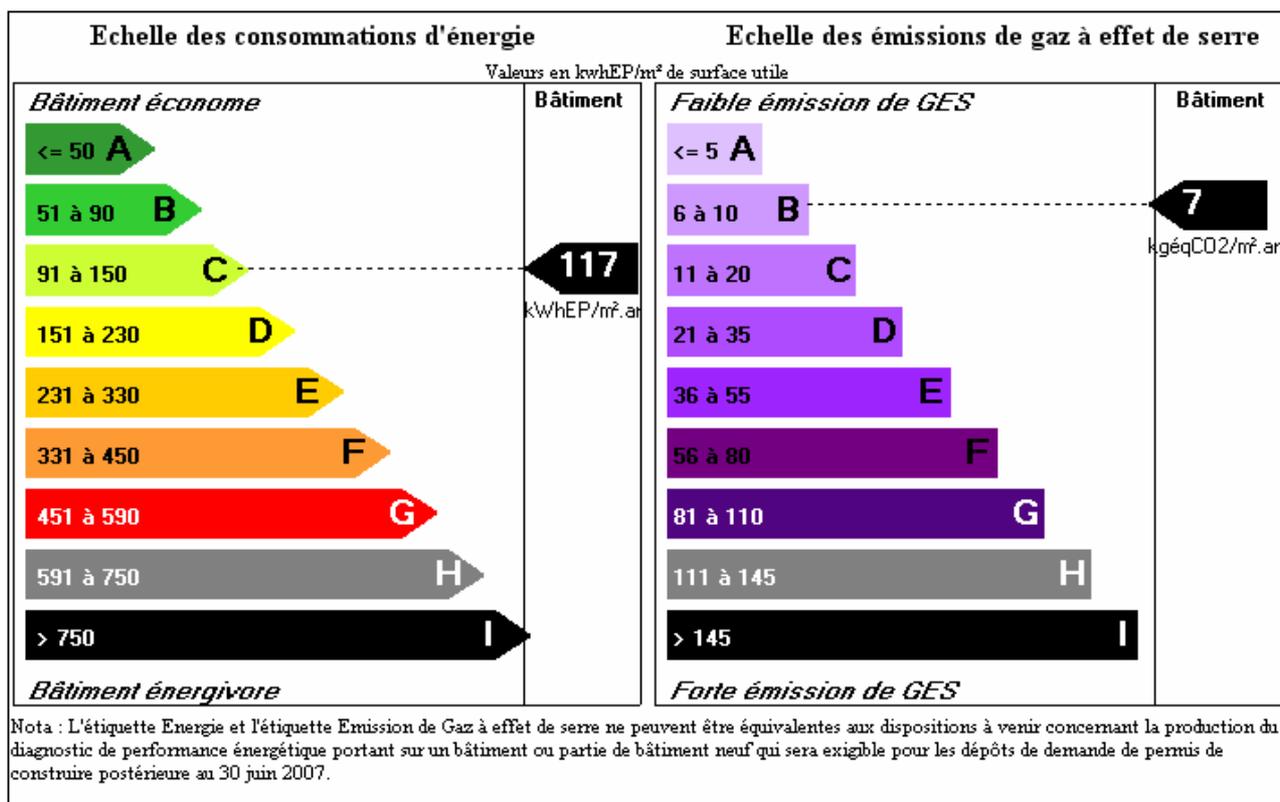
Etiquette énergétique du bâtiment existant – état actuel :



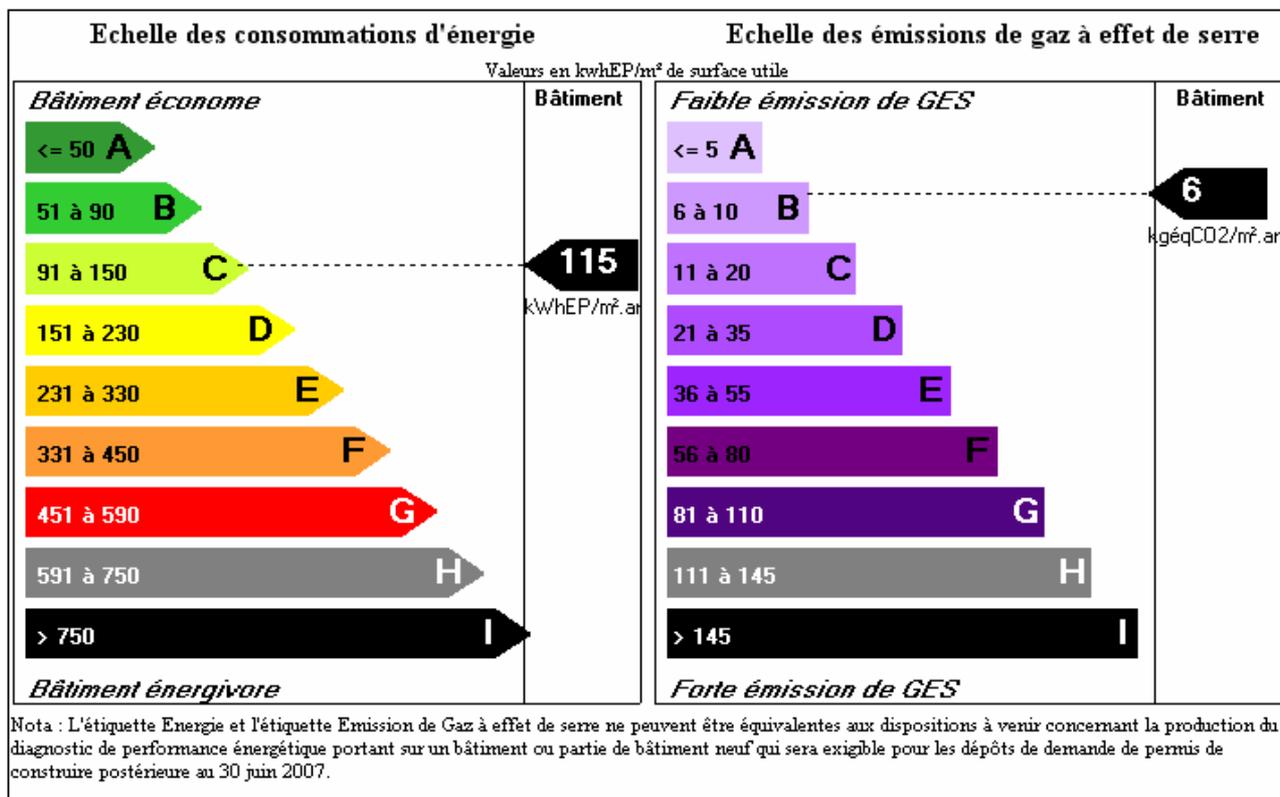
Etiquette énergétique du bâtiment réhabilité suivant la solution 1.1 – Grenelle :



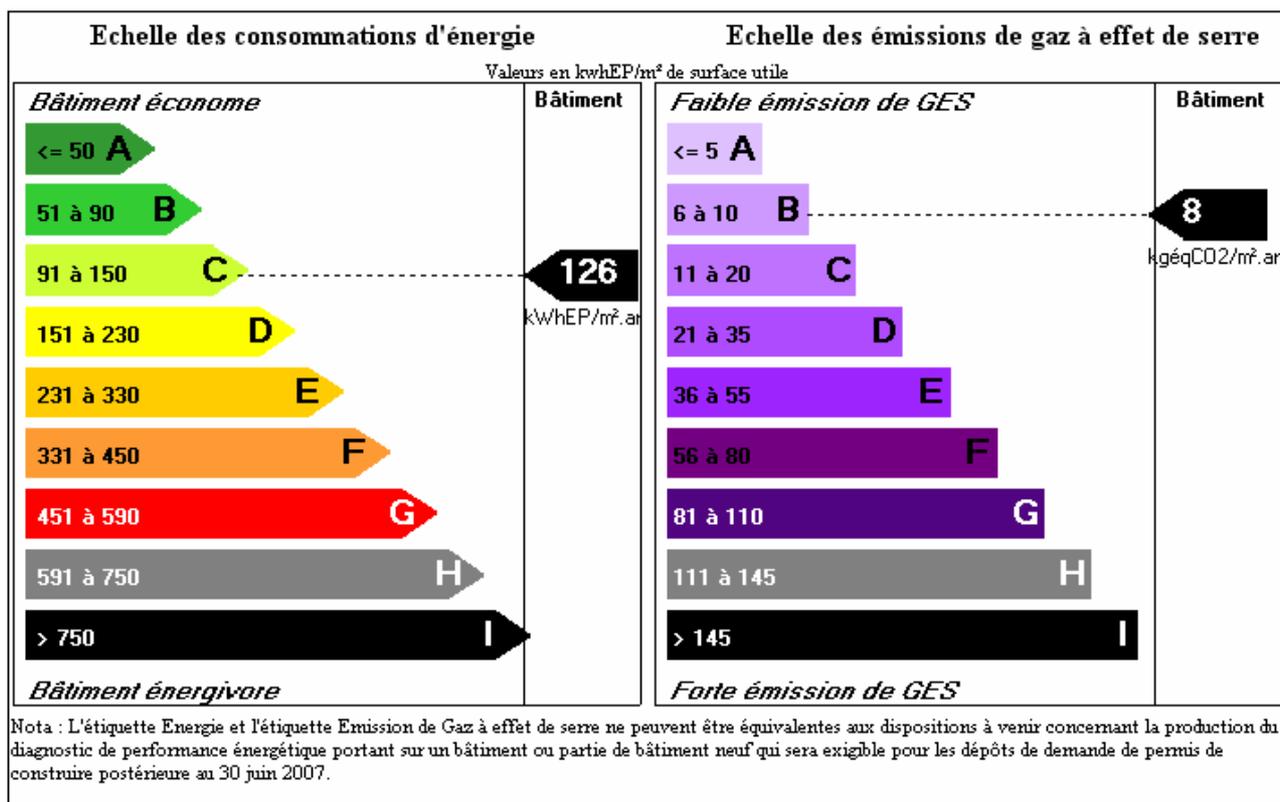
Etiquette énergétique du bâtiment réhabilité suivant la solution 1.2 – sans panneaux de verre :



Etiquette énergétique du bâtiment réhabilité suivant la solution 1.3 – avec toitures végétales :



Etiquette énergétique du bâtiment réhabilité suivant la solution 3.1 – intermédiaire :



Etiquette énergétique du bâtiment réhabilité suivant la solution 3.2 – sans éclairage :

