

Edition du 27 Août 2010

A l'attention de : M Bonnefond de l'OPPIC



RAPPORT

Bilan Thermique du Château de Bois Préau

Expertise immobilière et
Développement Durable

ICADE GESTEC
Bâtiment 269
45, avenue Victor HUGO
93538 AUBERVILLIERS Cedex
☎ 01.41.57.76.62
☎ 01.48.34.27.61

SOMMAIRE

I.	Préambule	3
II.	Collecte d'informations	4
A.	Collecte d'informations.....	5
B.	Visite d'investigations	7
III.	Simulation état actuel	8
A.	Consommations réelles	8
1.	Consommations réelles de chauffage du site.....	9
2.	Estimation de la consommation de chauffage du château	9
B.	Simulation de l'état actuel	10
1.	Hypothèses.....	10
2.	Résultats.....	11
C.	Comparaison entre la consommation réelle et théorique	13
IV.	Mise en place d'une climatisation.....	14
A.	Prise en compte du projet d'aménagement	14
1.	Rappel de la NOTICE ARCHITECTURALE ET STRUCTURELLE	14
2.	Rappel de la NOTICE TECHNIQUE CVC	16
B.	La climatisation d'un musée.....	17
1.	Objectifs et avantages de la climatisation du musée	17
2.	Inconvénients de la non climatisation du musée.....	17
3.	Conclusion	18
C.	Mise en place d'une climatisation au Musée du Bois Préau	18
1.	Descriptif	18
2.	Simulation de cette solution de climatisation	19
3.	Résultats financiers de la simulation avec solution de climatisation proposée	21
4.	Interprétation des résultats	21
V.	Proposition d'actions.....	22
A.	Mise en valeur des points sensibles – Critique de l'existant	22
1.	L'enveloppe du bâtiment	22
2.	Les équipements techniques.....	23
3.	La gestion énergétique.....	24
4.	L'utilisation du bâtiment.....	24
B.	Schéma directeur : hiérarchisation des actions.....	25
C.	Simulations des actions proposées	25
1.	Variation des hypothèses par rapport à l'état actuel	25
2.	Résultats des simulations	26
VI.	Synthèse	28
VII.	ANNEXE 1	29

I. Préambule

Le Ministère de la Culture et de la Communication a confié à ICADE GESTEC la réalisation du bilan thermique du Château de Bois Préau dans le cadre du réaménagement de celui-ci.

Ce bilan thermique a un double objectif :

- Compléter l'étude de faisabilité réalisée par AXYS, en réalisant un bilan thermique de l'existant et du futur aménagement. Etudier la mise en place d'une climatisation ; **et de déterminer si l'installation d'un système de climatisation est nécessaire tel que décrit dans l'étude de faisabilité de 2008, et de rechercher des solutions permettant de réduire l'importance de ce système.**
- Bâtir des scénarii d'action permettant d'atteindre les objectifs du Grenelle de l'environnement et décrivant les actions d'amélioration à mettre en œuvre. Ces propositions incluront l'évaluation des gains énergétiques, des coûts d'investissement et de fonctionnement induits, ainsi que le temps de retour sur investissement.

La mission concerne le Château de Bois Préau d'une surface de 740m² accessible au public, situé à Rueil Malmaison.

Le Mémoire Technique présente la synthèse de la mission et les consommations énergétiques dans l'état actuel du bâtiment et dans celui projeté.

II. Collecte d'informations

Cette phase consiste à réunir les informations pour calculer les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effet de serre réelles du bâtiment.

Les informations collectées proviennent des sources suivantes :

- La documentation disponible qui nous a été remise comprend :

La Notice architecturale et structurelle, diagnostic et Schéma Directeur des Espaces datée de juin 2008 réalisée par

 <p>[MAW] Maffre Architectural Workshop</p>	<p>ARCHITECTE MANDATAIRE 20 rue de la République - 93200 Saint Denis Mél : maw705@orange.fr</p>
---	--

Et par la notice technique chauffage – ventilation - climatisation

<p>AXYS</p>	<p>BET CVC 3rue du Petit Robinson - 78350 Jouy en Josas Mél : d.chapt@axys-be.fr</p>
--------------------	---

- Les investigations terrains de nos experts ;

Deux rendez vous ont été pris sur place pour identifier le bâtiment hors logements, et recenser le matériel de chauffage existant, la distribution hydraulique et aéraulique. Cette visite a été réalisée le 22 juin 2010 en compagnie de Monsieur François BONNEFOND de l'OPPIC.

- Les échanges avec les responsables du site et exploitants.

Un rendez vous spécifique avec la personne en charge de l'exploitation Monsieur Daniel POINOT pour compléter nos connaissances. Cette visite a été réalisée le 30 juin 2010 en compagnie de Monsieur François BONNEFOND de l'OPPIC.

A. Collecte d'informations

> Objectif

La collecte préalable nous permet d'appréhender les bâtiments pour rendre l'expertise sur site plus efficace.

> Résultat

Nous avons reçu du maître d'ouvrage OPPIC la « notice architecturale et structurelle » ainsi que la « notice technique chauffage ventilation climatisation ». qui nous ont renseignés sur les caractéristiques indispensables, à savoir :

- Les informations sur le bâtiment, précisant notamment les surfaces (SHON, totales...), les énergies utilisées, l'année de construction, le nombre prévisionnel d'occupants,
- Les plans avec cotation du bâtiment,
- Les consommations d'énergie des systèmes énergétiques (chauffage, électricité.) des années 2007, 2008, 2009 : par les factures.
- Les caractéristiques techniques des différents systèmes énergétiques installés (chauffage, ventilation).
- Historique des travaux réalisés

Un index des documents de référence est présenté ci après :

Documents consultés	
Plans architecturaux : niveaux, toitures, façades	Oui (plans MAW)
Plans architecturaux au format informatique .dwg (Autocad)	Non
Plans techniques : réseaux, gaines techniques	Non
Tableau des surfaces – SU, SHON et totale	Oui (données MAW)
Volumes chauffés / Volumes non chauffés	Oui par les visites in situ
Zonage du bâtiment en fonction des températures requises / usages	Maintien hors gel à 17° C
Schémas synoptiques des installations thermiques	Photo du schéma de principe hydraulique

Diagnostics techniques : amiante, plomb, électricité + rapports des bureaux de contrôle	Non
Carnets sanitaires (eau froide, ECS, légionelles, air)	Non
Contrats de maintenance techniques des équipements + avenants	Non
Livrets de maintenance des équipements (chaufferie, CTA)	Non
Liste des travaux réalisés depuis 5 ans	Chaufferie rénovée en 2005
Descriptif des travaux prévus durant les 5 ans à venir	Non
Etudes ayant été menées sur le bâtiment	Oui
Relevés des consommations énergétiques et fluides des 3 dernières années + factures (uniquement pour le château et, si possible, distinguant la partie logement du reste du bâtiment, et les dépendances)	Gaz, oui Électricité, oui

B. Visite d'investigations

> Objectif

Compléter, confirmer ou infirmer l'ensemble des données pour le rapport par relevés, mesures, ou à défaut par estimations. Poser un regard critique sur l'état et le fonctionnement des éléments constitutifs du bâtiment et des installations vis-à-vis de leur utilisation et de leurs conditions d'exploitation.

> Résultat

Les visites d'investigations nous ont confortés dans la pertinence des études préalables (architecte et BET) qui ont été portées à notre connaissance. Ces études faites en 2008 sont toujours d'actualité car aucune évolution technique ni architecturale n'a été effectuée.

La rénovation de la production de chaleur réalisée en 2005, avec substitution du fioul par le gaz de ville est acquise et ne serait être remise en cause. Le constat majeur est l'absence de compteur d'énergie permettant d'identifier les consommations pour le logement du gardien et celle des logements de fonction répartis dans l'orangerie et le petit pavillon.

***NB :** au cours de la visite nous avons constaté que l'ancienne cuve à fioul contient encore du combustible, qu'elle n'a pas été neutralisée ni lestée. Cette prestation est à réaliser rapidement.*

Les locaux principaux du bâtiment sont chauffés par deux centrales de traitement d'air, fonctionnant en tout air neuf (pas de reprise d'air ni d'extraction). Chaque centrale comprend un ventilateur double ouïes, une batterie à eau chaude alimentée par les deux chaudières gaz, et un humidificateur à ruissellement sur un nid d'abeille. Toutes ces installations fonctionnent et sont entretenues régulièrement.

Les centrales de traitement d'air sont raccordées à des gaines en plâtre, équipées de registre de réglage manuel, qui diffusent via les planchers et les murs, l'air de chauffage des locaux. Au sol sont installées des grilles en fonte ouvragé permettant l'admission de l'air chaud dans les locaux.

Certaines de ces grilles ont été dévoyées dans les plinthes des murs ou meubles de bibliothèques.

En fonction des sections des gaines relevées sur place (0.65*0.65 d'une part et 0.70*0.70 d'autre part) on est amené à penser que les débits sont respectivement de l'ordre 7000 m³/h à 8000 m³/h par centrale. Ces estimations sont corroborées par la puissance indicative de 140 kW du schéma de principe.

***NB :** Les mesures des débits d'air n'ont pas pu être réalisées de part la configuration des puits de prise d'air extérieur.*

III. Simulation état actuel

Durant cette deuxième phase, nous mettrons en valeur les points sensibles en comparant les résultats théoriques avec les consommations réelles.

Ainsi, nous :

- Calculerons les consommations théoriques ;
- Comparerons avec les consommations réelles.

Cette phase a le triple objectif suivant :

- L'évaluation de l'état de performance énergétique ;
- L'identification des points **sensibles de la performance énergétique des bâtiments**, c'est à-dire les écarts anormalement élevés ;
- Impact de la mise en place d'un système de climatisation.

A. Consommations réelles

> Objectif

Identification des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre, par zones, par entité, par usage, par type d'énergie.

> Résultat

Les consommations réelles qui nous ont été transmises concernent les factures de gaz et d'électricité des années 2007 à 2009.

Pour le gaz, 2 éléments sont à prendre en compte :

- Ces factures de gaz concernent une chaufferie alimentant également des dépendances (en occupation « standard ») ;
- La partie musée est quant à elle inoccupée et la température de consigne de chauffage est de 17°C.

Pour les factures d'électricité, dans le fonctionnement actuel du musée (inoccupé, hormis pour la partie logement) et l'absence d'informations quant aux usages couverts et à la répartition de ces consommations, il n'est pas intéressant d'utiliser celles-ci pour une comparaison entre réel et théorie.

Il sera par contre comparé les consommations réelles et théoriques de chauffage (donc gaz) afin d'utiliser ou non les consommations théoriques d'électricité (refroidissement, éclairage, auxiliaires de ventilation et climatisation...) pour nos futures comparaisons.

1. Consommations réelles de chauffage du site

Les consommations réelles de l'ensemble du site transmises sont :

Consommations de gaz								
Année 2007			Année 2008			Année 2009		
Mois	MWh	Euros TTC	Mois	MWh	Euros TTC	Mois	MWh	Euros TTC
Janvier	78,795	3 312,52 €	Janvier	92,365	4 011,20 €	Janvier	79,143	4 706,51 €
Février	61,235	2 706,72 €	Février	65,72	2 943,93 €	Février	67,016	3 820,44 €
Mars	57,697	2 527,51 €	Mars	58,282	2 653,84 €	Mars	66,622	3 764,75 €
Avril	40,653	1 893,34 €	Avril	58,871	2 481,80 €	Avril	20,686	1 302,92 €
Mai	5,842	598,11 €	Mai	0	380,91 €	Mai	0	194,30 €
Juin	2,329	467,41 €	Juin	0	380,91 €	Juin	0	194,30 €
Juillet	0	380,75 €	Juillet	0	380,91 €	Juillet	0	194,30 €
Août	0	380,75 €	Août	0	380,91 €	Août	0	194,48 €
Septembre	0	380,75 €	Septembre	5,23	608,03 €	Septembre	0	194,48 €
Octobre	19,192	1 094,83 €	Octobre	36,617	2 076,22 €	Octobre	23,573	1 083,69 €
Novembre	51,681	2 303,68 €	Novembre	51,552	3 060,23 €	Novembre	28,738	1 278,53 €
Décembre	49,966	2 239,86 €	Décembre	83,003	5 022,93 €	Décembre	28,053	1 252,69 €
Total	367,39	18 286,23 €		451,64	24 381,82 €		313,831	18 181,39 €

Soit une consommation moyenne annuelle pour l'ensemble du site de 377 620KWh.

2. Estimation de la consommation de chauffage du château

En l'absence de sous-comptage, nous pouvons néanmoins extrapoler les consommations de chauffage du château en utilisant les puissances indiquées en chaufferie pour chacun des réseaux :

- CTA du château : 140kW ;
- Radiateurs château : 20kW ;
- Dépendances : 55kW.

Soit un total pour le château de 160kW sur un total de production installée de 215kW.

Cela nous amène à l'extrapolation suivante :

	CTA (140 kW)	Radiateurs château (20 kW)	Dépendances (55 kW)	Total château (160 kW)
Conso gaz (kWh)	245 892,31	35 127,47	96 600,55	281 019,78

Soit un total extrapolé pour le château de 281 019,78kWh de consommation gaz.

A titre indicatif, les émissions de gaz à effet de serre (GES) induites par cette consommation sont de l'ordre de 65 758kgCO² (coefficient de 0.234kgCO²/kWh pour le Gaz Naturel).

Ce qui nous donne pour le chauffage, en tenant compte d'une surface totale du château (Musée et logement interne au château) de 1411.77m² (issue du récapitulatif des surfaces architecte) :

- 199kWh/m² ;
- 46.6kgCO²/m².

B. Simulation de l'état actuel

Nous comprenons par « état actuel », le château (musée et logement interne) avec son enveloppe et ses équipements actuels mais de façon occupé (température de consigne et occupation telle qu'annoncée dans le tableau de surfaces de l'architecte).

1. Hypothèses

Le logiciel utilisé pour ce calcul est PERRENOUD.

Ce logiciel est strictement conforme aux règles de calculs RT2005 et a été développé autour du moteur de calcul écrit par le CSTB.

L'ensemble des hypothèses énoncées sont issus de :

- De la notice architecturale de MAW (plans, tableaux de surfaces, descriptifs) ;
- De l'étude d'AXYS ;
- De nos visites in-situ et mesures de rendement de la chaufferie (les mesures des débits d'air n'ont pu être effectuées).

a) Conditions climatiques et d'ambiance

Le département est les Hauts de Seine (92) et correspond à la zone climatique H1a.

La température extérieure de base en hiver est donc -9°C.

La température d'ambiance réglementaire de consigne est 19°C (augmentée à 21°C dans notre calcul).

b) Enveloppe du bâtiment

Les caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment sont les suivantes :

- Façade (type pierre tendre et plâtre gâché) : $U=2.088\text{W/m}^2.\text{°C}$
- Brisis (sur comble aménagé, ardoise et pierre) : $U=2.471\text{ W/m}^2.\text{°C}$
- Plancher bas (brique et parquet bois) : $U=1.123\text{W/m}^2.\text{°C}$
- Toiture (zinc) : $U=1.818\text{W/m}^2.\text{°C}$
- Vitrage (simple avec menuiserie bois) $U=4.95\text{W/m}^2.\text{°C}$

c) Installations techniques

Pour la production de chaleur, il a été renseigné une chaufferie composée de 2 chaudières De Dietrich GT306 de puissance unitaire 125kW et d'un rendement moyen mesuré de 93.7%. Les réseaux de distribution sont réglés par rapport à la température extérieure.

Concernant la ventilation, celle-ci est de type simple flux par amenée d'air mécanique. La ventilation se fait par l'intermédiaire de 2 centrales de traitement d'air (CTA) à débit constant et régulées par température de soufflage (ensemble vétuste).

Les débits pris en compte, en l'absence de possibilité de réalisation de mesures, sont :

- Débit air neuf hygiénique (130 personnes, compris personnel musée) : 3250m³/h ;
- Débit de soufflage maximum CTA1 (selon taille de gaine existante) : 7000m³/h ;
- Débit de soufflage maximum CTA2 (selon taille de gaine existante) : 8000m³/h.

Pour les émissions de chaleur, 2 types d'émetteurs sont pris en compte :

- Air soufflé pour la majeure partie du musée (réseau de gaines) ;
- Radiateurs fonte anciens.

Concernant l'éclairage, une hypothèse de 15W/m² de puissance installée a été retenue, tenant compte du type d'éclairage et d'ampoules.

Il a été considéré une production d'eau chaude sanitaire pour la partie logement par ballon électrique vertical de 200l.

2. Résultats

Les résultats issus du calcul sont les suivants :

a) Déperditions

Elément	kW
Façades	64.5
Plancher bas	15
Toiture	13
Vitrages	24
Ponts thermiques	2
Renouvellement d'air	32
TOTAL	150.5kW

b) Consommations théoriques

Les consommations suivantes sont issues de la simulation selon les hypothèses annoncées précédemment.

A noter, le coefficient de passage entre l'énergie finale (kWhef) et l'énergie primaire (kWhep) égale à 2.58, uniquement pour l'électricité. Seul le poste chauffage est en énergie gaz.

Surface	1411,77
Ubât	2,006
Chauffage gaz	
kWhef	345 128,73
kWhep	345 128,73
kWhep/m²	244,47
Refroidissement	
kWhef	
kWhep	
kWhep/m²	0,00
ECS	
kWhef	2 427,76
kWhep	6 263,62
kWhep/m²	4,44
Eclairage	
kWhef	36 672,93
kWhep	94 616,16
kWhep/m²	67,02
Auxiliaires électriques	
kWhef	460,62
kWhep	1 188,40
kWhep/m²	0,84
Ventilateurs électriques	
kWhef	13 513,04
kWhep	34 863,64
kWhep/m²	24,69
Total (kWhep/m²)	341,46

Le tableau ci-dessus nous donne la répartition par usage des consommations théoriques.

A titre indicatif, les émissions de gaz à effet de serre (GES) induites par cette consommation sont de l'ordre de :

- 80 760kgCO² (coefficient de 0.234kgCO²/kWhef pour le Gaz Naturel) ;
- 4 458kgCO² (coefficient de 0.084kgCO²/kWhef pour l'électricité) ;

Ce qui nous donne au total :

- 341.46kWhep/m²
- 60.36kgCO²/m²

C. Comparaison entre la consommation réelle et théorique

> Objectif

Ensuite, nous comparerons les consommations théoriques avec les résultats réels obtenus. L'analyse permettra l'identification des points sensibles, c'est-à-dire quand l'écart entre la théorie et la réalité sera jugé trop important.

> Résultat

Comme nous avons pu le voir au paragraphe A du présent chapitre, seules les consommations de chauffage peuvent être comparées.

Néanmoins, les consommations de chauffage doivent être corrigées pour tenir compte d'une consigne de température de 17°C (inoccupation actuelle) :

Soit une consommation corrigée de $281\,019.78 \times 21/17 = 347\,142.08 \text{ kWh}$.

Ce résultat est donc à comparer aux 345 128.73kWh du poste chauffage.

Le résultat de la simulation pour le poste chauffage correspond donc à la moyenne des consommations réelles du château, ce qui nous permet donc d'utiliser les résultats du logiciel pour les autres postes énergétiques (refroidissement, auxiliaires de ventilation, éclairage, eau chaude sanitaire....).

IV. Mise en place d'une climatisation

A. Prise en compte du projet d'aménagement

Le bâtiment étant soumis à un projet d'aménagement, celui-ci sera également concerné par une simulation.

1. Rappel de la NOTICE ARCHITECTURALE ET STRUCTURELLE

Le château peut être considéré comme une maison particulière transformée en musée.

A ce titre l'atmosphère domestique doit être conservée et il nous paraîtrait dommageable pour le bâtiment et pour le musée de vouloir le mettre en conformité à sa nouvelle fonction.

Au-delà des coûts engendrés par ces transformations, elles détérioreraient fortement l'ambiance nécessaire à la compréhension des lieux. Un équilibre devra donc être trouvé entre conservation et adaptation du bâtiment, de façon à permettre une visite du château en toute sécurité, pour tous les publics, tout en préservant l'ambiance du lieu.

Actuellement le bâtiment comprend un logement de fonction réparti entre le 1er et le 2ème étage.

L'interaction des fonctions, l'absence de continuité dans le parcours nuisent fortement au bon fonctionnement du bâtiment. Ce logement devra à terme être supprimé.

Le bâtiment est composé de 4 niveaux dont un sous sol partiellement enfoui.

La répartition des locaux dans le bâtiment est :

- Niveau 2 Réserves et une partie du logement
- Niveau 1 Expositions permanentes et une partie du logement
- Niveau 0 Accès – accueil – expositions temporaires et permanentes – services
- Niveau S1 Locaux techniques – archives – réserves

a) Rez-de-chaussée

Le rez-de-chaussée du bâtiment est composé des salons et pièces d'apparat du château.

Une partie des salles ont déjà été rénovées. Les boiseries, staffs et dorures du grand salon et des pièces adjacentes ont été restaurés dans leur totalité. Cette restauration récente implique que ces volumes seront traités par l'extérieur pour l'électricité et le traitement d'air. Les locaux techniques de traitement d'air au sous sol permettront une distribution par le sol, sans modification des parois et corniches.

Le rez-de-chaussée possède un nombre important de portes fenêtres bien réparties. Elles pourront être utilisées pour l'évacuation des visiteurs en cas d'incendie. Cependant, ces portes s'ouvrent vers l'intérieur. Il conviendra d'en inverser le sens d'ouverture pour améliorer l'évacuation.

Les fenêtres actuelles sont anciennes, composées de menuiseries bois avec simple vitrage.

Elles n'offrent une résistance thermique que très partielle. Par ailleurs, le niveau de protection anti intrusion est très faible si les volets ne sont pas fermés. Les verres n'ont aucune protection contre le rayonnement UV.

b) 1er Etage

Le système de traitement d'air à air pulsé passe dans les murs avec des sections de gaines qui ne permettent pas un traitement correct des conditions climatiques relatives aux musées.

Les salons du rez-de-chaussée ayant été rénovés, il conviendra de découpler le traitement d'air du 1er étage des locaux du sous sol.

Le traitement d'air devra donc se faire depuis les locaux des étages supérieurs.

Les fenêtres actuelles sont anciennes composées de menuiseries bois avec simple vitrage.

Elles n'offrent une résistance thermique que très partielle. Par ailleurs, le niveau de protection anti intrusion est très faible si les volets ne sont pas fermés. Les verres n'ont aucune protection contre le rayonnement UV.

c) 2ème étage

Le deuxième étage est occupé par les réserves des collections, et la partie nuit du logement.

Les espaces de réserves ont des conditions climatiques relatives. L'inertie de la partie haute du bâtiment est moins efficace que les étages inférieurs, même si la constitution des plafonds en bacula et plâtre assure une bonne isolation. Le climat des réserves est géré par le système de traitement général.

Dans le cadre des travaux des étages inférieurs la refonte des installations de cet étage est à prévoir.

Dans le cadre du projet actuel, il n'est pas prévu de modifier les locaux de ce niveau, sauf pour la mise en œuvre des équipements techniques.

d) Combles

Actuellement les combles ne sont pas aménagés. Leur volume permettra d'installer des équipements techniques de traitement d'air sans occuper des volumes actuellement utilisés. La mise en œuvre des équipements dans ce volume devra prendre en compte les nécessaires percements en toiture pour les entrées et évacuations d'air.

e) Principes de mise en sécurité du public

Les niveaux accessibles au public sont le rez-de-chaussée d'une surface générale de 387m² et le 1er étage d'une surface générale 353m². Le musée est un établissement de type Y avec une activité de type T au rez-de-chaussée. A ce titre, le calcul des effectifs s'établit selon la règle de 1personne pour 5m² de surface utile hors des emprises muséographiques soit 69 personnes à l'étage et 77 personnes au rez-de-chaussée. Cependant, après mise en œuvre des systèmes de présentation des œuvres, les surfaces disponibles sont :

- Etage 284m² : 49 personnes
- Rez-de-chaussée 350m² : 70 personnes.

2. Rappel de la NOTICE TECHNIQUE CVC

a) Solution N°1 :

Installation d'une production frigorifique à condensation par air installée en sous sol.

Installation d'une seule centrale de traitement d'air pour la climatisation en été et hiver, comprenant batterie chaude de chauffage, batterie froide de climatisation et humidificateur à vapeur.

Installation de gaines en tôle d'acier galvanisé, et montée des gaines au travers des planchers du rez de chaussée, 1er étage, 2ème étage, et ce pour chaque local.

Coût : 718 000 € HT

b) Solution N°2

Installation d'une production frigorifique à condensation par air installée en sous sol.

Installation de deux centrales de traitement d'air pour la climatisation en été et hiver comprenant batterie chaude de chauffage, batterie froide de climatisation et humidificateur à vapeur. Une centrale installée dans le sous sol pour climatiser les locaux du rez de chaussée. Diffusion de l'air et reprise par des diffuseurs au sol des locaux du rez de chaussée.

Pour le 1er étage et le 2ème étage la centrale de traitement d'air est installée dans les combles.

Un réseau de gaines en tôle d'acier galvanisé desservant en « parapluie » les locaux, traversant le 2ème étage (gaine apparente avec diffuseurs ou masquées par des habillages) puis diffusant l'air climatisé en plafond du 1er étage.

Coût : 405 000 € HT

C'est cette solution qui est préconisée par AXYS.

c) Solution N°3

Installation d'une production frigorifique à condensation par air installée en sous sol.

Installation d'une seule centrale de traitement d'air pour l'air neuf hygiénique uniquement comprenant batterie chaude de chauffage, batterie froide de climatisation et humidificateur à vapeur.

Installation de gaines en tôle d'acier galvanisé, et montée des gaines au travers des planchers du rez de chaussée, 1er étage, 2ème étage, et ce pour chaque local. Ces gaines seraient raccordées à des climatiseurs, à installer dans chaque local, compris mise en place de tuyauteries de chauffage et d'eau glacée.

Coût : 478 000 € HT

d) Solution N°4

Solution hybride entre la solution N°2 et la solution N°3.

Traitement du 1er et 2ème étage par une centrale de traitement d'air, et armoires de climatisation installées en sous sol pour les locaux du rez de chaussée.

Coût : 450 000 € HT

B. La climatisation d'un musée

La mise ne place d'un système de climatisation pour la conservation des œuvres muséographiques ne se conçoit qu'avec la réalisation des améliorations thermiques à apporter du bâti.

Avant d'aborder le type de solution technique à retenir pour climatiser les locaux du bâtiment, nous devons nous interroger sur la nécessité de le climatiser, puis de valider ou d'invalider la nécessité de cette installation.

1. Objectifs et avantages de la climatisation du musée

La climatisation d'un espace muséographique a pour objectif de maintenir une température intérieure quasi constante et d'éviter les changements brusques de température, de contrôler une hygrométrie en fonction du type d'œuvres exposées. (Peinture sur toile, sur bois, mobilier en bois et marqueterie, livres anciens, tentures et tissus....)

Ces conditions climatiques sont à maintenir des tous les locaux où sont présentes les œuvres d'art y compris les espaces de stockage des œuvres non exposées.

La climatisation a pour conséquence de pérenniser la qualité des œuvres d'art et donc le patrimoine culturel, ainsi que leur valeur artistique et financière

L'installation généralisée de la climatisation dans un musée permet une flexibilité de présentation des œuvres dans tous les espaces muséographiques accessibles au public.

La climatisation des espaces à vocation d'exposition temporaire favorisera l'exposition d'œuvres provenant d'autres collections qui sans cette climatisation pourraient ne pas être prêtées.

La climatisation des espaces muséographiques apportera un confort en période estivale aux visiteurs du musée, et absorbera les apports calorifiques internes dus à l'éclairage et à la présence du public.

La mise en œuvre des installations de climatisation doit s'inscrire dans le cadre d'une rénovation et redistribution importante des espaces muséographiques, comme cela semble être le cas dans la démarche du programme des études engagées.

2. Inconvénients de la non climatisation du musée

Non contrôle en hiver de l'hygrométrie de l'air entrant par les ouvrants extérieurs, et de l'air intérieur des espaces muséographiques et de stockage.

Dessiccation partielle des œuvres d'art ayant pour conséquence une formation d'écailles des peintures des tableaux, fissuration des œuvres en bois, dessèchement des voilages et tissus.

Non contrôle en été de l'hygrométrie de l'air entrant par les ouvrants extérieurs, et de l'air intérieur des espaces muséographiques et de stockage.

Taux d'hygrométrie préjudiciable à la bonne conservation des œuvres d'art conséquent de la présence du public.

Les espaces muséographiques seront inconfortables en période estivale pour les visiteurs du musée, et les apports calorifiques internes dus à l'éclairage et à la présence du public aggraveront cet inconfort interne.

L'absence de la climatisation des espaces à vocation d'exposition temporaire limitera l'exposition d'œuvres provenant d'autres collections.

Les dégradations des œuvres d'art engendreront un surcoût de restauration de celles-ci, ces restaurations pourraient être préjudiciables à l'authenticité même de ces œuvres.

3. Conclusion

Si par le passé les musées n'étaient pas climatisés, les dégradations des œuvres d'art exposées et celle stockées ont été prouvées. La majeure partie des rénovations muséographiques ont pris en compte la climatisation intérieure des espaces d'exposition et de stockage des œuvres culturelles, pour pérenniser la qualité de ces œuvres, et limiter la restauration prévisible de ces œuvres.

Aussi eu égard au principe de précaution et du besoin de conservation des œuvres d'art nous validons la proposition du bureau d'étude AXYS de climatiser l'ensemble du bâtiment renfermant ces œuvres dans le cadre de la rénovation muséographique du château Bois Préau.

Les solutions permettant de réduire l'importance du système, sont décrites au chapitre V « Propositions d'Actions »

C. Mise en place d'une climatisation au Musée du Bois Préau

1. Descriptif

a) Solutions de climatisation

Parmi les quatre solutions de climatisation du musée, nous confirmons que la solution N°2 d'AXIS est celle qui limitera l'impacte de l'intégration des gaines de traitement d'air dans le bâtiment, et permettra de conservé les boiseries, staffs et dorures en rez de chaussée du grand salon « Légende » qui a été restauré.

Les gaines de climatisation qui traverseront les locaux du deuxième étage permettront de climatiser ces espaces de réserves aux conditions thermiques requises.

Pour les espaces du premier étage, ceux-ci ne seront pas impacté par les gaines, seuls des diffuseurs de soufflage et grilles de reprise d'air seront installées en plafond.

Par ailleurs, l'installation de deux centrales de traitement d'air offre la possibilité de gérer individuellement les conditions thermiques et de climatisation des espaces du rez de chaussée (expositions temporaires), du premier étage et du deuxième étage.

b) Centrales de traitement d'air.

Les centrales de traitement d'air devront être dimensionnées pour la climatisation des espaces du musée et être à débit variable. Cette disposition prise permettra d'installer ultérieurement la production frigorifique d'eau glacée, pour des raisons budgétaires.

c) Groupe frigorifique de production d'eau glacée.

Dans les quatre solutions proposées dans la faisabilité étudiée par AXYS, la production frigorifique est de type à condensation par air, installée en sous sol du bâtiment.

Ce type de production est parfaitement adaptée à l'environnement, en général et plus particulièrement au site qui ne sera pas dénaturé en extérieur par une installation de type « dry cooler » ou « tour de refroidissement »

d) Installations existantes de chauffage.

La chaufferie rénovée en 2005 sera bien sûr conservée.

Un réseau de tuyauteries spécifiques pour les centrales de traitement d'air sera raccordé en chaufferie, qui alimentera les batteries à eau chaude en sous sol et en comble.

Le réseau de tuyauteries de chauffage des appartements de fonction (hors logement du gardien) sera doté d'un compteur de calories qui permettra de comptabiliser l'énergie nécessaire au musée et celle des logements, pour un meilleur suivi des consommations. Dans les préconisations muséographiques le logement du gardien doit disparaître ainsi que ses installations de chauffage (réseau de tuyauteries et radiateurs).

Les deux caissons de chauffage installés en sous sol raccordés aux gaines diffusant l'air chaud dans les espaces actuels du musée seront déposés et enlevés, ainsi que le réseau de tuyauteries d'eau de chauffage. En ce qui concerne les gaines en plâtre, diffusant l'air chaud dans les espaces du musée, celles-ci devront être déposées et enlevées. En outre nous suggérons que les conduites soient remplies de plâtre pour des raisons de conservation du degré coup feu en planchers et pour des raisons d'isolation thermique de murs.

e) Ventilation des locaux du sous sol

Les locaux du sous sol devront être ventilés et chauffés par une installation spécifique indépendante des deux centrales d'air, afin de maintenir une aération pour les réserves existantes et limiter l'humidité des sols en terre-plein.

2. Simulation de cette solution de climatisation

En complément des hypothèses du chapitre précédent, l'ajout d'un système de climatisation entraîne les variations de paramètres suivantes :

- Température de consigne en froid : 22°C
- Hygrométrie : 50%
- Puissance production froid : 140kW
- CTA à débit variable équipée d'un caisson de mélange, d'une batterie de préchauffage, d'une batterie froide, d'une batterie chaude et d'un humidificateur.

Les consommations suivantes sont issues de la simulation selon les hypothèses annoncées précédemment et celles du chapitre précédent..

SIMULATION	INITIALE	CLIMATISATION
Surface	1411,77	1411,77
Ubât	2,006	2,006
Chauffage gaz		
kWh _{ef}	345 128,73	332 154,60
kWh _{ep}	345 128,73	332 154,60
kWh _{ep} /m ²	244,47	235,28
Refroidissement		
kWh _{ef}		3 374,27
kWh _{ep}		8 705,62
kWh _{ep} /m ²	0,00	6,17
ECS		
kWh _{ef}	2 427,76	2 427,76
kWh _{ep}	6 263,62	6 263,62
kWh _{ep} /m ²	4,44	4,44
Eclairage		
kWh _{ef}	36 672,93	36 672,93
kWh _{ep}	94 616,16	94 616,16
kWh _{ep} /m ²	67,02	67,02
Auxiliaires électriques		
kWh _{ef}	460,62	614,97
kWh _{ep}	1 188,40	1 586,62
kWh _{ep} /m ²	0,84	1,12
Ventilateurs électriques		
kWh _{ef}	13 513,04	6 745,20
kWh _{ep}	34 863,64	17 402,62
kWh _{ep} /m ²	24,69	12,33
Total (kWh_{ep}/m²)	341,46	326,35

Le tableau ci-dessus nous donne le comparatif en rajoutant le système de climatisation par usage des consommations théoriques.

Les variations de consommations de chauffage, des auxiliaires électriques et ventilateurs s'expliquent par la modernisation des centrales de traitement d'air équipées de ventilateur à débit variable. La hausse des auxiliaires électriques s'expliquant par un fonctionnement désormais annuel.

A titre indicatif, les émissions de gaz à effet de serre (GES) de la solution avec climatisation sont de l'ordre de :

- 77 724kgCO² (coefficient de 0.234kgCO²/kWh_{ef} pour le Gaz Naturel) ;
- 4 186kgCO² (coefficient de 0.084kgCO²/kWh_{ef} pour l'électricité) ;

Ce qui nous donne au total :

- 341.46kWh_{ep}/m²
- 58kgCO²/m²

3. Résultats financiers de la simulation avec solution de climatisation proposée

	Etat initial	Etat initial + installation climatisation
Total conso GAZ (kWh EF)	345 128,73	332 154,60
Total conso ELEC (kWh EF)	53 074,35	49 835,13
Réduction de conso annuelle (kWh EF)		16 213,35
Coût de l'énergie annuel (€)	22 810,41	21 852,77
Economie financière réalisée (annuelle)		957,64
Coût des travaux (€)		410 000,00
TRI (Temps de Retour sur Investissement)		428 années
Emission de CO2 évitée/an (kg)		1 150

4. Interprétation des résultats

Bien que vient se rajouter un poste énergétique de par l'installation de la climatisation, nous constatons que les consommations sont assez semblable, ce qui peut être expliqué d'une part par l'amélioration de l'installation de ventilation et d'autre part par les faibles besoin de la climatisation.

Les temps de retour sont importants mais ne reflètent pas un effort d'investissements de la part du Maître d'Ouvrage. En effet, il ne s'agit pas ici d'investir pour améliorer la performance énergétique mais pour rajouter une fonction au bâtiment, en l'occurrence la climatisation.

Nous pouvons en déduire qu'hormis un investissement relativement conséquent (et ne tenant pas compte de la restauration des locaux), l'ajout d'une climatisation n'a pas d'impact sur les consommations et émission de GES du musée.

V. Proposition d'actions

Dans cette phase, nous préconiserons des actions permettant de diminuer les consommations énergétiques et d'émission de GES. Les propositions porteront sur :

1. L'enveloppe du bâtiment
2. Les équipements techniques
3. La gestion énergétique
4. L'utilisation du bâtiment

A. Mise en valeur des points sensibles – Critique de l'existant

> Objectif

Filtrer les dérives importantes de consommation.

> Résultat

1. L'enveloppe du bâtiment

a) Perméabilité

En mode actuel de fonctionnement du chauffage à air chaud, prouve que la perméabilité à l'air est très importante. En effet tout l'air chaud soufflé est évacué sur l'extérieur par les bâtis des fenêtres et portes fenêtre, et tout autre interstice (petites grilles en fonte sous les fenêtres), car il n'existe pas d'extraction spécifique qui pourraient nous convaincre du contraire. Dans notre simulation thermique nous avons pris le parti de remplacer tous les ouvrants sur l'extérieur par des menuiseries bois avec double vitrage.

b) Enveloppe maçonnée

Les murs en façade extérieure présentent un aspect architectural qui marque son époque et cet aspect doit être conservé, ce qui proscrit en l'état actuel de préconiser une isolation thermique par l'extérieur.

Compte tenu que les murs périphériques en contact avec l'extérieur des espaces du rez de chaussée ont fait l'objet d'une rénovation importante, nous ne préconisons pas une isolation thermique par l'intérieur, qui remettrait en cause cette rénovation.

En ce qui concerne le premier et deuxième étage, dans le cadre d'une refonte complète des espaces muséographiques et des réserves, il serait judicieux de traiter thermiquement les murs en contact avec l'extérieur par une isolation intérieure rapportée. Cette préconisation devant s'inscrire dans un projet global de rénovation d'architecture intérieure et de refonte des équipements techniques d'électricité notamment nous n'avons pas envisagé cette solution dans notre simulation thermique.

c) Planchers sur locaux non chauffés

Les planchers sur locaux non chauffés sont le plancher haut des sous sols et le plancher bas des combles. Dans notre simulation ces planchers comportent une isolation thermique installée en plafond des locaux en sous sol, et au sol du plancher des combles.

Cette isolation thermique n'impactera pas l'architecture intérieure actuelle.

d) Occultations extérieures et climatisation

Les ouvrants sur l'extérieur comportent actuellement des occultations extérieures sous forme de volets en bois peintes en blanc. Par contre les ouvrants sur l'extérieur des locaux de réserve du deuxième étage ne comportent que des occultations intérieures sous forme de volets en bois peints. En ce qui concerne les ouvrants du logement à cet étage ceux-ci ne comportent pas d'occultation extérieure. Nous suggérons dans le cadre des améliorations thermiques d'été que les occultations soient placées à l'extérieur et que celles du logement en soient équipées également. Cette disposition permettra de limiter au maximum les apports solaires en été et de réduire les consommations de la climatisation, sans dégrader pour autant l'aspect architectural des façades.

Pour les espaces muséographiques du rez de chaussée et du premier étage en mi saisons et en été nous préconisons que les occultations existantes soient mi entrouvertes selon l'exposition solaire afin de limiter le rayonnement solaire sans toute fois empêcher la lumière extérieure.

e) Soupiaux

Dans les espaces du sous sol les soupiaux n'ayant pas une vocation technique (prise d'air et rejet d'air pour la production frigorifique et la ventilation de réserves, ou de la chaufferie, et de la centrale de traitement d'air du projet actuel) devront être occultés par l'intérieur et isolés thermiquement. Il en sera de même pour les galeries de l'ancien chauffage à air chaud.

2. Les équipements techniques**a) Equipement existants conservés**

Bien que nous ne voulions ne pas remettre en cause les travaux de chauffage réalisés en 2005, à savoir la rénovation complète de la chaufferie et la régulation de réseaux, ainsi que la substitution du fioul au profit du gaz de ville une question est à poser concernant la validation en l'état actuel du réseau de chauffage provenant de cette chaufferie qui dessert les logements de fonction de l'orangerie et du petit pavillon. A minima un comptage des calories est à mettre en place pour distinguer la consommation d'énergie spécifique du musée de celle des logements de fonction. A la suite de cette mise en place du comptage énergétique se posera la question de la répartition financière en fonction de l'affectation des lignes budgétaires, éventuellement. Ce qui est constaté cependant c'est la perte calorifique générée par le réseau de distribution de l'eau de chauffage qui emprunte un caniveau sur une longueur non négligeable, et qui même si les tuyauteries sont à priori calorifugées génère une perte calorifique inéluctable.

b) Equipements futurs

Les équipements futurs à installer devront être de bonne qualité constructive et performancielle. Des récupérations d'énergie sur l'air rejeté, l'utilisation de la fonction « free cooling » et la fonction de recyclage sans air neuf hygiénique hors présence du public seront à privilégier pour les centrales de traitement d'air des espaces.

***NB :** Une ventilation spécifique devra être installée dans les locaux du sous sol afin de maintenir une température convenable en hiver pour les réserves et de limiter éventuellement l'humidité provenant des sols en terre-plein.*

3. La gestion énergétique

La gestion énergétique portera sur la température intérieure des locaux, le contrôle de l'hygrométrie des espaces muséographiques, et la qualité de l'air. La mise en place d'une G.T.C (gestion technique centralisée) permettra de suivre les consommations et les analyser via les D.J.U, et le taux de fréquentation du musée. Toute dérive éventuelle de la maintenance des équipements sera alors rapidement décelable. Un reporting mensuel sera imposé au mainteneur technique.

Des capteurs pour le contrôle de l'hygrométrie et le taux de CO² seront installés, ainsi que tous les comptages sur les énergies.

***NB :** La remise en état fonctionnelle du musée aura indéniablement une incidence sur les consommations énergétiques, car depuis 1995 le chauffage maintient le bâtiment à une température « hors gel » de 17 C°, et qu'il n'est pas climatisé. Par contre la fonction de recyclage de l'air avec les futures centrales de traitement d'air devrait générer une économie d'énergie par rapport à celle existantes qui fonctionnent en tout air neuf.*

4. L'utilisation du bâtiment

L'utilisation du musée devra être rationnelle et conforme à l'unicité de l'espace muséographique. Dans le projet muséographique le logement du gardien est supprimé et aucun bureau pour le conservateur ou son secrétariat n'est recensé, ce qui homogénéise l'utilisation des locaux. Par ailleurs il serait souhaitable dans la mesure du possible (c'est une contrainte) de restreindre l'accès des espaces du musée lors des expositions temporaires et vice versa. Ainsi les centrales de traitement d'air pourront fonctionner en recyclage sans traitement de l'air neuf hygiénique, et également de limiter les consommations électriques de l'éclairage. En fonction de la fréquentation potentielle ou avérée du musée, les jours d'ouverture au public seraient limités à quelques jours par semaine. La porte d'accès au musée ne devra pas être ouverte en permanence, pour éviter les déperditions et les apports thermiques. Les ouvrants en façade seront en permanence fermés, et l'utilisation des ouvrants servant d'issue de secours devra être contrôlée. Une programmation stricte de l'éclairage devra être mise en place pour limiter son utilisation pendant la seule présence du public. L'attention de l'éclairagiste muséographe devra être portée sur l'utilisation rationnelle des appareils afin de limiter l'échauffement des transformateurs dont pourraient être équipés les spots.

B. Schéma directeur : hiérarchisation des actions

La hiérarchisation des actions à mener est guidée par l'utilisation rationnée des énergies calorifiques et frigorifiques à installer. Pour cela l'amélioration de la performance thermique de l'enveloppe du musée est à prioriser, par rapport au remplacement d'équipement de traitement d'air de chauffage actuel et futur de climatisation, car le surdimensionnement des installations engendrerait un sur investissement financier et une dégradation du rendement de fonctionnement des équipements techniques.

Les actions à mener sont :

1. Le remplacement de tous les ouvrants sur l'extérieur par des menuiseries bois avec double vitrage performant
2. L'isolation thermique en plafond des locaux en sous sol, et au sol du plancher des combles.
3. Occultations des fenêtres du deuxième étage à l'extérieur compris ancien logement.
4. Occultation des soupiraux et galeries de l'ancien chauffage à air chaud et isolations thermique.
5. Comptage des calories est à mettre en place pour les logements de fonction.
6. Installation des deux centrales de traitement d'air compris humidificateur, et raccordement sur réseau de chauffage.
7. Installation du traitement d'air du sous sol.
8. Installation de la production frigorifique et raccordement des batteries froide des CTA.
9. Mise en place d'éclairage performant et pas conséquent rénovation de l'électricité

C. Simulations des actions proposées

1. Variation des hypothèses par rapport à l'état actuel

Nous présentons ici les variations des hypothèses en référence aux actions listées ci-dessus, vis-à-vis de l'état actuel :

Actions	Etat initial	Etat futur
Isolation du plancher bas (action n°2)	$U=1.123\text{W/m}^2.\text{°C}$	$U=0.333\text{W/m}^2.\text{°C}$
Isolation du la toiture (action n°2)	$U=1.818\text{W/m}^2.\text{°C}$	$U=0.473\text{W/m}^2.\text{°C}$
Mise en place double vitrage (Action n°1, 3 e 4)	$U=4.95\text{W/m}^2.\text{°C}$	$U=1.9\text{W/m}^2.\text{°C}$
Mise en place d'éclairage performant (Action n°9)	15W/m ² Interrupteur classique	6W/m ² Gradateur et détection de présence

NB : Les actions n°6, 7 et 8 sont concernées par le chapitre précédent.

NB2 : l'action n°5 (sous-comptage) est préconisée en cas de travaux afin de différencier les zones.

Dans les résultats des simulations présentés page suivante, les actions sont prises de façon indépendantes, puis au global. L'ensemble de ces simulations sont effectuées sans mise en place d'une climatisation.

2. Résultats des simulations

SHON	1411,77	1411,77	1411,77	1411,77	1411,77	1411,77	1411,77
		AMELIORATIONS BASE				AMELIORATIONS GLOBALES	
	Etat initial	Etat initial + isolant sur plancher bas	Etat initial + isolation de la toiture	Etat initial + remplacement des menuiseries	Etat initial + rénovation de l'électricité	Etat initial + amélioration globale de l'enveloppe	Etat initial + amélioration globale de l'enveloppe + électricité
Ubat	2,01	1,83	1,80	1,78	2,07	1,40	1,40
Chauffage gaz kWh	345 129	320 102	324 243	314 335	345 129	265 489	285 614
kWh/m²shon	345 129	320 102	324 243	314 335	345 129	265 489	285 614
Refroidissement kWh	244	227	230	223	244	188	202
kWh/m²shon	0	0	0	0	0	0	0
ECS kWh	2 428	2 428	2 428	2 428	2 428	2 428	2 428
kWh/m²shon	6 264	6 264	6 264	6 264	6 264	6 264	6 264
Eclairage kWh	4	4	4	4	4	4	4
kWh/m²shon	36 673	36 673	36 673	36 536	10 494	36 536	10 452
Auxiliaires électriques kWh	94 616	94 616	94 616	94 264	27 075	94 264	26 967
kWh/m²shon	67	67	67	67	19	67	19
Ventilateurs électriques kWh	461	453	420	426	467	370	384
kWh/m²shon	1 188	1 170	1 084	1 098	1 205	956	992
Total kWh/m²SHON/an	1	1	1	1	1	1	1
Economie d'énergie	13 513	13 513	13 513	13 513	13 513	13 513	13 513
	34 864	34 864	34 864	34 864	34 864	34 864	34 864
	25	25	25	25	25	25	25
	341	324	327	319	294	285	251
		5%	4%	6%	14%	17%	26%

	Quantité	Prix unitaire/m²	Coût des travaux € HT	Coût/m²SHON
surface d'isolant - plancher bas (en m²)	465,55	30	13 967	10
isolation combles sous rampant/m²	417,6	35	14 616	10
remplacement des menuiseries/m²	197,52	1000	197 520	140
réfection électricité+éclairage (m²)	1412	165	232 942	165
total travaux base			459 045	325
climatisation			410 000	290
total travaux base + climatisation			869 045	616

kWh = kilowattheures d'énergie finale

kWh = kilowattheures d'énergie primaire

	AMELIORATIONS DE BASE					AMELIORATION GLOBALE	
	Etat initial	Etat initial + isolant sur plancher bas	Etat initial + isolation de la toiture	Etat initial + remplacement des menuiseries	Etat initial + rénovation de l'électricité	Etat initial + amélioration globale de l'enveloppe	Etat initial + amélioration globale de l'enveloppe + électricité
Total conso GAZ (kWh EF)	345 129	320 102	324 243	314 335	345 129	265 489	285 614
Total conso ELEC (kWh EF)	53 074	53 067	53 034	52 903	26 902	52 847	26 778
Réduction de conso annuelle (kWh EF)		25 027	20 886	30 794	26 179	79 640	85 694
Coût de l'énergie annuel (€)	22 810	21 466	21 685	21 143	20 704	18 514	17 497
Economie financière réalisée (annuelle)		1 345	1 125	1 668	2 107	4 296	5 314
Coût des travaux (€)		13 967	14 616	197 520	232 942	459 045	459 045
TRI (Temps de Retour sur Investissement en année)		10	13	118	111	107	86
Emission de CO2 évitée/an (kg)		5 856	4 887	7 206	2 199	18 636	16 135

Les résultats précédant nous indiquent que les scénarii d'améliorations globales sont intéressants d'un point de vue de la performance énergétique (gain de 15 à 30%).

Néanmoins, les montants de travaux importants amènent à des temps de retour sur investissements rédhibitoires. Ce seul critère de jugement n'est pas à prendre en compte.

Dans le détail, il s'avère que :

- Des améliorations ponctuelles d'isolation (sous-sols et combles) se révèlent très intéressantes ;
- Les coûts de remplacement de menuiseries sont importants de part la typologie du bâtiment (bâtiment classé et menuiseries sur mesures). Il est à noter que le simple gain thermique ne justifie pas un remplacement de menuiserie mais également sa vétusté, voir sa dangerosité (chute) ;
- Les coûts de mise en place d'un éclairage plus performant (sur la base de 6W/m^2 - moyenne du musée du Louvre) incluent également la remise aux normes des installations électriques concernées. Ce qui est incontournable mais augmente de fait le temps de retour sur investissement.

VI. Synthèse

Lorsque l'on rapproche les améliorations de l'existant et la mise en place d'un système de climatisation, tel que décrit dans le présent document, les résultats sont les suivants :

		AVEC CLIMATISATION			CLIMATISATION	TRAVAUX GLOBAUX
		Etat initial + installation climatisation	Améliorations globales + installation climatisation			
Ubat		2,01	1,40			
Chauffage gaz	kWh _{ef}	332 155	285 614			
	kWh _{ep}	332 155	285 614			
	kWh _{ep} /m ² shon	235	202			
Refroidissement	kWh _{ef}	3 374	3 374			
	kWh _{ep}	8 706	8 706			
	kWh _{ep} /m ² shon	6	6			
ECS	kWh _{ef}	2 428	2 428			
	kWh _{ep}	6 264	6 264			
	kWh _{ep} /m ² shon	4	4			
Eclairage	kWh _{ef}	36 673	10 452			
	kWh _{ep}	94 616	26 967			
	kWh _{ep} /m ² shon	67	19			
Auxiliaires électriques	kWh _{ef}	615	615	Total conso GAZ (kWh EF)	332 155	285 614
	kWh _{ep}	1 587	1 587	Total conso ELEC (kWh EF)	49 835	23 615
	kWh _{ep} /m ² shon	1	1	Réduction de conso annuelle (kWh EF)	16 213	101 907
Ventilateurs électriques	kWh _{ef}	6 745	6 745	Coût de l'énergie annuel (€)	21 853	17 242
	kWh _{ep}	17 403	17 403	Economie financière réalisée (annuelle)	958	5 568
	kWh _{ep} /m ² shon	12	12	Coût des travaux (€)	410 000	869 045
Total kWh _{ep} /m ² SHON/an		326	245	TRI (Temps de Retour sur Investissement en année)	428	156
Economie d'énergie		4%	28%	Emission de CO2 évitée/an (kg)	1 362	16 401

La synthèse de nos échanges et analyses, nous amène à conclure de la façon suivante :

- Le remplacement des ouvrants impactes sur les déperditions calorifiques et aussi sur la climatisation ;
- Le minimum d'isolation est à réaliser (plancher bas et toiture) ;
- La rénovation inéluctable de la diffusion de l'air de chauffage doit être complétée par la climatisation des locaux ;
- La rénovation de l'électricité est nécessaire dans cet ERP ;
- Le comptage de l'énergie thermique est nécessaire pour le suivi des consommations.

Bien évidemment, cette réflexion doit s'accompagner de la mise en place d'un programme muséographique précis permettant de définir les contraintes de la Maîtrise d'œuvre d'Exécution.

Le principe de précautions, et de conservation de la qualité des œuvres d'art nous amène à conseiller l'installation d'une climatisation telle que décrite dans le présent document, afin de pérenniser les œuvres d'art, et mettre en place des conditions d'ambiances adaptées aux confort des occupants.

VII. ANNEXE 1

DESCRIPTIF ICADE GESTEC DE LA CLIMATISATION

Descriptif technique de la climatisation des espaces muséographiques

Dépose des installations de chauffage

Dépose et enlèvement des tuyauteries et des deux caissons existant de chauffage actuel. Dépose et enlèvement des gaines en plâtre servant à la diffusion de l'air de chauffage compris registre et accessoires. Dépose ou condamnation des diffuseurs existants au sol et en plinthe dans les locaux.

Production calorifique

La production calorifique nécessaire au chauffage et à la climatisation des locaux sera issue de la chaufferie existante. Depuis le collecteur en chaufferie sur le réseau à température constante, deux réseaux de tuyauteries seront installés qui alimenteront les deux centrales de traitement d'air respectivement installée en sous sol et en comble. Les tuyauteries en acier seront calorifugées et comporteront des vannes d'isolement et tous accessoires. La circulation de l'eau de chauffage sera réalisée par une pompe jumelée à débit variable après dépose de celle existante.

Production frigorifique

La production frigorifique nécessaire aux deux centrales de traitement d'air sera réalisée par deux groupes frigorifiques à condensation par air gainables. Les appareils seront installés en sous sol dans un local technique à créer. Les appareils de marque Carrier ou similaire type AQUASNAP seront des refroidisseurs de liquide gainables avec module hydraulique intégré, équipé de pompes d'eau glacée jumelées. Régime d'eau glacée 7/12°C pour une température de l'air extérieur de 35°C. Des pièges à sons seront installés à l'aspiration et au refoulement des appareils. Gaz frigorigène R 407C. Une prise d'air maçonnée et une de rejet d'air seront à réaliser depuis le local technique qui aboutiront au sol à l'extérieur du bâtiment. Ces prises seront équipées de grille caillebotis. La production frigorifique alimentera les batteries à eau glacée des deux centrales de traitement d'air.

Centrales de traitement d'air

Deux centrales de traitement d'air seront installées, l'une dans le sous sol l'autre dans les combles. La centrale de traitement d'air qui sera installée au sous sol desservira les espaces du rez de chaussée, celle installée dans les combles desservira les locaux du deuxième et premier étage. Chaque centrale de traitement d'air comprendra : un ventilateur de reprise d'air ambiant, un caisson trois volet repris/mélange et rejet d'air, avec registres motorisés. Un caisson de filtration, une batterie à eau de préchauffage, une batterie froide à eau glacée, une batterie à eau de chauffage, un humidificateur à vapeur, et un ventilateur de soufflage. La régulation dont seront équipées les centrales de traitement d'air permettra de contrôler la température intérieure des locaux et l'hygrométrie de l'air ambiant. Une prise d'air neuf et une de rejet seront aménagées dans le sous sol et dans les combles.

Diffusion de l'air

Pour chaque centrale d'air, la diffusion de l'air de soufflage et de reprise sera réalisée par deux réseaux de gaines en tôle d'acier galvanisée, en spirales ou rectangulaires qui seront calorifugées. Au passage des planchers des clapets coup feu seront installés, qui seront asservis à la DI de chaque centrale d'air et à la DI du bâtiment. Dans les locaux la diffusion et la reprise de l'air sera réalisée par de diffuseurs et grilles de reprise.

Electricité

Depuis deux attentes laissées par le lot électricité, une armoire électrique de commande et de régulation sera installée dans chaque local technique, pour le fonctionnement des installations de traitement d'air, et de production frigorifique.

Ventilation des locaux du sous sol

Les locaux du sous sol devront être ventilés et chauffés par une installation spécifique indépendante des deux centrales d'air, afin de maintenir une aération pour les réserves existantes et limiter l'humidité des sols en terre-plein. Ces réserves sont en l'état actuel des réserves « sèches » ne comportant pas d'œuvre d'art ni de manuscrit muséographique.