

SGG CIPI D.D.E. de la GIRONDE Service Maîtrise d'Ouvrage Immobilière / SMOI 1 Cité Administrative – Tour A 19ème étage Rue Jules Ferry – B 99 33090 BORDEAUX Cedex	DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT DE LA GIRONDE CITE ADMINISTRATIVE DE BORDEAUX ETUDE DE FAISABILITE ENERGIE ET DEVELOPPEMENT DURABLE	
	ASSISTANCE A MAITRISE D'OUVRAGE	
<u>AMO HQE</u> CA'INGÉNIERIE 5 allée Charlie Chaplin 78260 ACHERES 01 39 22 92 05 ca-ingenierie@wanadoo.fr		

ETUDE DES SOLUTIONS D'AMELIORATION DE LA PERFORMANCE ENERGETIQUE

Indice	Diffusé le	Modification	Etabli par	Vérifié par	Validé par
A	20/10/08	Création / Rapport minute	P.WAGNER	A.LEHELLOCO	M.HABART
B	21/11/08	Mise à jour / Prix fournisseurs	P.WAGNER	A.LEHELLOCO	M.HABART
C	18/12/08	Intégration remarques MOA / Gestionnaire	P.WAGNER	A.LEHELLOCO	M.HABART

N° Affaire	Phase	Discipline	Type	Numéro	Indice
BRXCAD	PGM	AMO	NT	500	C

SOMMAIRE

1. PREAMBULE	3
1.1. PRESENTATION DU PROJET	3
1.2. OBJET DE LA MISSION	3
1.3. OBJET DE LA NOTE	3
2. SOLUTIONS D'AMELIORATION DE L'ENVELOPPE DU BATIMENT	4
2.1. SOLUTION A : AMELIORATION DES VITRAGES ET MENUISERIES	4
2.2. SOLUTION B : AMELIORATION DE L'ISOLATION DES ALLEGES ET MENEaux	6
2.3. SOLUTION C : REDUCTION DES PONTS THERMIQUES	8
2.4. SOLUTION D : REMISE EN ETAT DES BRISE SOLEIL MOBILES	10
2.5. SOLUTION E : AMELIORATION DE LA PERMEABILITE A L'AIR DU BATIMENT	12
3. SOLUTIONS D'OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DES EQUIPEMENTS TECHNIQUES ACTUELS	15
3.1. SOLUTION F : OPTIMISATION DE LA GESTION DE L'INTERMITTENCE EN CHAUFFAGE	15
3.2. SOLUTION G : SURVENTILATION NOCTURNE ESTIVALE	18
3.3. SOLUTION H : AMELIORATION DES SYSTEMES D'ECLAIRAGE (TOUR A)	21
3.4. SOLUTION I : REDUCTION DES CONSOMMATIONS DES ASCENSEURS	22
4. SOLUTIONS D'AMELIORATION DES EQUIPEMENTS	23
4.1. SOLUTION J : REMPLACEMENT DES CHAUDIERES	23
4.2. SOLUTION K : REMPLACEMENT DES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACEE	24
4.3. SOLUTION L : REMPLACEMENT DES EJECTO-CONVECTEURS	26
4.4. SOLUTION M : REMPLACEMENT DE LA CENTRALE DE TRAITEMENT D'AIR AVEC RECUPERATION DE CHALEUR SUR L'AIR EXTRAIT	26
4.5. SOLUTION N : SYSTEMES D'ECLAIRAGE DE LA TOUR B	29
4.6. SOLUTION O : SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE (ECS)	30
5. RECAPITULATIF DES RESULTATS	32
6. CROISEMENT DES SOLUTIONS	33
6.1. SOLUTIONS PROPOSEES	33
6.2. RESULTATS	33
7. RECOMMANDATIONS	35
8. ANNEXES	36

1. PREAMBULE

1.1. PRESENTATION DU PROJET

La Tour B de la cité administrative de Bordeaux, construite en 1973, fait l'objet d'une remise aux normes de sécurité incendie (normes SSI) et d'un désamiantage en vue d'améliorer la sécurité et le confort des personnes y travaillant.

Cette tour de bureaux de 21 étages accueillant des services de l'Etat présente une surface SHON totale d'environ 19.000 m².

Afin d'inscrire ces travaux de rénovation dans une démarche de développement durable, d'améliorer les performances énergétiques de ce bâtiment et d'en maîtriser des coûts d'exploitation, la Direction Départementale de l'Equipeement de la Gironde souhaite mener ces travaux selon les principes de Haute Qualité Environnementale (HQE).

1.2. OBJET DE LA MISSION

L'objet de la présente proposition est d'accompagner la Direction Départementale de l'Equipeement de la Gironde dans l'intégration d'exigences techniques et fonctionnelles dans la programmation des travaux de la Tour B.

Cette mission comprend les tâches suivantes :

- o Un rappel réglementaire afin de récapituler les exigences réglementaires applicables à l'opération en matière énergétique, niveau de base à atteindre et les objectifs plus ambitieux de performance énergétique.
- o Une analyse du site permettant de mettre en valeur ses atouts et ses opportunités.
- o Le recueil des attentes des parties intéressées (utilisateurs, gestionnaires...)
- o Un audit énergétique des bâtiments (Tour A + Tour B, hors pôle restauration et crèche), une étude d'identification des axes d'amélioration de la performance énergétique des bâtiments et une proposition de plan d'actions avec une estimation des coûts d'investissement et économies d'exploitation.
- o Une identification des cibles HQE prioritaires et la hiérarchisation pour intégration au programme des travaux de la Tour B

1.3. OBJET DE LA NOTE

L'objet de la présente note est de présenter les solutions d'améliorations de la performance énergétique des bâtiments.

Ces solutions reposent sur les points suivants :

- o Une amélioration de l'enveloppe de la Cité Administrative,
- o L'optimisation du fonctionnement des équipements techniques actuels,
- o Une amélioration des équipements de production et distribution énergétiques.

L'impact des solutions sur les consommations énergétiques (électricité et gaz) de la Cité Administrative est calculé par injection dans la modélisation du bâtiment et leur rentabilité est évaluée par estimation des coûts d'investissement et des gains en coûts d'exploitation.

Ces coûts sont obtenus soit par application de ratios issus d'opérations récentes soit par consultation d'entreprises spécifiques et représentent des prévisions budgétaires. Après le choix des solutions, il appartiendra à la maîtrise d'œuvre de préciser ces montants.

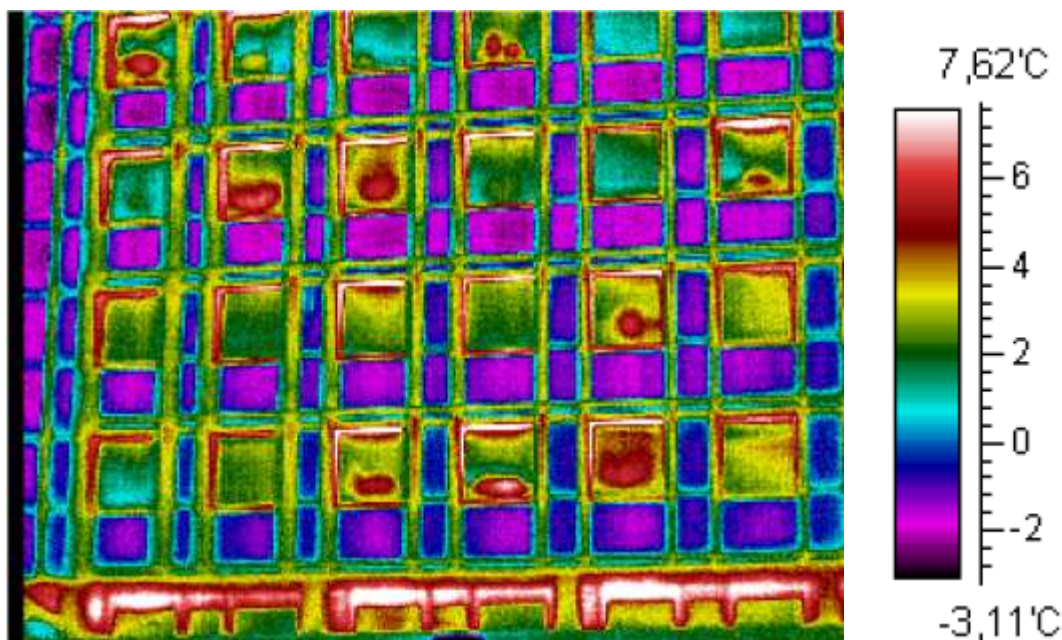
2. SOLUTIONS D'AMÉLIORATION DE L'ENVELOPPE DU BATIMENT

2.1. SOLUTION A : AMÉLIORATION DES VITRAGES ET MENUISERIES

2.1.1. Description de la solution

Les ouvrants actuels de la Tour B sont constitués de menuiseries métalliques sans rupteurs de ponts thermiques et de simple vitrage 6 mm. Les joints sont également en mauvais état. Le coefficient de déperditions de ce complexe est de $5,95 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ (Source : OUEST ALU FACADES).

Le rapport d'inspection des façades par thermographie infrarouge réalisé par DALKIA montre que les vitrages et menuiseries sont les principales zones de déperditions de chaleur au niveau des façades du bâtiment.



Thermographie infrarouge de la façade sud de la Tour B (Source : DALKIA)

Il serait envisageable de remplacer ces ouvrants par une menuiserie aluminium à rupture de ponts thermiques équipée d'un double vitrage de type PLANITHERM (SAINT-GOBAIN) 6/16/6 à lame d'argon (facteur solaire 70%) sur la façade Nord et de type PLANISTAR (SAINT-GOBAIN) 6/16/6 à lame d'argon (facteur solaire 40%) sur les façades Est, Ouest et Sud.

Le coefficient de déperditions de l'ensemble est de $1,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

2.1.2. Impact sur les consommations énergétiques

L'impact du remplacement des vitrages sur les consommations énergétiques de la Cité Administrative a été évalué par modification des vitrages du bâtiment.

Les gains obtenus sont les suivants.

	Chauffage (gaz)	Climatisation (électricité)
Tour A		
Gain énergie (kWh)	563 052	16 188
Gain %	47%	23%
Tour B		
Gain énergie (kWh)	467 252	37 507
Gain %	44%	58%
Galette		
Gain énergie (kWh)	383 216	9 944
Gain %	45%	53%
Total		
Gain énergie (kWh)	1 413 519	63 640
Gain %	46%	41%

Cette solution permet un gain important sur les consommations de chauffage et de climatisation.

2.1.3. Investissement et rentabilité

Le remplacement des vitrages de la Cité Administrative a fait l'objet d'une consultation de la société COVERIS.

Le temps de retour sur investissement a été obtenu en considérant une augmentation annuelle du prix de l'électricité et du gaz de 3%.

	Investissement (€ HT 2008)	Temps de retour (années)
Tour A	851 951 €	24,80
Tour B	801 816 €	25,71
Galette	842 551 €	36,21
Total	2 496 318 €	28,11

2.2. SOLUTION B : AMELIORATION DE L'ISOLATION DES ALLEGES ET MENEUX

2.2.1. Description de la solution

Les allèges et meneaux du bâtiment sont constitués d'une couche de 3 cm d'isolant de type STYROFOAM (coefficient de conductivité thermique λ de 0,023 W/m.°K).
Le coefficient de déperdition de cette partie de façade est de 1,93 W/m².°K.

Il serait possible d'envisager le remplacement de l'isolant existant par une couche d'isolant de type polyuréthane de 6 cm. Cette épaisseur d'isolant permettrait d'obtenir un coefficient de déperditions des allèges et meneaux d'environ 0,37 W/m².°K soit une amélioration de 80% par rapport à leur état actuel.

La mise en place d'une épaisseur d'isolant plus importante ne permettrait pas d'engendrer de gains substantiels plus importants par rapport aux coûts supplémentaires d'autant que la place disponible pour l'intégration de l'isolant au niveau des façades est limitée.

De plus, le remplacement de l'isolant nécessite également le remplacement de la plaque de placoplâtre disposée sur la partie intérieure de la façade.

Il est à noter que le polyuréthane est un matériau classé M1 ou M3 c'est-à-dire de non combustible à moyennement combustible selon les additifs ignifugeants utilisés. D'après la réglementation IGH le potentiel calorifique des façades doit être inférieur à 25 MJ/m².

Si cette solution est adoptée, il faudra veiller à employer un isolant polyuréthane permettant de respecter la limite de potentiel calorifique des façades imposée par la réglementation.

2.2.2. Impact sur les consommations énergétiques

L'impact de l'amélioration de l'isolation des allèges et meneaux sur les consommations énergétiques de la Cité Administrative a été évalué par amélioration de l'isolation des parois du bâtiment.

Les gains sur les consommations énergétiques obtenus par augmentation de l'épaisseur d'isolant sont les suivants.

	Chauffage (gaz)	Climatisation (électricité)
Tour A		
Gain énergie (kWh)	208 580	- 4 882
Gain %	17%	-7%
Tour B		
Gain énergie (kWh)	168 649	802
Gain %	16%	1%
Galette		
Gain énergie (kWh)	3 389	-
Gain %	0%	0%
Total		
Gain énergie (kWh)	380 619	- 4 079
Gain %	12%	-3%

Cette solution permet un gain important sur les consommations de chauffage.

On observe une augmentation des consommations de climatisation de la Tour A. Ceci est dû au fait que l'amélioration de l'isolation limite les déperditions et l'évacuation des apports internes.

En Tour A, la densité d'agents et d'ordinateurs en fonctionnement est plus importante qu'en Tour B. Les besoins en rafraîchissement sont donc plus importants sur cette Tour.

2.2.3. Investissement et rentabilité

Les surfaces de parois opaques susceptibles d'être isolées sont de 8 200 m² pour la Tour A et de 5 400 m² pour la Tour B.

Le coût de la solution est estimé en fonction de données obtenues par CA'INGENIERIE sur des opérations similaires.

La mise en place de cette solution est de 16€ (HT 2008)/m² pour l'épaisseur d'isolation polyuréthane (6 cm) par l'intérieur et de 5€ (HT 2008)/m² pour la plaque de placoplâtre de type BA13. Ce coût comprend le prix des matériaux et leur mise en place par intervention depuis l'intérieur des locaux.

Le temps de retour sur investissement a été obtenu en considérant une augmentation annuelle du prix de l'électricité et du gaz de 3%.

	Investissement (€ HT 2008)	Temps de retour (années)
Tour A	172 026 €	14,93
Tour B	113 741 €	11,56
Galette	- €	/
Total	285 768 €	13,26

2.3. SOLUTION C : REDUCTION DES PONTS THERMIQUES

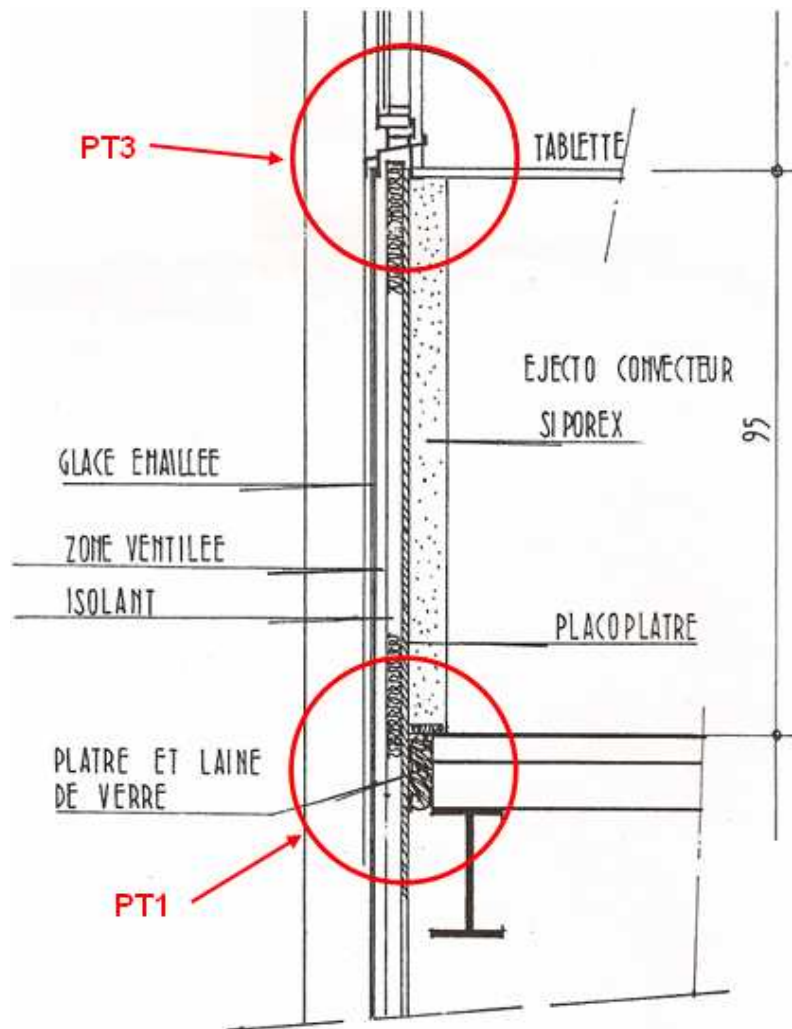
La structure de la Tour B est à l'origine de la création de trois ponts thermiques :

- o Entre la dalle et la façade mur rideau
- o Entre le meneau et l'allège
- o Entre la menuiserie, l'allège et le meneau

o **Pont thermique entre la dalle et la façade mur rideau (PT1)**

D'après l'étude OUEST ALU FACADES, les façades de la Tour B disposent d'une épaisseur de plâtre et de laine de verre entre la dalle et la façade constituée d'une couche d'isolant.

Le pont thermique est donc supprimé d'une part par la couche de plâtre et de laine de verre et d'autre part par l'isolant de la façade. Cette disposition est satisfaisante.



Coupe verticale sur trame Tour B (Source : OUEST FACADES ALU)

o Pont thermique entre le meneau et l'allège (PT2)

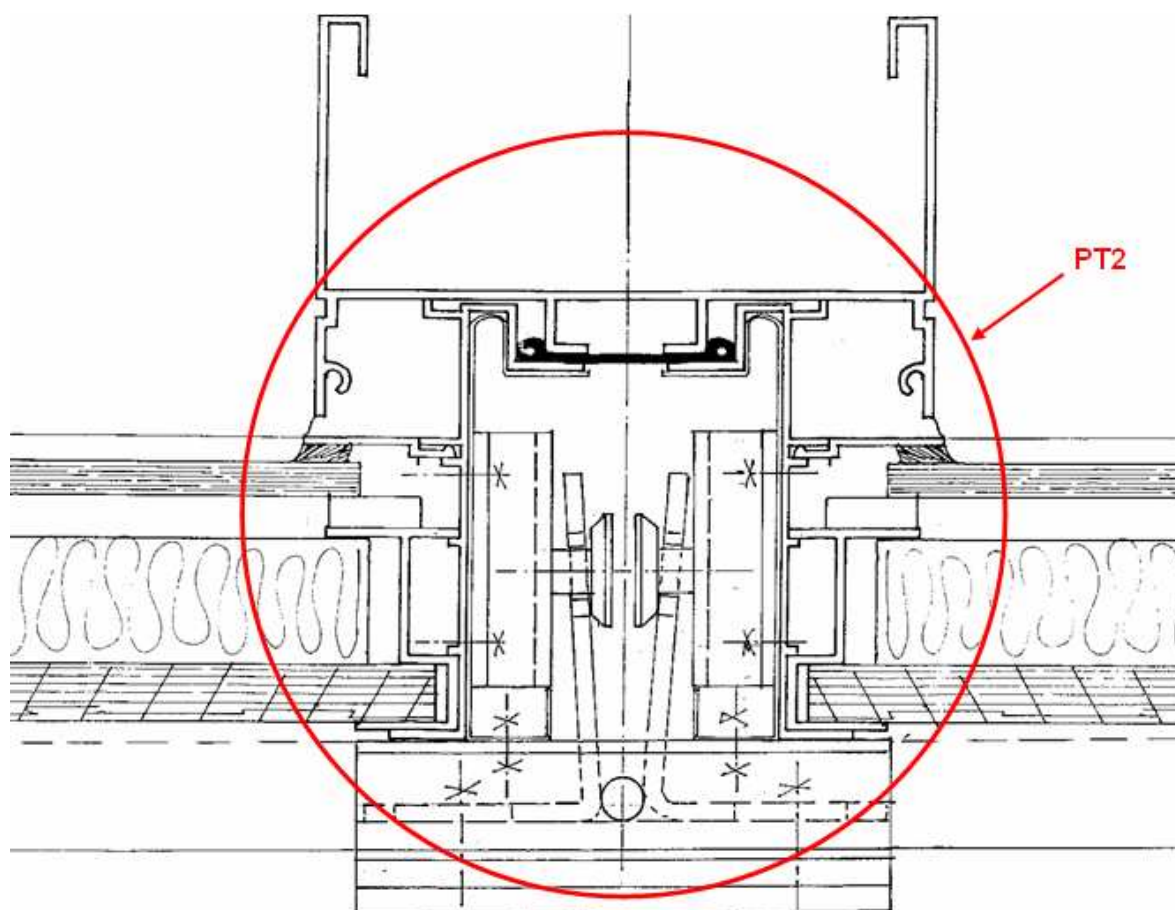
Ce pont thermique est présent au niveau des pattes de fixation entre le meneau et l'allège sur lesquelles les lames d'aluminium brise-soleil sont également fixées.

Le pont thermique est visible sur la thermographie infrarouge au-dessous de chaque vitrage de la façade présentée précédemment.

Le traitement de ce pont thermique impose une modification des pattes de fixation et un traitement des façades par l'extérieur.

Compte tenu de la logistique à mettre en œuvre qui nécessite la dépose des façades et des brise-soleil et de la faible surface de déperditions traitée, cette solution ne sera pas étudiée. La solution du traitement de ce pont thermique doit être envisagée dans le cadre d'un traitement intégral des façades.

De plus, toute modification extérieure des façades nécessite l'aval des architectes, concepteurs et ayants droits du bâtiment ce qui risque de poser des problèmes d'exécution.



Coupe horizontale sur meneau au droit de l'allège Tour B (Source : OUEST FACADES ALU)

o Pont thermique entre la menuiserie, l'allège et le meneau (PT3)

Ce pont thermique est créé par la menuiserie sur tout le cadre. Sa suppression nécessite le remplacement complet de la menuiserie, solution présentée précédemment (Solution A).

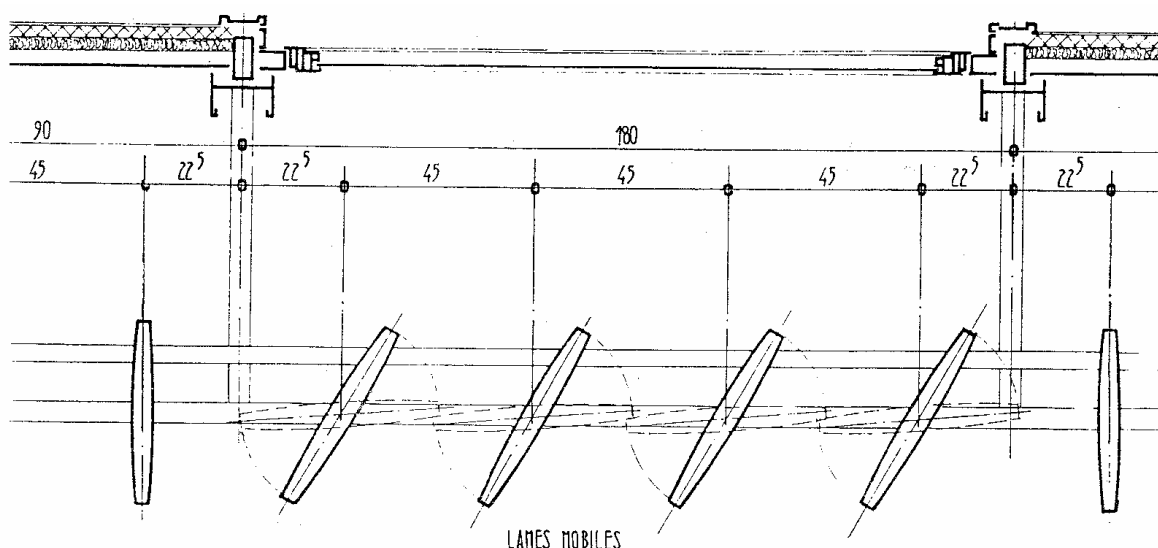
2.4. SOLUTION D : REMISE EN ETAT DES BRISE SOLEIL MOBILES

2.4.1. Description de la solution

Les brise-soleil mobiles des façades est (Tour B) et ouest (Tour B et Tour A) ne fonctionnent plus. Leur remise en état de marche permettrait d'optimiser leur position en fonction de la course du soleil et ainsi de limiter les apports solaires notamment en intersaison ou en période estivale lorsque les locaux sont climatisés.

2.4.2. Impact sur les consommations énergétiques

L'impact de cette solution sur les consommations énergétiques de la Cité Administrative a été évalué par mise en place d'une protection solaire mobile sur les vitrages des façades ouest des Tour A et B.



Coupe horizontale façade ouest Tour B (Source : OUEST FACADES ALU)

Le mouvement des lames au cours de la journée a été modélisé en fonction de l'azimut du soleil. Le pourcentage de surface vitrée occultée par la protection dépend de l'angle des lames par rapport à la façade.

Façade Ouest		
Azimut solaire	Angle des lames par rapport à la façade	% d'occultation de la surface du vitrage
0	90°	0%
30	70°	33%
60	50°	64%
90	30°	84%
> 120	10°	95%

Pour ne pas détériorer les apports solaires hivernaux permettant des gains importants sur les consommations de chauffage, il a été considéré que les protections solaires ne fonctionnent qu'en dehors de la saison de chauffe qui se déroule de mi-octobre à début mai. De plus, ce système ne permet pas d'ouvrir les lames en période hivernale afin de favoriser les apports solaires en cette période.

Cette solution permet de limiter fortement les besoins en rafraîchissement des bâtiments.

	Chauffage (gaz)	Climatisation (électricité)
Tour A		
Gain énergie (kWh)	-	9 881
Gain %	0%	14%
Tour B		
Gain énergie (kWh)	-	9 602
Gain %	0%	15%
Galette		
Gain énergie (kWh)	-	-
Gain %	0%	0%
Total		
Gain énergie (kWh)	-	19 517
Gain %	0%	13%

2.4.3. Investissement et rentabilité

La réparation des brise-soleil a fait l'objet d'une consultation en décembre 2004 auprès de la société COULON/VILAIN. Les montants de la réparation ont été actualisés par application de l'augmentation de la valeur des index nationaux du bâtiment BT01 (« Tous corps d'état ») et BT43 (« Menuiserie en alliage d'aluminium ») qui ont subi une hausse de 17% entre décembre 2004 et octobre 2008.

Le temps de retour sur investissement a été obtenu en considérant une augmentation annuelle du prix de l'électricité et du gaz de 3%.

	Investissement (€ HT 2008)	Temps de retour (années)
Tour A	461 930 €	> 50
Tour B	635 405 €	> 50
Galette	/	/
Total	1 097 335 €	> 50

2.5. SOLUTION E : AMELIORATION DE LA PERMEABILITE A L'AIR DU BATIMENT

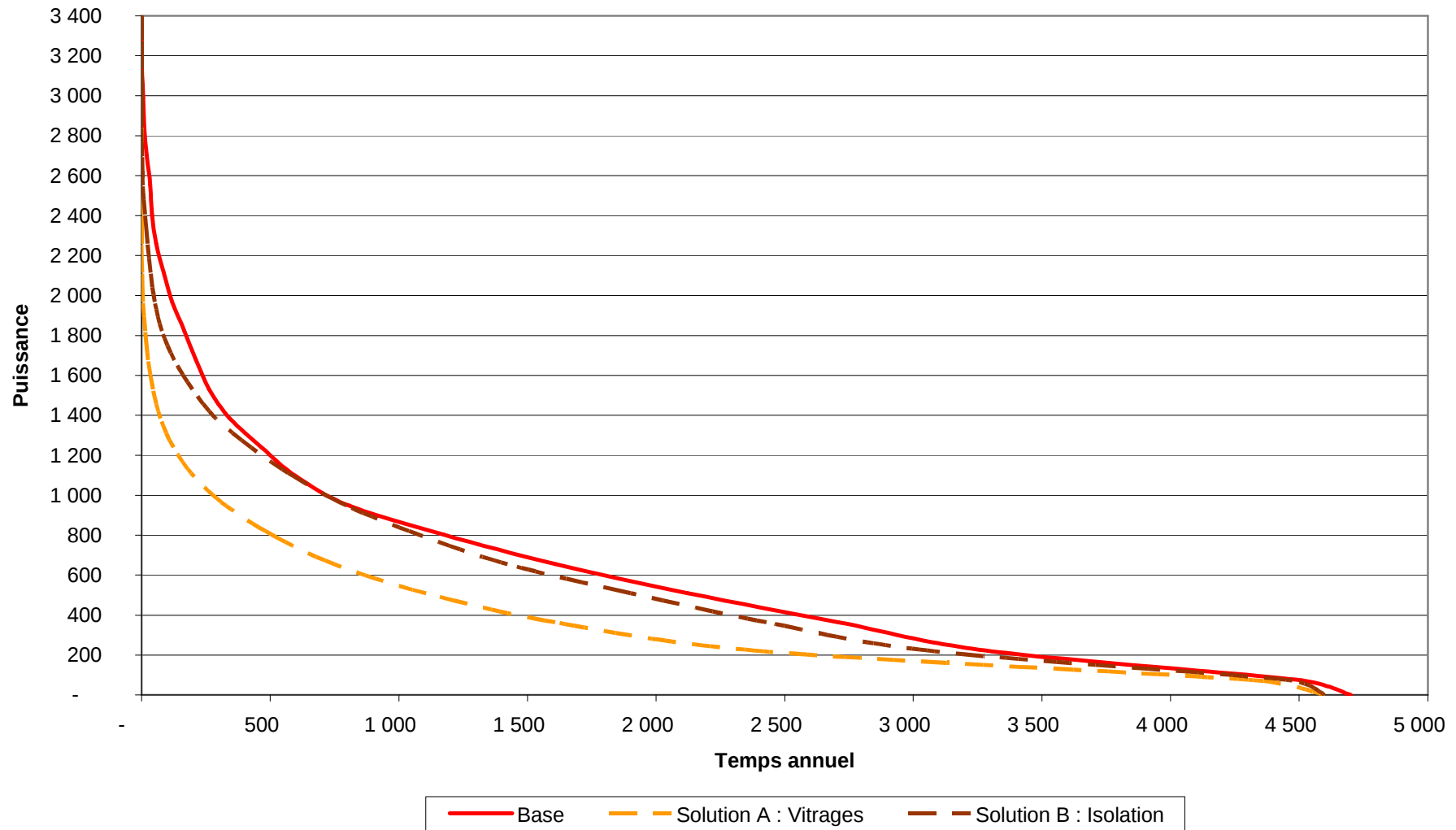
La forte perméabilité à l'air du bâtiment est principalement due à la mauvaise étanchéité des menuiseries et vitrages

Ce phénomène pourrait être traité par la solution du remplacement des menuiseries et vitrages (Solution A), par la remise à neuf des joints des vitrages ou par la reprise complète des façades.

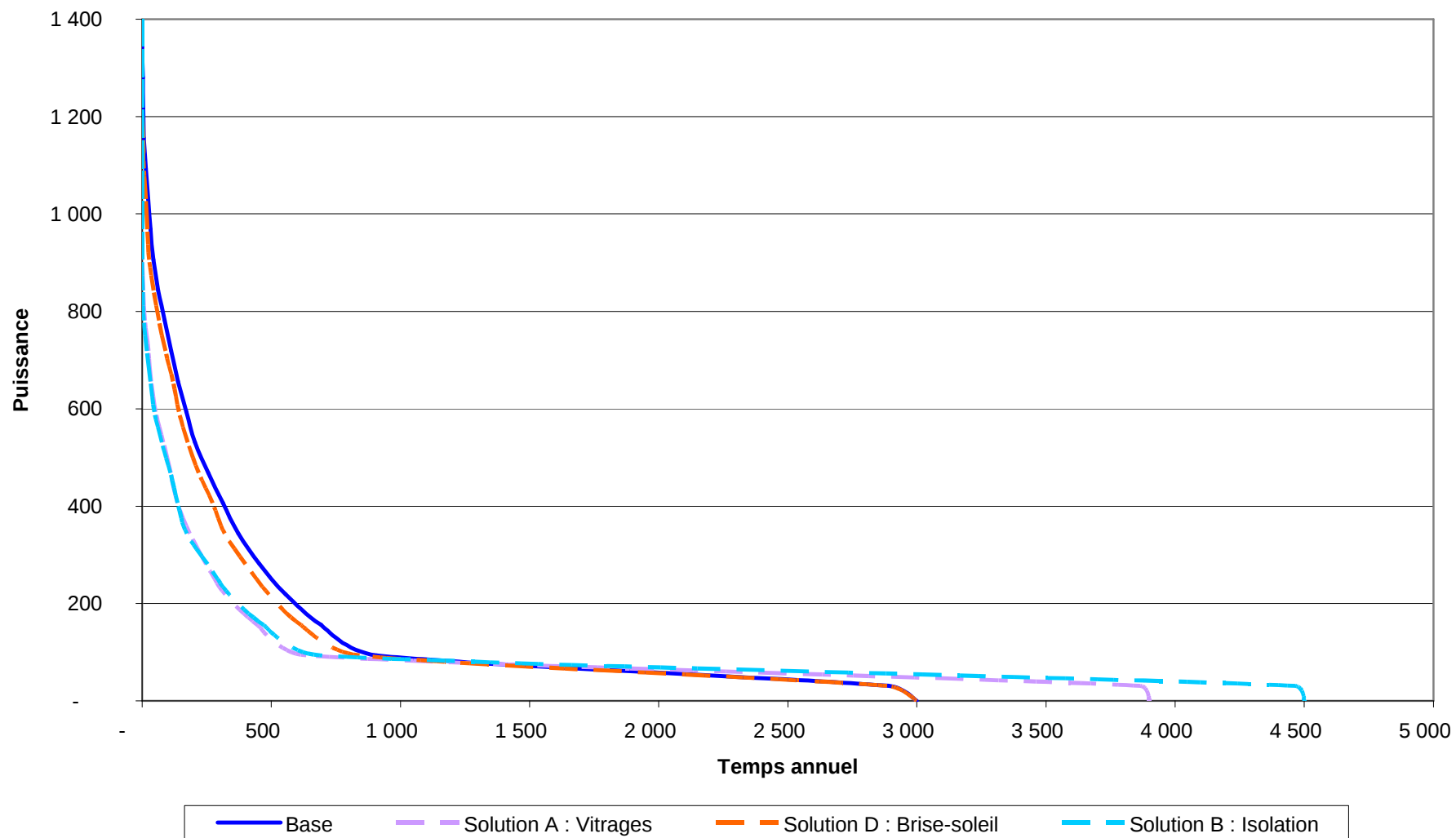
L'amélioration de l'étanchéité du bâtiment aura un impact sur les consommations énergétiques. Les besoins de chauffage diminueront et les besoins de rafraîchissement augmenteront mais il est difficile de quantifier ces évolutions avec précision. Cette solution ne sera pas étudiée.

Les courbes de charge monotones des besoins de chauffage et de rafraîchissement pour les solutions A, B et D appliquées à l'ensemble du bâtiment sont présentées sur les graphiques suivants.

Courbe de charge monotone des besoins de chaleur



Courbe de charge monotone des besoins climatisation



3. SOLUTIONS D'OPTIMISATION DU FONCTIONNEMENT DES EQUIPEMENTS TECHNIQUES ACTUELS

3.1. SOLUTION F : OPTIMISATION DE LA GESTION DE L'INTERMITTENCE EN CHAUFFAGE

3.1.1. Description des solutions

L'optimisation de la gestion de l'intermittence en chauffage repose sur différentes solutions dont :

- o L'abaissement des températures de consigne en période d'inoccupation
- o L'optimisation de la loi de chauffe par ajustement des temps de relance

3.1.2. Résultats théoriques

o Solutions

Abaissement des températures de consigne en période d'inoccupation

Actuellement, les températures de consigne intérieures sont de 19°C en période d'occupation et de 16°C en période d'inoccupation (nuit et week-end).

La température de consigne en inoccupation pourrait être abaissée afin de limiter les déperditions thermiques nocturnes. En effet, plus la température intérieure est élevée, plus les déperditions et les besoins de chauffage sont importants.

Cette manipulation peut-être envisagée sous réserve d'avoir la puissance de chauffe suffisante pour la relance du chauffage le matin avant l'arrivée des premiers occupants car les puissances appelées sont plus élevées.

La puissance de chauffe disponible actuellement s'élève à 4500 kW. La troisième chaudière n'est utilisée que très rarement en relance, lors des jours les plus froids de l'année ce qui laisse une réserve de puissance d'environ 1450 kW.

Il est donc tout à fait envisageable d'abaisser la température de consigne en inoccupation.

L'évolution des besoins de chauffage de la Cité Administrative a été évaluée pour différentes températures de consigne en période d'inoccupation.

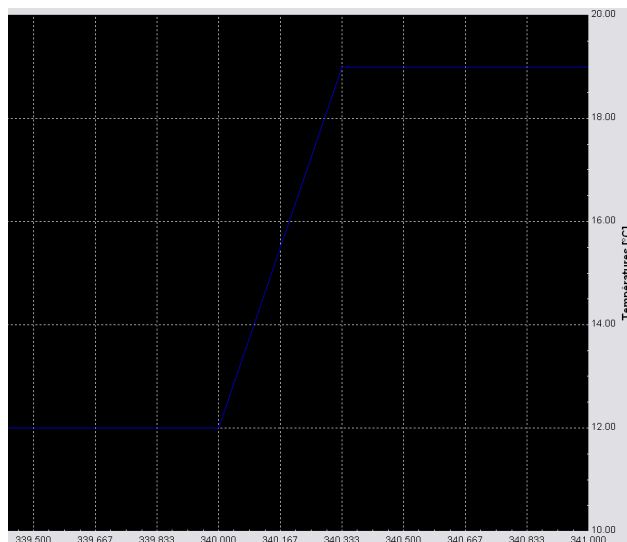
Optimisation de la loi de chauffe par optimisation des temps de relance

La relance du chauffage le matin peut être adaptée en fonction de la température extérieure et de la température intérieure de manière à optimiser le démarrage pour d'obtenir la température de consigne voulue au moment de l'arrivée des occupants.

Plus la température de consigne en période d'inoccupation et plus la température extérieure sont basses, plus le chauffage nécessitera un démarrage tôt le matin.

Pour vérifier la pertinence de cette solution, une étude a été réalisée sur une zone de la Cité administrative. Les temps de remontée en température de la zone ont été évalués pour des températures de consigne en inoccupation de 16°C puis 12°C lors de la période la plus froide de l'année soit une température extérieure de -5°C (mi-janvier).

Les temps de remontée en température obtenus sont inférieurs à 1 heure. Ceci montre qu'une optimisation du temps de relance n'est pas intéressante et que le chauffage des locaux peut être démarré à 6H pour obtenir une température de consigne de 19°C à 7H. Cette solution ne sera pas approfondie.



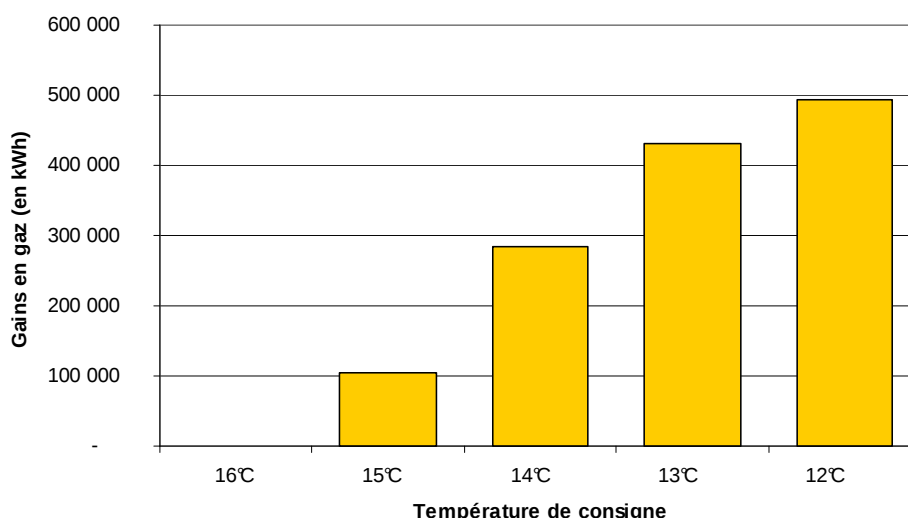
Temps de remontée en température pour une température de consigne de 12°C en inoccupation.

o Impact sur les consommations énergétiques

Les consommations de gaz en fonction des températures de consigne en période d'inoccupation sont présentées dans le tableau suivant.

Température de consigne	16°C	15°C	14°C	13°C	12°C
Consommations de gaz (kWh/an)	3 038 557	2 934 494	2 754 872	2 606 406	2 545 466
Gains consommation de gaz (kWh/an)	-	104 063	283 685	432 151	493 090
% gain consommation gaz	0%	3%	9%	14%	16%

Gains sur les consommations de gaz



3.1.3. Résultats pratiques

Cette solution a été mise en application sur la Cité Administrative au cours du week-end du 28 au 30 novembre 2008. Le chauffage a été interrompu vendredi soir (28/11/08) à 20H00 et a été relancé le dimanche soir (30/11/08) à minuit.

Les conditions météorologiques de ce week-end étaient les suivantes :

- o Journée froide vendredi (28/11/08) (gelée en matinée).
- o Redoux pendant le week-end.
- o Températures minimales de 3°C le lundi matin (01/12/08).
- o Vents violents de samedi à dimanche (29-30/11/08).

Les résultats suivants ont été constatés :

- o Le dimanche soir à minuit seules 2 des 3 chaudières ont pu être mises en route car l'atteinte de la température maximale de l'eau rendait inutile le lancement de la 3^{ème} chaudière.
- o Au moment de la relance des chaudières (soit plus de 48 heures après leur arrêt), la température intérieure était encore de 16°C dans les bâtiments.
- o Les températures minimales atteintes dans les locaux étaient de 13°C en Tour A et de 16°C en Tour B.
- o En Tour A, la température normale n'a été atteinte que vers 07H00-08H00 le lundi matin (01/12/08).
- o En Tour B, à 07H00-08H00 le lundi matin, la température intérieure était déficitaire d'un à 1,5°C par rapport à la température de consigne de 19°C (cette différence avec la Tour A peut être due à une moindre efficacité des éjecto-convecteur de la Tour B).

Ceci démontre que les résultats théoriques de comportement du bâtiment obtenus par la simulation diffèrent de la pratique notamment de part le fait que la puissance disponible avec la troisième chaudière n'est pas exploitable et que le noyau en béton du bâtiment est peut-être à l'origine d'une augmentation de l'inertie thermique du bâtiment.

Néanmoins, la solution a été entreprise et il convient de poursuivre l'expérience lors de périodes plus froides afin de vérifier la température minimale atteinte dans les locaux et de paramétrer les températures d'intermittence et la relance du chauffage le matin afin de ne pas pénaliser le confort des premiers occupants qui arrivent vers 7H/7H30.

3.2. SOLUTION G : SURVENTILATION NOCTURNE ESTIVALE

3.2.1. Description de la solution

Cette solution consiste en une ventilation nocturne des locaux en été afin d'évacuer la chaleur emmagasinée à l'intérieur des locaux en journée et de diminuer les consommations énergétiques liées au rafraîchissement.

3.2.2. Impact sur les consommations énergétiques

La surventilation nocturne a été paramétrée pour un fonctionnement aux mois de juin, juillet et août entre 0H et 5H. Les débits considérés correspondent aux débits journaliers.

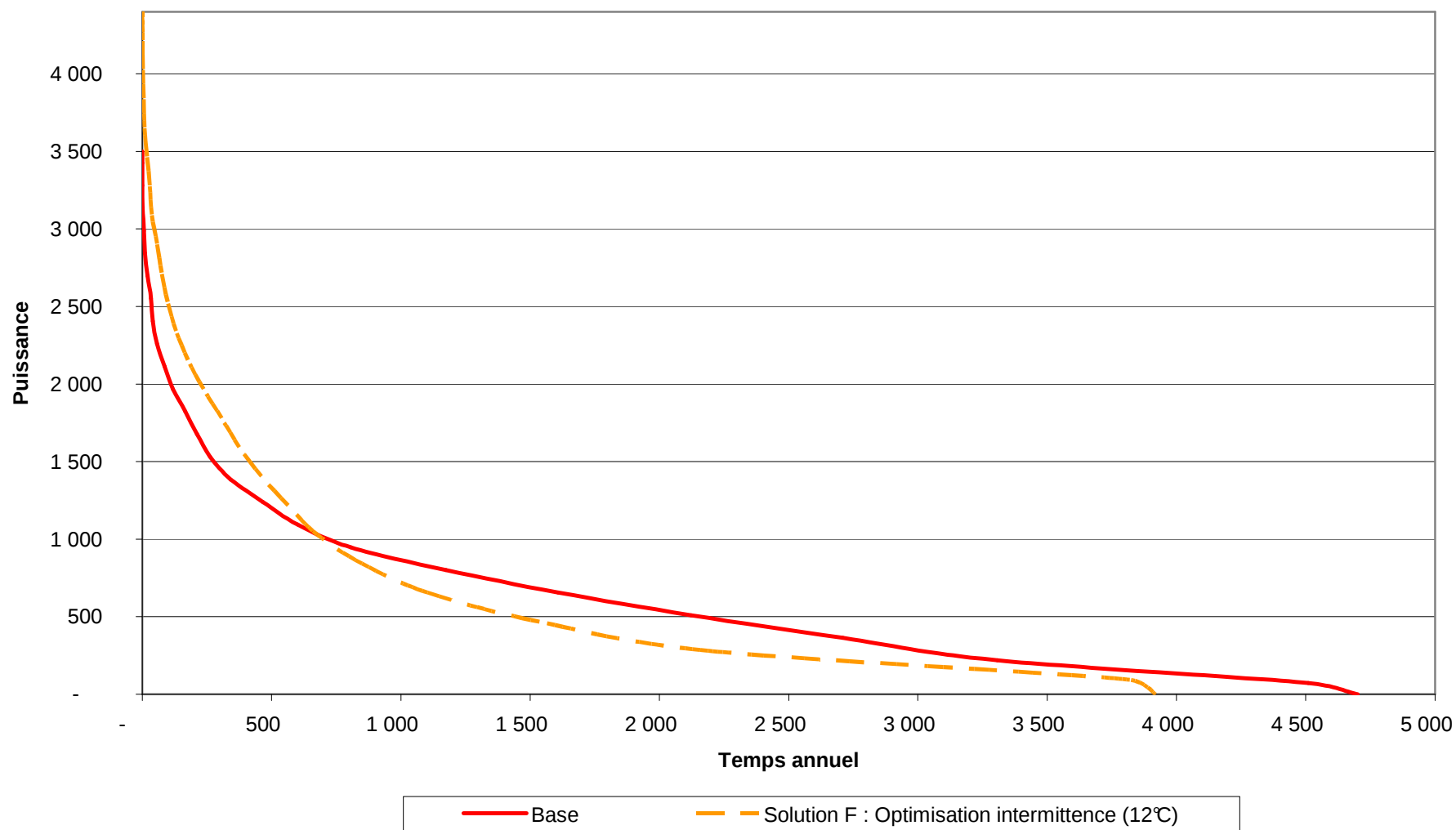
Consommation électricité ventilateurs (kWh/an)	42 120
Gains électricité rafraîchissement (kWh/an)	3 663

La surventilation nocturne estivale ne permet pas de diminuer significativement les besoins de rafraîchissement des locaux et les consommations électriques des ventilateurs sont supérieures aux gains.

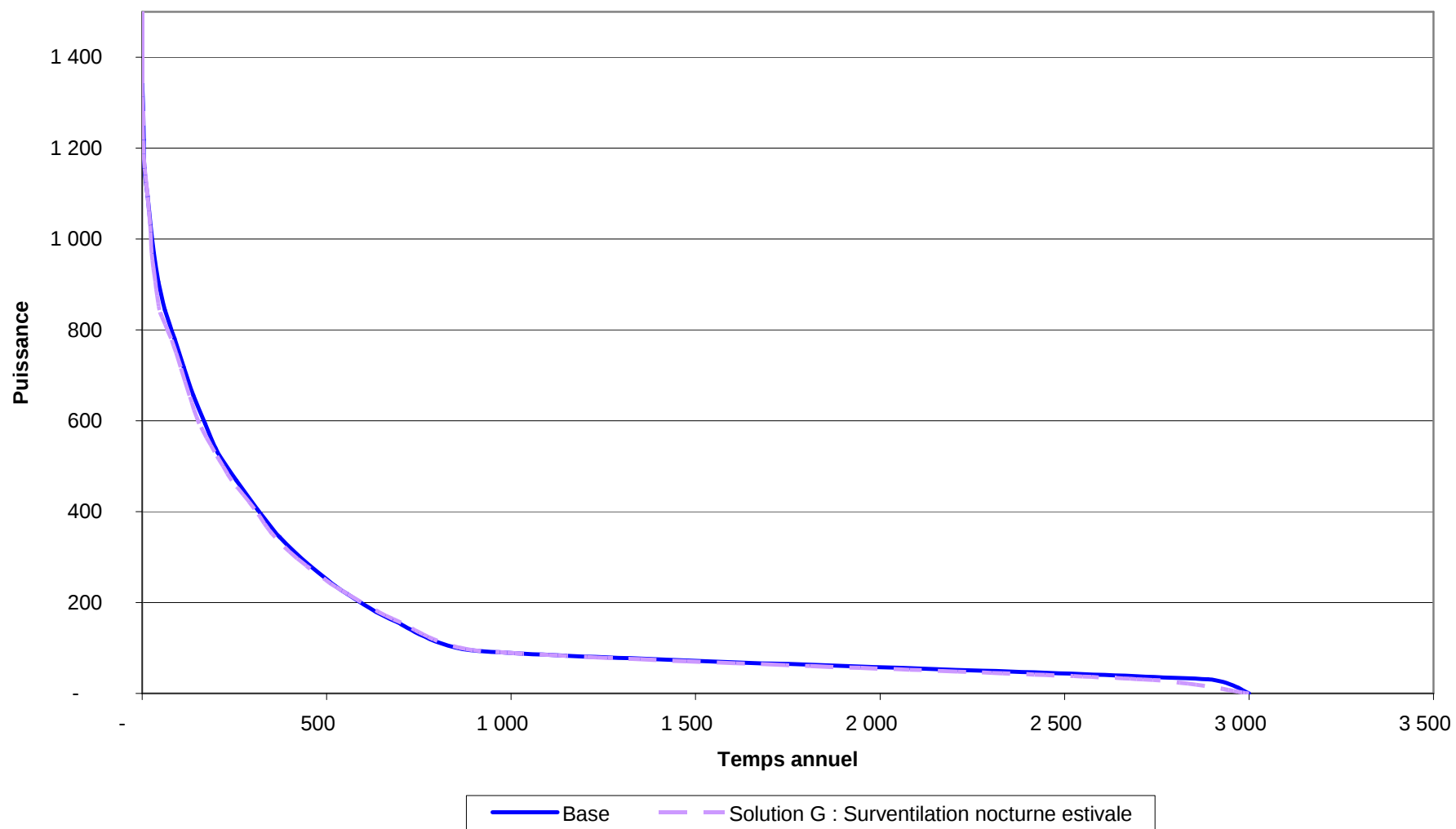
La forte perméabilité à l'air ainsi que les débits de ventilation permettent de déstocker rapidement la chaleur emmagasinée en journée.

Les courbes de charge monotones des besoins de chauffage et de rafraîchissement pour les solutions F et G appliquées à l'ensemble du bâtiment sont présentées sur les graphiques suivants.

Courbe de charge monotone des besoins de chaleur



Courbe de charge monotone des besoins climatisation



3.3. SOLUTION H : AMELIORATION DES SYSTEMES D'ECLAIRAGE (TOUR A)

3.3.1. Description des solutions

o Remplacement des ballasts ferromagnétiques

Les luminaires de la Tour A ont été remplacés récemment lors des travaux de mise en sécurité incendie par des luminaires fluorescents équipés de ballasts ferromagnétiques. Le remplacement des ballasts ferromagnétiques par des ballasts électroniques n'est pas possible pour cause de non-conformité aux normes européennes (CE) (*Source : ETAP Eclairage*).

Le ballast électronique fonctionne sur le principe d'une autorégulation permettant d'adapter la puissance consommée par les tubes pour éviter qu'ils ne fonctionnent à leur puissance maximale. Le ballast électronique substitue ainsi sa propre consommation (entre 3 et 4W) à la puissance régulée sur les tubes.

Selon le type de ballast installé, un plafonnier 4x18W consommera :

- o 73W en ballast électronique,
- o 90W en ballast ferromagnétique soit 18W pour le ballast ce qui équivaut à la consommation d'un tube supplémentaire.

Cette surconsommation peut également être aggravée en fonction de la qualité du ballast et de sa classe énergétique (Classe A, B, C,...).

o Mise en place de détecteurs de présence (circulations et sanitaires)

D'après la réglementation IGH, dans les circulations et parties communes, toute défaillance d'un circuit d'alimentation de l'éclairage ne doit pas avoir pour effet de priver intégralement d'éclairage ces circulations ou parties communes.

Par ailleurs, un niveau d'éclairement de 100 lux doit être maintenu en permanence dans les circulations afin de favoriser l'accès aux personnes handicapées.

Si des détecteurs de présence sont installés, toute panne de l'un des détecteurs priverait d'éclairage une partie de la circulation. Les luminaires des circulations doivent être commandés par des interrupteurs afin de garantir leur sécurité de fonctionnement.

En revanche, les sanitaires de la Tour A pourraient être équipés d'un dispositif d'extinction par détecteurs de présence.

3.3.2. Consommations et investissement

En règle générale, les détecteurs de présence permettent un gain énergétique de 40% (*Source : ETAP Lighting*) par rapport à des luminaires sans détecteurs. Sur un bloc sanitaire ouest, le gain électrique annuel s'élèverait à 300 kWh.

Le coût de mise en place de 3 détecteurs de présence (1 couloir sanitaire, et 1 par bloc sanitaire) est supérieur à 500 € HT (2008).

Le temps de retour sur investissement est supérieur à 15 ans ce qui est supérieur à la durée de vie des détecteurs.

3.4. SOLUTION I : REDUCTION DES CONSOMMATIONS DES ASCENSEURS

Les ascenseurs de la Cité Administrative, de marque OTIS, ont été remplacés il y a moins de 5 ans par des équipements de nouvelle génération.

Un contact a été pris avec la l'agence de la société OTIS basée à Eysines ayant effectué le remplacement des ascenseurs afin d'étudier les possibilités de mise en place de solutions d'économies d'énergie.

D'après la société OTIS, les ascenseurs de la Cité Administrative sont déjà équipés de systèmes de contrôle de la vitesse ascensionnelle, de variation de vitesse du moteur de traction et de l'optimisation des trajets permettant de réduire le nombre de démarrages.

Les solutions existantes pour limiter les consommations énergétiques des appareils actuels sont :

- o Installation d'un détecteur de présence pour l'éclairage de la cabine
- o Récupération d'énergie par système d'entraînement régénératif

Le système de récupération d'énergie par entraînement régénératif (*Système ReGen Drives OTIS*) est un généralement couplé au système de variation de vitesse du moteur et d'optimisation des trajets installé de série sur les nouveaux appareils. Il permet de restituer l'énergie produite durant les phases de freinage au réseau électrique interne du bâtiment afin de réaliser des économies d'énergies.

Les ascenseurs de la Cité Administrative ne sont pas équipés d'un tel système et leur installation nécessiterait le remplacement de nombreuses pièces et un coût de mise en place supérieur à 20% du prix de renouvellement de l'ascenseur. Les économies d'énergies réalisées ne permettraient pas d'obtenir une rentabilité acceptable de la solution (*Source : OTIS*).

En ce qui concerne la solution d'installation d'un détecteur de présence, les nouveaux ascenseurs OTIS ne sont plus équipés de détecteurs de présence suite aux problèmes techniques rencontrés. L'allumage à répétition des luminaires, notamment dans les bâtiments tertiaires, réduit fortement leur durée de vie et des augmentations des fréquences de remplacement des luminaires ont été constatées.

Les ascenseurs de la Cité Administrative disposent déjà de systèmes optimisés pour assurer le confort d'utilisation et limiter les consommations énergétiques des appareils.

4. SOLUTIONS D'AMÉLIORATION DES ÉQUIPEMENTS

4.1. SOLUTION J : REMPLACEMENT DES CHAUDIÈRES

4.1.1. Description de la solution

La production d'eau chaude destinée au chauffage des locaux est assurée par trois chaudières gaz classiques datant de 1987.

Le remplacement des chaudières à l'horizon de leur gros renouvellement par des chaudières à condensation permettrait d'obtenir de meilleures performances.

La technologie des chaudières à condensation offre les meilleurs rendements de fonctionnement actuels grâce à la récupération de la chaleur latente, en plus de la chaleur sensible, contenue dans les fumées. Les rendements sur Pouvoir Calorifique Supérieur (PCS) atteints sont de l'ordre de 98-99% (*Source : VIESSMANN*).

Par rapport aux chaudières actuelles (rendement 91%), le rendement serait amélioré de 7%.

4.1.2. Impact sur les consommations de gaz

Le gain sur les consommations de gaz s'élève à 7%.

	Chauffage (gaz)
Ensemble du bâtiment	
Gain énergie (kWh)	221 492
Gain %	7%

4.1.3. Investissement et rentabilité

L'investissement nécessaire pour le remplacement des chaudières et des brûleurs est de 160.000 € HT (2008).

Les chaudières à condensation ont fait l'objet de consultations séparées de VIESSMANN pour les corps de chauffe et les accessoires annexes, CUENOD pour les brûleurs et FOSELEV SUD-OUEST pour la livraison par grue des équipements.

En considérant une augmentation annuelle du prix du gaz de 3%, le temps de retour sur investissement de cette solution est d'environ 12,5 ans.

	Remplacement des chaudières
Ensemble du bâtiment	
Investissement (€ HT 2008)	160 000 €
Temps de retour (années)	12,5

4.2. SOLUTION K : REMPLACEMENT DES GROUPES DE PRODUCTION D'EAU GLACÉE

4.2.1. Description des solutions

L'eau glacée destinée au rafraîchissement des locaux est produite par deux groupes de puissance frigorifique unitaire 1000 kW (Puissance absorbée 360 kW, COP = 2,5) et fonctionnant au R22. L'eau des compresseurs des groupes est refroidie par quatre tours de refroidissement à voie humide.

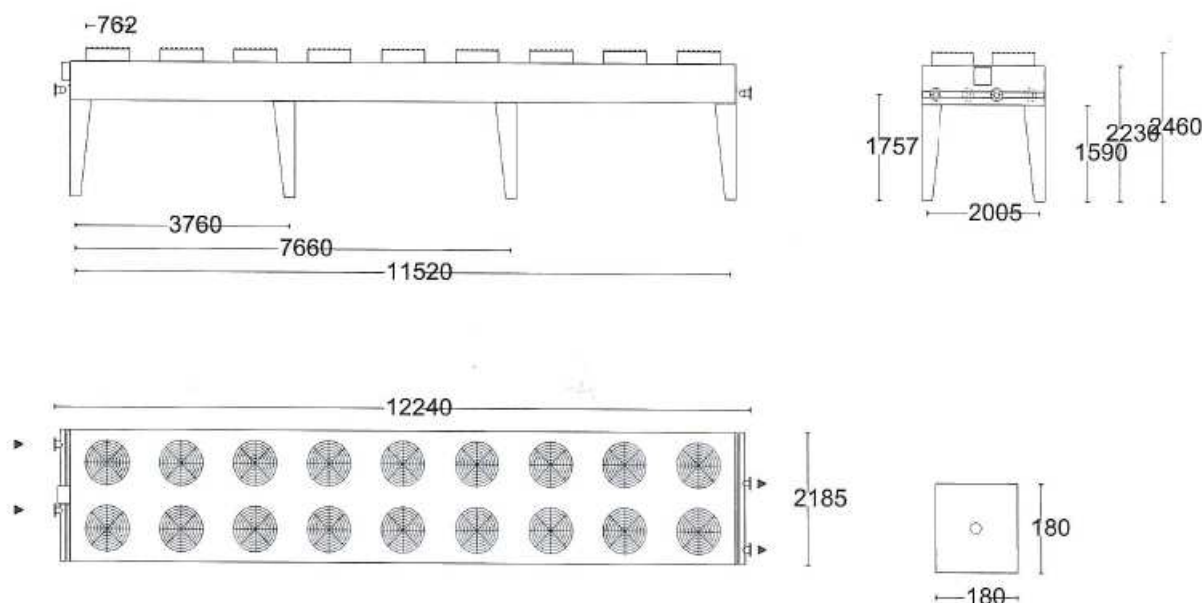
Sachant que le remplacement des tours de refroidissement est prévu par le Gestionnaire pour supprimer les risques de légionellose, deux solutions sont possibles pour le renouvellement des installations de production d'eau glacée de la Cité Administrative :

- o Solution 1 : Remplacement des groupes de production d'eau glacée et des tours de refroidissement par des aérocondenseurs
- o Solution 2 : Remplacement par des groupes à condensation par air positionnés en toiture
- o **Solution K1 : Remplacement des groupes de production d'eau glacée et des tours de refroidissement par des aérocondenseurs**

Les groupes frigorifiques sont remplacés par deux groupes à compresseur à vis de puissance unitaire 1000 kW (puissance absorbée 260 kW, COP = 3,85) fonctionnant au R134a.

Les tours de refroidissement sont remplacés par deux aérocondenseurs placés en toiture.

Les aérocondenseurs et leurs dimensions sont représentés sur le schéma suivant.



Aérocondenseur (Source : TRANE)

o **Solution K2 : Remplacement par des groupes à condensation par air positionnés en toiture**

Deux groupes à condensation par air de puissance unitaire 1063 kW (puissance absorbée 341 kW, COP = 3,1) fonctionnant au R134a sont installés en remplacement des groupes actuels. Leurs caractéristiques de fonctionnement avec refroidissement de l'eau des compresseurs par des aérocondenseurs ainsi que leurs dimensions imposent une installation en toiture de la Tour A.



Groupe à condensation par air (Source : TRANE)

Le poids en fonctionnement de ces appareils étant supérieur à 10 tonnes, des études de structure complémentaires devront être réalisées afin de déterminer si la toiture du bâtiment est capable de supporter ces charges.

4.2.2. Impact sur les consommations d'électricité

La solution 1, qui présente le meilleur coefficient de performance (COP) permet les économies d'électricité les plus importantes.

<i>Ensemble du bâtiment</i>	Remplacement des groupes frigorifiques	
	Solution K1	Solution K2
Gains électricité rafraîchissement (kWh/an)	53 703	30 040
% gains électricité rafraîchissement	35%	20%

4.2.3. Investissement et rentabilité

Les investissements et temps de retour de chaque solution sont présentés dans le tableau suivant. Les investissements ont été obtenus par consultation de la société TRANE et de la société FOSELEV SUD-OUEST pour la livraison des groupes frigorifiques.

<i>Ensemble du bâtiment</i>	Remplacement des groupes frigorifiques	
	Solution K1	Solution K2
Investissement (€ HT 2008)	160 680	127 000
Temps de retour sur investissement (ans)	25,6	32,5

4.3. SOLUTION L : REMPLACEMENT DES EJECTO-CONVECTEURS

Les éjecto-convecteurs en place dans la Tour B sont en fin de vie. Leur remplacement par des appareils neufs a déjà été prévu par le Gestionnaire.

Les nouveaux appareils, plus efficaces pourront être pilotés par la GTC ce qui permettra d'affiner leur régulation et d'optimiser le confort intérieur et les consommations énergétiques.

Sur la base des travaux de la Tour A, le montant total des travaux de remplacement des éjecto-convecteurs de la Tour B sera supérieur à 1.130.000 € HT (2008) (*Source : Gestionnaire de la Cité Administrative*). Ce montant correspond au devis datant de fin 2004 actualisé par application de l'augmentation des index nationaux du bâtiment BT40 (« Chauffage central ») et BT41 (« Conditionnement d'air ») qui ont subi une hausse de 20% entre fin 2004 et octobre 2008.

4.4. SOLUTION M : REMPLACEMENT DE LA CENTRALE DE TRAITEMENT D'AIR AVEC RECUPERATION DE CHALEUR SUR L'AIR EXTRAIT

4.4.1. Description de la solution

Le remplacement de centrale de traitement d'air de la Tour B est prévu par le Gestionnaire de la Cité Administrative. L'âge et l'état de certaines parties (corrosion) de la centrale imposent un renouvellement de l'installation.

La nouvelle centrale de traitement d'air installée permettrait d'intégrer un système de récupération de chaleur sur l'air extrait. La Tour B dispose d'un système d'extraction d'air vicié des sanitaires dont les calories pourraient être récupérées pour préchauffer l'air de soufflage de la CTA. Le débit d'extraction est d'environ 33.000 m³/h.

L'échange entre le flux d'extraction et le flux de soufflage serait réalisé par un échangeur à plaques à flux croisé dont le rendement est compris entre 50 et 60%. Le déséquilibre entre le débit soufflé et le débit extrait limite les performances de l'échangeur.

Cette solution a également été étudiée pour le reste du bâtiment.

4.4.2. Impact sur les consommations énergétiques

La nouvelle CTA aura des consommations énergétiques similaires à l'actuelle qui est équipée de variateurs de vitesse sur le moteur du ventilateur de soufflage. L'économie sera donc réalisée sur la récupération de chaleur pour le préchauffage de l'air de soufflage.

	Chauffage (gaz)	Climatisation (électricité)
Tour A		
Gain énergie (kWh)	91 107	-
Gain %	8%	0%
Tour B		
Gain énergie (kWh)	74 446	-
Gain %	7%	0%
Galette		
Gain énergie (kWh)	31 065	-
Gain %	4%	0%
Total		
Gain énergie (kWh)	196 618	-
Gain %	6%	0%

4.4.3. Investissement et rentabilité

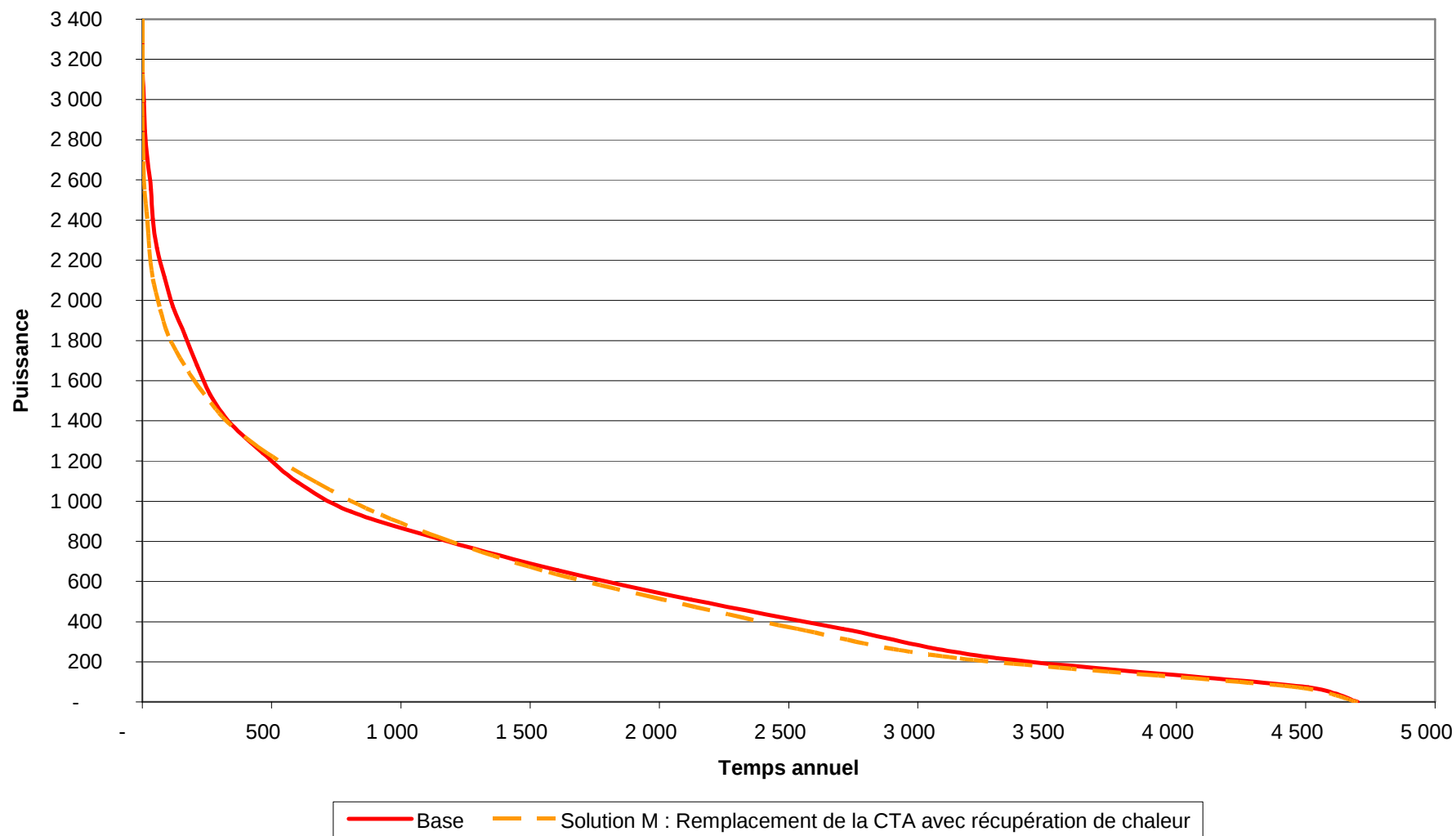
Le coût de remplacement de la CTA a été obtenu par consultation de la société FRANCE AIR et de la société FOSELEV SUD-OUEST pour la livraison des équipements.

Le temps de retour sur investissement a été obtenu en considérant une augmentation annuelle du prix de l'électricité et du gaz de 3%.

	Investissement (€ HT 2008)	Temps de retour (années)
Tour A	315 928 €	> 50
Tour B	315 928 €	> 50
Galette	/	/
Total	631 856 €	> 50

La courbe de charge monotone des besoins de chaleur de la solution M est présentée sur la page suivante.

Courbe de charge monotone des besoins de chaleur



4.5. SOLUTION N : SYSTEMES D'ECLAIRAGE DE LA TOUR B

4.5.1. Description de la solution

Tous les locaux de la Cité Administrative sont éclairés par des luminaires fluorescents à ballasts ferromagnétiques. La solution consiste en un remplacement et une optimisation des luminaires installés dans la Tour B.

La solution est étudiée sur un étage type en comparaison aux luminaires actuels mis récemment en place dans la Tour A lors des travaux de mise en sécurité incendie.

La solution proposée est décrite dans le tableau suivant.

	Solution proposée (solution N)	Equipements actuels (type Tour A)
Bureaux classiques	Plafonniers 3x14 W Ballasts électroniques Luminaires les plus proches des fenêtres équipés de gradateurs	Plafonniers 4x18 W Ballasts ferromagnétiques
Bureaux paysages	Plafonniers 3x14 W Ballasts électroniques Luminaires les plus proches des fenêtres équipés de gradateurs Commandes séparées	Plafonniers 4x18 W Ballasts ferromagnétiques
Sanitaires	Downlight 1x18 W Ballasts électroniques DéTECTEURS de présence	Downlight 2x26W Ballasts ferromagnétiques
Circulations	Downlight 1x18 W Ballasts électroniques	Downlight 2x26W Ballasts ferromagnétiques
Locaux annexes (salles archives, locaux techniques...)	Plafonniers 3x14 W Ballasts électroniques	Plafonniers 4x18 W Ballasts ferromagnétiques

Avec cette configuration la puissance installée s'élève à 7W/m² environ sur un étage courant de la Tour B.

4.5.2. Consommations et investissement

L'impact de la solution a été comparé à une solution classique identique à celle adoptée pour les luminaires de la Tour A.

	Tour B	
	Solution proposée (solution N)	Solution type Tour A
Puissance installée (W/m ²)	7	14
Consommation électrique annuelle (kWh/an)	5 759	16 045
Gain consommation électricité	64%	
Coût de la solution (€ HT 2008)	37 237 €	27 255 €
Surinvestissement (€ HT 2008)	9 982 €	
Temps de retour sur investissement	10,28	

Sur un étage type, les économies d'énergie réalisées sont supérieures à 60% par rapport à un étage équipés de systèmes d'éclairage type Tour A. Le temps de retour de cette solution est d'environ 10 ans par rapport à une solution type Tour A.

L'optimisation des systèmes d'éclairages actuels modifiera les apports internes mais les conséquences sur les consommations de chauffage et de rafraîchissement restent négligeables.

4.6. SOLUTION O : SYSTEMES DE PRODUCTION D'EAU CHAUDE SANITAIRE (ECS)

4.6.1. Description des solutions

o Isolation thermique renforcée du ballon de stockage

La plupart des ballons de stockage d'ECS actuels sont isolés par une couche de mousse de polyuréthane de 50 mm minimum permettant de limiter les déperditions thermiques.

o Température de stockage limitée à 55°C

La prévention des risques microbiologiques impose des températures supérieures à 50 °C en tout point du système, avec un maximum de 55 °C aux points d'usage. Afin de réaliser des économies d'énergie, la limitation de la température de stockage à 55°C pourrait être envisagée.

Dans ce cas, des traitements du réseau par choc thermique devront être réalisés pour limiter les risques de développement de bactéries type legionella.

L'opération consiste à faire circuler de l'eau à une température d'au moins 70°C pendant 30 minutes dans l'ensemble des réseaux de distribution de la production jusqu'au point de puisage. Cette opération doit être suivie d'un rinçage soigneux des canalisations (*Source : Santé.gouv.fr*).

Les capacités thermiques des installations de production et de distribution d'eau chaude ne permettent pas toujours d'atteindre les 70°C aux points les plus éloignés de la production.

C'est notamment le cas des chauffe-eau électriques dont la température de stockage est de 60-70°C pour une distribution mitigée aux points de puisage de 40°C.

Cette solution n'est pas applicable aux installations de production d'ECS de la Cité Administrative.

o **Renforcement de l'isolation des canalisations**

L'isolation des canalisations de distribution permet de limiter les pertes du réseau de distribution.

Le gain énergétique obtenu avec des canalisations isolées en fonction de l'épaisseur d'isolant est présenté dans le tableau suivant.

Epaisseur d'isolant	Pertes (kWh/an)		Gain énergétique	
	Sans isolation	Avec isolation	kWh/an	%
0,01	1 058	345	713	67%
0,03	1 058	190	868	82%
0,05	1 058	147	911	86%

Les hypothèses suivantes ont été considérées pour un bloc sanitaire d'un étage courant de la Tour B:

- o Température moyenne d'ECS : 60°C ;
- o Utilisation potentielle de l'eau chaude sanitaire sur une période de 12H par jour, 5 jours dans la semaine, toute l'année ;
- o Longueur des canalisations de distribution : 10 m (1 chauffe-eau par bloc sanitaire) ;
- o Isolant mousse de polyuréthane : $\lambda = 0,03 \text{ W/m.K}$.

Avec un coût d'isolation des canalisations par 3 cm d'isolant s'élevant à 5€/m (Source : *energie.wallonie.be*) le temps de retour de la solution par rapport à des canalisations non isolées est inférieur à 1 ans.

5. RECAPITULATIF DES RESULTATS

Les conclusions du rapport sont récapitulées dans le tableau suivant.

Solutions d'amélioration de l'enveloppe du bâtiment		
A	Amélioration des vitrages et menuiseries	Solution étudiée
B	Amélioration de l'isolation des façades	Solution étudiée
C	Réduction des ponts thermiques	Solution non étudiée Mise en œuvre nécessitant une logistique trop importante par rapport au gain potentiel.
D	Remise en état des brise-soleil mobiles	Solution étudiée
E	Amélioration de la perméabilité à l'air de l'enveloppe	Solution non étudiée. Amélioration par changement des vitrages et menuiseries ou par reprise totale des façades.

Solutions d'optimisation du fonctionnement des équipements techniques		
F	Optimisation de la gestion de l'intermittence en chauffage	Impact sur les consommations à étudier par la mise en pratique de la solution
G	Surventilation nocturne estivale	Gain trop faible par rapport aux consommations électriques supplémentaires
H	Amélioration des systèmes d'éclairage (Tour A)	Gain trop faible par rapport au coût de mise en œuvre
I	Réduction des consommations des ascenseurs	Pas de solution envisageable sur les ascenseurs de la Cité Administrative

Solutions de remplacement des équipements techniques		
J	Remplacement des chaudières (solution K1)	Solution étudiée
K	Remplacement des groupes de production d'eau glacée	Solution étudiée
L	Remplacement des éjecto-convecteurs	Equipements en fin de vie. Remplacement es éjecto-convecteurs Tour B lors des travaux de désamiantage.
M	Remplacement de la centrale de traitement d'air avec récupération de chaleur	Solution étudiée
N	Systèmes d'éclairage (sur un étage courant) de la Tour B	Solution étudiée
O	Systèmes de production d'eau chaude sanitaire (ECS) (sur un bloc sanitaire)	Solution étudiée

6. CROISEMENT DES SOLUTIONS

6.1. SOLUTIONS PROPOSEES

Les solutions proposées ci-dessous ont été réinjectées simultanément dans la simulation thermique dynamique afin d'observer l'impact de leur croisement sur les consommations énergétiques de la Cité Administrative.

Les solutions proposées pour le croisement sont les suivantes :

- o Solutions d'amélioration de l'enveloppe du bâtiment
 - Amélioration des vitrages et menuiseries (Solution A)
 - Amélioration de l'isolation des allèges et meneaux (Solution B)
 - Remise en état des brise-soleil mobiles (Solution D)
- o Solutions d'amélioration des équipements
 - Remplacement des chaudières (Solution J)
 - Remplacement des groupes de production d'eau glacée (Solution K1)
 - Remplacement de la centrale de traitement d'air avec récupération de chaleur sur l'air extrait (Solution M)

6.2. RESULTATS

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant. Les coûts et consommations pris en compte correspondent à la totalité du bâtiment (Tour A + Tour B + Galette).

TABLEAU RECAPITULATIF DES SOLUTIONS D'ECONOMIES D'ENERGIES

Enveloppe Equipements	Bâtiment actuel	A : Amélioration vitrages Tour B	B : Amélioration isolation allèges et meneaux	D : Remise état des brise soleil fixes	A + B	A + B + D
Equipements actuels	Conso gaz (kWh) 3 100 890 Conso électricité 154 640	Gains gaz 46% Gains électricité 41% Investissement 2 496 318 € Temps de retour 28.11	Gains gaz 12% Gains électricité -3% Investissement 285 768 € Temps de retour 13.26	Gains gaz 0% Gains électricité 13% Investissement 1 097 335 € Temps de retour > 50	Gains gaz 58% Gains électricité 34% Investissement 2 782 085 € Temps de retour 25.44	Gains gaz 58% Gains électricité 38% Investissement 3 879 420 € Temps de retour 35.24
J : Remplacement chaudières	Gains gaz 7% Gains électricité 0% Investissement 160 086 € Temps de retour 12.50	Gains gaz 49% Gains électricité 41% Investissement 2 656 403 € Temps de retour 27.73	Gains gaz 19% Gains électricité -3% Investissement 445 854 € Temps de retour 13.60	Gains gaz 7% Gains électricité 13% Investissement 1 257 420 € Temps de retour > 50	Gains gaz 61% Gains électricité 34% Investissement 2 942 171 € Temps de retour 25.64	Gains gaz 61% Gains électricité 38% Investissement 4 039 506 € Temps de retour 34.98
K1 : Remplacement groupes froids solution 1	Gains gaz 0% Gains électricité 35% Investissement 160 680 € Temps de retour 26.68	Gains gaz 46% Gains électricité 62% Investissement 2 656 998 € Temps de retour 28.77	Gains gaz 12% Gains électricité 33% Investissement 446 448 € Temps de retour 16.09	Gains gaz 0% Gains électricité 43% Investissement 1 258 015 € Temps de retour > 50	Gains gaz 58% Gains électricité 57% Investissement 2 942 765 € Temps de retour 25.97	Gains gaz 58% Gains électricité 60% Investissement 4 040 100 € Temps de retour 35.50
M : Remplacement CTA Tour B avec récupération de chaleur	Gains gaz 6% Gains électricité 0% Investissement 611 856 € Temps de retour > 50	Gains gaz 52% Gains électricité 41% Investissement 3 108 173 € Temps de retour 31.14	Gains gaz 19% Gains électricité 0% Investissement 897 623 € Temps de retour 27.20	Gains gaz 6% Gains électricité 13% Investissement 1 709 190 € Temps de retour > 50	Gains gaz 64% Gains électricité 34% Investissement 3 393 941 € Temps de retour 28.24	Gains gaz 64% Gains électricité 38% Investissement 4 491 276 € Temps de retour 37.15
J + M	Gains gaz 13% Gains électricité 0% Investissement 771 941 € Temps de retour 33.04	Gains gaz 55% Gains électricité 41% Investissement 3 268 259 € Temps de retour 30.83	Gains gaz 24% Gains électricité -3% Investissement 1 057 709 € Temps de retour 24.36	Gains gaz 13% Gains électricité 47% Investissement 1 869 276 € Temps de retour > 50	Gains gaz 66% Gains électricité 38% Investissement 3 554 027 € Temps de retour 28.31	Gains gaz 66% Gains électricité 38% Investissement 4 651 361 € Temps de retour 37.05
K1 + M	Gains gaz 6% Gains électricité 35% Investissement 772 536 € Temps de retour 44.41	Gains gaz 52% Gains électricité 62% Investissement 3 268 853 € Temps de retour 31.63	Gains gaz 19% Gains électricité 33% Investissement 1 058 303 € Temps de retour 27.01	Gains gaz 6% Gains électricité 43% Investissement 1 869 870 € Temps de retour > 50	Gains gaz 64% Gains électricité 57% Investissement 3 554 621 € Temps de retour 28.63	Gains gaz 64% Gains électricité 60% Investissement 4 651 956 € Temps de retour 37.33
J + K1	Gains gaz 7% Gains électricité 35% Investissement 320 766 € Temps de retour 17.03	Gains gaz 49% Gains électricité 62% Investissement 2 817 083 € Temps de retour 28.36	Gains gaz 19% Gains électricité 33% Investissement 606 534 € Temps de retour 15.56	Gains gaz 7% Gains électricité 43% Investissement 1 418 100 € Temps de retour > 50	Gains gaz 61% Gains électricité 57% Investissement 3 102 851 € Temps de retour 26.13	Gains gaz 61% Gains électricité 60% Investissement 4 200 186 € Temps de retour 35.23
J + K1 + M	Gains gaz 13% Gains électricité 35% Investissement 932 621 € Temps de retour 31.73	Gains gaz 55% Gains électricité 62% Investissement 3 428 939 € Temps de retour 31.30	Gains gaz 24% Gains électricité 33% Investissement 1 218 389 € Temps de retour 24.57	Gains gaz 13% Gains électricité 43% Investissement 2 029 956 € Temps de retour > 50	Gains gaz 66% Gains électricité 57% Investissement 3 714 707 € Temps de retour 28.84	Gains gaz 66% Gains électricité 60% Investissement 4 812 041 € Temps de retour 37.23

7. RECOMMANDATIONS

La présente étude montre que la plupart des solutions étudiées ont des temps de retours sur investissements longs.

Les actions présentées peuvent être hiérarchisées selon des priorités de mise en œuvre en trois catégories :

- o Action à court terme ou immédiate, permettant une économie d'énergie substantielle sans investissement significatif ;
- o Action à moyen terme, à prévoir dans le cadre des travaux de désamiantage de la Tour B ou du gros renouvellement des équipements.
- o Action à long terme, pouvant être mise en œuvre mais nécessitant des investissements importants dont le temps de retour est long.

o Actions à court terme

La seule solution pouvant être mise en place immédiatement est l'optimisation de l'intermittence en chauffage (solution F).

o Actions à moyen terme

Les actions moyen terme qu'il serait intéressant d'intégrer dans les travaux de désamiantage de la Tour B sont les suivantes :

- o Amélioration de l'isolation des allèges et meneaux (Solution B)
- o Remplacement des chaudières (Solution J)
- o Remplacement des groupes de production d'eau glacée (Solution K1)
- o Remplacement des éjecto-convecteurs (Solution L)
- o Remplacement de la centrale de traitement d'air avec récupération de chaleur (Solution M)
- o Systèmes d'éclairage de la Tour B (Solution N)
- o Systèmes de production d'eau chaude sanitaire (ECS), isolation des canalisations (Solution O)

o Actions à long terme

Les actions à long terme concernent l'amélioration de l'enveloppe du bâtiment :

- o Amélioration des vitrages Tour B (Solution A)
- o Remise en état des brise-soleil mobiles (Solution D)

8. ANNEXES

ANNEXE 1 : FICHE DES SOLUTIONS D'ECONOMIES D'ENERGIE

SOLUTIONS D'ECONOMIES D'ENERGIE	
I Solutions d'amélioration de l'enveloppe du bâtiment	
A	Amélioration des vitrages et menuiseries
B	Amélioration de l'isolation des façades
C	Réduction des ponts thermiques
D	Remise en état des brise soleil mobiles
E	Amélioration de la perméabilité à l'air de l'enveloppe
II Solutions d'optimisation du fonctionnement des équipements techniques	
F	Optimisation de la gestion de l'intermittence en chauffage
G	Surventilation nocturne estivale
H	Amélioration des systèmes d'éclairage (Tour A)
I	Réduction des consommations des ascenseurs
III Solutions de remplacement des équipements techniques	
J	Remplacement des chaudières
K	Remplacement des groupes de production d'eau glacée
L	Remplacement des éjecto-convecteurs
M	Remplacement de la centrale de traitement d'air avec récupération de chaleur
N	Systèmes d'éclairage
O	Systèmes de production d'eau chaude sanitaire (ECS)

SOLUTIONS A INTEGRER AU PROGRAMME	
Cible 5	Installation d'équipements hydro-économes dans les sanitaires Récupération des eaux de pluies
Cible 7	Mise en oeuvre d'un comptage énergie électrique par plateau relié sur GTC
Cible 10	Mise en place d'occultations mobiles intérieures