

## **DIAGNOSTIC ÉNERGETIQUE**

### **Phase 2**

### **Programme d'actions – Amélioration énergétique**

### **Cité administrative**



**Version 2**

---

**ALTEREA**

48 bis, rue de Bel-Air – B.P. 80909 – 44009 Nantes Cedex 1

Tel: 02 40 74 24 81 – Fax: 02 51 84 16 33

[contact@alterea.fr](mailto:contact@alterea.fr) – [www.alterea.fr](http://www.alterea.fr)

## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>POTENTIELS D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE</b>	<b>5</b>
<hr/>		
1.1	INTRODUCTION	5
1.2	INTERVENTIONS PROPOSÉES	6
1.3	INTERVENTIONS SUR LE BATI	7
1.3.1	ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR DES MURS DU BATIMENT A	7
1.3.2	REPLACEMENT DES OUVRANTS	8
1.3.3	POSE DE VOLETS ROULANTS SUR LES OUVRANTS	9
1.3.4	ISOLATION DES TOITURES-TERRASSES DU BATIMENT A	10
1.3.5	ISOLATION DES PLANCHERS BAS DU BATIMENT A	11
1.4	INTERVENTIONS SUR LES ÉQUIPEMENTS THERMIQUES	12
1.4.1	MISE EN PLACE DE CHAUDIÈRES GAZ CONDENSATION	12
1.4.2	MISE EN PLACE DE ROBINETS THERMOSTATIQUES	13
1.4.3	MISE EN PLACE DE ROBINETS THERMOSTATIQUES PROGRAMMABLES	14
1.4.4	MISE EN PLACE DE CIRCULATEURS À DÉBIT VARIABLE	15
1.5	INTERVENTIONS SUR LES ÉQUIPEMENTS DE VENTILATION	16
1.5.1	MISE EN PLACE D'UNE VMC DOUBLE-FLUX STATIQUE COLLECTIVE POUR LE BATIMENT A	16
1.6	INTERVENTIONS SUR LES ÉQUIPEMENTS ÉLECTRIQUES	17
1.6.1	PILOTAGE DES SOURCES LUMINEUSES	17
1.7	AMÉLIORATION DE LA GESTION DU SITE	18
1.7.1	EXTINCTION PILOTÉE À DISTANCE DES UNITES CENTRALES ET LOGICIEL D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE	18
1.7.2	MISE EN PLACE D'UNE GTB/GTC	19
1.8	MISE EN PLACE D'ÉNERGIES RENOUVELABLES	20
1.8.1	PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ SOLAIRE AVEC INJECTION TOTALE SUR LE RÉSEAU	20
1.9	TABLEAU RÉCAPITULATIF	21
<b>2</b>	<b>SCÉNARIOS D'AMÉLIORATION DES PERFORMANCES ÉNERGETIQUES</b>	<b>23</b>
<hr/>		
2.1	SCÉNARIO « MISE EN PLACE À COURT TERME »	24
2.2	SCÉNARIO « OBJECTIF GRENELLE 2020 (-40%) »	25
2.3	SCÉNARIO « OBJECTIF GRENELLE 2050 (-75%) »	26
<b>3</b>	<b>PLAN DE PROGRES</b>	<b>27</b>
<hr/>		
3.1	SCÉNARIOS	27
3.2	DECOMPOSITION DES COÛTS	28



## 1 POTENTIELS D'ÉCONOMIE D'ÉNERGIE

### 1.1 Introduction

Dans le prolongement de la phase 1 « évaluation rapide de la performance énergétique des bâtiments », ce document présente les interventions envisageables sur le patrimoine audité de manière plus approfondie, détaillée et chiffrée.

Chaque intervention est présentée sous forme de fiche comprenant quatre parties :

Analyse	Argumentaire	Mise en œuvre	Observations
---------	--------------	---------------	--------------

Un tableau détaillé présente l'impact des travaux sur les indices suivants :

Indices	Unité
Economie annuelle d'énergie	kWh <sub>EF</sub>
Part de la consommation totale	%
Economie financière de la première année <sup>1</sup>	€ <sup>TTC</sup>
Economie de CO <sub>2</sub> engendrée	tonnes
Investissement	€ <sup>HT</sup>
Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> économisée	€ <sup>HT</sup> /tonne
Temps de retour brut sur investissement	années
Temps de retour actualisé sur investissement <sup>2</sup>	années
Indice d'amélioration du confort	échelle de 1 à 5 étoiles
Indice de vétusté	échelle de 1 à 5 points

Enfin, les interventions sont classées selon trois catégories :

<b>Gestion</b>
<b>Remplacement d'équipements</b>
<b>Travaux sur bâtiment</b>

<sup>1</sup> Coût moyen constaté en 2008, actualisé à 20010

<sup>2</sup> Actualisation du prix des énergies de 4% par an (source : DGEMP-DIDEME)

## 1.2 Interventions proposées

Type	Interventions	
<b>Bâti</b>  <b>Interventions sur les équipements thermiques</b>  <b>Interventions sur les équipements de ventilation</b>  <b>Interventions sur les équipements électriques</b>  <b>Amélioration de la gestion du site</b>  <b>Mise en place d'énergies renouvelables</b>	1	Isolation par l'extérieur des murs du bâtiment A
	2	Remplacement des ouvrants
	3	Pose de volets roulants sur les ouvrants
	4	Isolation des toitures-terrasses du bâtiment A
	5	Isolation des planchers bas du bâtiment A
	6	Mise en place de chaudières gaz à condensation
	7	Mise en place de robinets thermostatiques
	8	Mise en place de robinets thermostatiques programmables
	9	Mise en place de circulateurs à débit variable
	10	Mise en place de VMC double flux statique collective pour le bâtiment A
	11	Pilotage des sources lumineuses
	12	Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie
	13	Mise en place d'une GTB/GTC
	14	Production d'électricité solaire avec injection totale sur le réseau

## 1.3 Interventions sur le bâti

### 1.3.1 Isolation par l'extérieur des murs du bâtiment A

Analyse				
Confort ★ ★ ★ ★	Vétusté ● ● ● ●	Economie annuelle d'énergie	88 198 kWh <sub>EF</sub>	Type d'intervention Travaux sur bâtiment
		Part de la consommation totale	5 %	
		Economie la première année	4 161 € <sup>TTC</sup>	
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	21 tonnes	
		Coût des travaux	429 500 € <sup>HT</sup>	
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	20 811 € <sup>HT</sup> /tonne	
		Temps de retour brut	>100 ans	
		Temps de retour actualisé	42 ans	

Argumentaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration du confort par diminution de l'effet de paroi froide.</li> <li>Diminution des déperditions de chaleur.</li> <li>Amélioration du confort acoustique.</li> <li>Rénovation de la façade avec protection contre la pénétration des eaux de pluie.</li> <li>Annulation des ponts thermiques au niveau des planchers et refends</li> <li>Augmentation de l'inertie thermique du bâtiment.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travaux lourds et mise en œuvre importante (échafaudage).</li> </ul>

Mise en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> <li>L'isolation par l'extérieur des murs de façade est réalisée principalement suivant 2 méthodes :               <ul style="list-style-type: none"> <li>Isolant en laine minérale avec revêtement rapporté (bardage), d'une épaisseur de 120 mm. Cette solution est appropriée aux façades à la forme complexe et avec de nombreuses découpes de fenêtre.</li> <li>Isolant en polystyrène avec un enduit mince sur isolant, d'une épaisseur de 110mm. Cette solution est appropriée aux façades à la forme simple et plane.</li> </ul> </li> <li>La simulation a été réalisée avec un isolant avec un R de 3.20 m<sup>2</sup>.K/W.</li> </ul>

Observations
<ul style="list-style-type: none"> <li>Attention à ne pas bloquer l'évacuation de l'humidité dans le mur avec un isolant trop imperméable à la vapeur d'eau.</li> <li>Il est préférable d'utiliser des produits ayant la certification ACERMI ou CSTBat.</li> </ul>

### 1.3.2 Remplacement des ouvrants

Analyse			
Confort Vétusté ★ ★ ★ ★	● ●	Economie annuelle d'énergie	184 903 kWh <sub>EF</sub>
		Part de la consommation totale	11 %
		Economie la première année	8 723 € <sup>TTC</sup>
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	43 tonnes
		Coût des travaux	489 800 € <sup>HT</sup>
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	11 320 € <sup>HT</sup> /tonne
		Temps de retour brut	56 ans
Temps de retour actualisé	30 ans		
		Type d'intervention	Travaux sur bâtiment

### Argumentaire

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration du confort par diminution de l'effet de paroi froide.</li> <li>Amélioration du confort acoustique par atténuation des bruits.</li> <li>Diminution des déperditions de chaleur.</li> <li>Revalorisation du bien immobilier.</li> <li>Diminution des risques de condensation sur le vitrage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travaux pouvant nécessiter la reprise des revêtements intérieurs (non chiffré).</li> </ul>

### Mise en œuvre

<ul style="list-style-type: none"> <li>La simulation est réalisée en remplaçant l'huissierie complète avec la mise en place d'ouvrants en double-vitrage 4-16-4 peu émissif (<math>U_f = 1.8 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}</math>) sur menuiserie PVC.</li> </ul>
--

### Observations

<ul style="list-style-type: none"> <li>L'intervention ne sera pérenne que si le remplacement des fenêtres existantes est réalisé en changeant l'huissierie complète.</li> <li>L'arrêté du 3 mai 2007, relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants, impose un coefficient de transmission thermique <math>U = 2.6 \text{ W/m}^2.\text{K}</math> pour les ouvrants à menuiserie coulissante et <math>2.3 \text{ W/m}^2.\text{K}</math> dans les autres cas.</li> <li>Afin d'assurer le renouvellement de l'air naturellement, il est nécessaire de doubler les entrées d'air.</li> <li>Il est préférable d'utiliser des produits ayant la certification ACOTHERM ou CSTBat.</li> </ul>
--

### 1.3.3 Pose de volets roulants sur les ouvrants

Analyse			
Confort Vétusté ★ ★ ★ ★	● ●	Economie annuelle d'énergie	51 451 kWh <sub>EF</sub>
		Part de la consommation totale	3 %
		Economie la première année	2 427 € <sup>TTC</sup>
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	12 tonnes
		Coût des travaux	195 900 € <sup>HT</sup>
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	16 271 € <sup>HT</sup> /tonne
		Temps de retour brut	81 ans
Temps de retour actualisé	37 ans		
		Type d'intervention	Travaux sur bâtiment

Argumentaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration du confort par diminution de l'effet de paroi froide.</li> <li>Amélioration du confort acoustique par atténuation des bruits.</li> <li>Diminution des déperditions de chaleur.</li> <li>Limite les apports solaires en été à l'est et à l'ouest.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les coffres de volets roulants rapportés à l'extérieur peuvent diminuer sensiblement la surface de clair de la fenêtre.</li> </ul>

Mise en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> <li>Les coffres de volets roulants sont placés à l'extérieur afin de minimiser les travaux. Il est judicieux de prévoir cette intervention en même temps que le remplacement des baies vitrées, si cela doit avoir lieu.</li> <li>La simulation est réalisée avec des volets roulants en PVC d'épaisseur &gt; 12 mm ou des volets battants en bois d'épaisseur &gt; 22 mm (type D selon l'arrêté du 3 mai 2007).</li> </ul>

Observations
<ul style="list-style-type: none"> <li>L'intérêt de l'intervention est de ménager une lame d'air la plus étanche possible entre le volet et le vitrage afin de diminuer les pertes par transmission, pendant la nuit essentiellement, quand les températures extérieures sont les plus basses.</li> <li>Les volets roulants en PVC sont sans entretien.</li> <li>Il est préférable d'utiliser des produits ayant la certification NF Fermetures.</li> </ul>

### 1.3.4 Isolation des toitures-terrasses du bâtiment A

#### Analyse

Confort	Vétusté			Type d'intervention
★ ★ ★	●	Economie annuelle d'énergie	45 423 kWh <sub>EF</sub>	Travaux sur bâtiment
		Part de la consommation totale	3 %	
		Economie la première année	2 143 € <sup>TTC</sup>	
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	11 tonnes	
		Coût des travaux	113 400 € <sup>HT</sup>	
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	10 669 € <sup>HT</sup> /tonne	
		Temps de retour brut	53 ans	
	Temps de retour actualisé	29 ans		

#### Argumentaire

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration du confort par diminution de l'effet de paroi froide.</li> <li>Diminution des déperditions de chaleur.</li> <li>Faible surcoût dans le cas de la nécessité d'une réfection de l'étanchéité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Travaux lourds nécessitant du matériel (grue, etc.) pour les toitures-terrasses.</li> <li>Élévation des lanterneaux (si existant).</li> </ul>

#### Mise en œuvre

<ul style="list-style-type: none"> <li>Dépose de l'étanchéité et de l'isolation existantes.</li> <li>En général, l'isolation est mise en place et recouverte d'une étanchéité puis d'une protection lourde. Dans le cas où l'étanchéité est en parfait état, l'isolation est interposée entre la dalle de terrasse et la protection lourde suivant la technique de « toiture inversée ».</li> <li>La simulation est réalisée avec la mise en place d'un isolant performant (<math>R = 2 \times 3.2 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}</math>).</li> </ul>
---

#### Observations

<ul style="list-style-type: none"> <li>Ne jamais isoler une terrasse en sous face d'un plancher en béton à cause du risque de fissuration occasionné par les chocs thermiques. L'isolation par l'intérieur consisterait à réaliser un faux-plafond avec une lame d'air séparant l'isolant du plafond.</li> <li>Utiliser des produits ayant la certification ACERMI ou CSTBat.</li> </ul>
--

### 1.3.5 Isolation des planchers bas du bâtiment A

Analyse			
Confort Vétusté ★ ●	Economie annuelle d'énergie	37 218	kWh <sub>EF</sub>
	Part de la consommation totale	2	%
	Economie la première année	1 756	€ <sup>TTC</sup>
	Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	9	tonnes
	Coût des travaux	86 400	€ <sup>HT</sup>
	Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	9 921	€ <sup>HT</sup> /tonne
	Temps de retour brut	49	ans
	Temps de retour actualisé	28	ans
			Type d'intervention Travaux sur bâtiment

Argumentaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration du confort par diminution de l'effet de paroi froide.</li> <li>Diminution des déperditions de chaleur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Plafonds de passages publics à protéger pour éviter les dégradations de l'isolant.</li> <li>Diminution de la hauteur sous-plafond du niveau inférieur.</li> </ul>

Mise en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> <li>Isolation par l'extérieur des planchers par pose de panneaux d'isolant en polystyrène extrudé de 100 mm pour un R de 2.75 m<sup>2</sup>.K/W en sous face de plancher haut, maintenu par des fixations mécaniques de type cheville à expansion. Cette technique est appliquée dans le cas où il n'y a pas de passage de réseaux.</li> <li>Dans le cas contraire, l'isolation est effectuée par soufflage de 100 mm de laine minérale collée par liant synthétique pour un R de 2.4 m<sup>2</sup>.K/W</li> </ul>

Observations
<ul style="list-style-type: none"> <li>Penser au déplacement des points lumineux.</li> <li>Laisser apparents les boîtiers de dérivation électrique.</li> <li>Utiliser des produits ayant la certification ACERMI ou CSTBat.</li> </ul>

## 1.4 Interventions sur les équipements thermiques

### 1.4.1 Mise en place de chaudières gaz condensation

Analyse			
Confort Vétusté ★ ●	Economie annuelle d'énergie	194 057	kWh <sub>EF</sub>
	Part de la consommation totale	11	%
	Economie la première année	9 155	€ <sup>TTC</sup>
	Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	45	tonnes
	Coût des travaux	87 200	€ <sup>HT</sup>
	Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	1 920	€ <sup>HT</sup> /tonne
	Temps de retour brut	10	ans
	Temps de retour actualisé	8	ans
			Type d'intervention Remplacement d'équipements

Argumentaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration du rendement de production (supérieur à celle des chaudières basse-température).</li> <li>Diminution de la consommation de combustible.</li> <li>Diminution du coût d'exploitation.</li> <li>Facilité et rapidité d'intervention.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Nécessité d'un tubage du conduit de fumée avec une surface intérieure lisse.</li> </ul>

Mise en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> <li>Remplacement des chaudières actuelles par des chaudières gaz condensation.</li> <li>Le choix des générateurs est réalisé en fonction des besoins des bâtiments et non pas uniquement par rapport à la puissance des générateurs existants, qui peuvent s'avérer être inadaptées.</li> <li>On privilégiera les retours froids aux chaudières en régulant la température de départ en agissant sur une vanne de mélange.</li> </ul>

Observations
<ul style="list-style-type: none"> <li>La mise en place d'une chaudière à condensation est plutôt indiquée pour des installations de chauffage à basse ou moyenne température, afin de profiter de la condensation tout au long de la saison.</li> <li>Les condensats sont rejetés dans le réseau d'eaux usées par des canalisations PVC.</li> </ul>

## 1.4.2 Mise en place de robinets thermostatiques

Analyse				
Confort ★ ★ ★ ★ ★	Vétusté ● ● ● ● ●	Economie annuelle d'énergie	51 835 kWh <sub>EF</sub>	Type d'intervention Remplacement d'équipements
		Part de la consommation totale	3 %	
		Economie la première année	2 445 € <sup>TTC</sup>	
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	12 tonnes	
		Coût des travaux	109 900 € <sup>HT</sup>	
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	9 061 € <sup>HT</sup> /tonne	
		Temps de retour brut	45 ans	
Temps de retour actualisé	26 ans			

Argumentaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration du confort par maintien de la température ambiante souhaitée.</li> <li>Economies d'énergie en évitant les surchauffes.</li> <li>Limitation possible de la plage de fonctionnement (température limitée).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dans les installations sujettes à l'embouage, risque de blocage de la tige ou du ressort de rappel (actionner la tête de temps en temps pour éviter ce problème).</li> </ul>

Mise en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> <li>Pose d'un robinet thermostatique par émetteur de chaleur.</li> <li>La tête du robinet doit toujours être placée horizontalement.</li> <li>Un robinet avec bulbe incorporé ne doit pas être placé derrière des rideaux ou voilages, sous une tablette de radiateur,...</li> </ul>

Observations
<ul style="list-style-type: none"> <li>Il est recommandé d'installer une vanne de décharge automatique (ou soupape différentielle) en tête de distribution, ainsi qu'un filtre sur le réseau pour préserver le siège des robinets.</li> <li>Il est judicieux d'installer un circulateur à vitesse variable à maintien de pression constante.</li> <li>Attention au sens de montage des thermostatiques, pour éviter les coups de béliet.</li> <li>Les robinets thermostatiques ne dispensent pas d'une régulation centrale de la température d'eau. Avec un circuit à température constante, les robinets thermostatiques "pompent" et les radiateurs produisent des bruits de dilatation.</li> <li>Utiliser des produits ayant la certification européenne CENCER.</li> <li>Il est recommandé de mettre des robinets thermostatiques institutionnels avec bague antiviol et blocage de la plage de réglage pour les ERP.</li> </ul>

### 1.4.3 Mise en place de robinets thermostatiques programmables

Analyse				
Confort ★ ★ ★ ★ ★	Vétusté ● ● ● ● ●	Economie annuelle d'énergie	77 752 kWh <sub>EF</sub>	Type d'intervention Remplacement d'équipements
		Part de la consommation totale	5 %	
		Economie la première année	3 668 € <sup>TTC</sup>	
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	18 tonnes	
		Coût des travaux	146 500 € <sup>HT</sup>	
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	8 052 € <sup>HT</sup> /tonne	
		Temps de retour brut	40 ans	
Temps de retour actualisé	24 ans			

### Argumentaire

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Passage automatique d'un niveau de consigne à un autre, selon la programmation.</li> <li>• Adaptation de la température d'ambiance au planning d'occupation des pièces.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nécessite une programmation individualisée des robinets thermostatiques.</li> <li>• Prévoir une alimentation électrique.</li> </ul>

### Mise en œuvre

- Pose d'un robinet thermostatique programmable par émetteur de chaleur.
- La tête du robinet doit toujours être placée horizontalement.
- Un robinet avec bulbe incorporé ne doit pas être placé derrière des rideaux ou voilages, sous une tablette de radiateur,...
- La tête est pilotée par moteur électrique.

### Observations

- L'arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants impose la pose de robinets thermostatiques sur les radiateurs existants sauf s'il s'agit de radiateurs monotubes.
- Il est préférable d'utiliser des produits ayant la certification européenne CENCER.
- Il est recommandé d'installer une soupape différentielle pour stabiliser la pression du réseau lorsque le robinet thermostatique se ferme.
- Il est recommandé de mettre des robinets thermostatiques institutionnels avec bague antiviol et blocage de la plage de réglage pour les ERP.

#### 1.4.4 Mise en place de circulateurs à débit variable

Analyse			
Confort Vétusté ★ ●	Economie annuelle d'énergie	6 302	kWh <sub>EF</sub>
	Part de la consommation totale	<1	%
	Economie la première année	606	€ <sup>TTC</sup>
	Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	1	tonne
	Coût des travaux	15 000	€ <sup>HT</sup>
	Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	28 334	€ <sup>HT</sup> /tonne
	Temps de retour brut	25	ans
	Temps de retour actualisé	18	ans
			Type d'intervention Remplacement d'équipements

Argumentaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Adaptation constante du débit en fonction de la perte de charge programmée.</li> <li>Diminution de la consommation des auxiliaires.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aucun inconvénient.</li> </ul>

Mise en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mise en place d'un circulateur à débit variable sur les circuits radiateurs.</li> <li>Mise en place d'une soupape différentielle par circuit de chauffage.</li> <li>Rééquilibrage de l'installation de chauffage.</li> </ul>

Observations
<ul style="list-style-type: none"> <li>Le débit du circulateur ne varie qu'avec la présence de robinets thermostatiques ou autre système de régulation locale générant des pertes de charges variables.</li> <li>Profiter de l'intervention pour contrôler les débits et les pertes de charge afin de choisir le circulateur le mieux adapté au réseau (ne pas remplacer systématiquement à l'identique).</li> <li>Utiliser des produits ayant le marquage NF.</li> </ul>

## 1.5 Interventions sur les équipements de ventilation

### 1.5.1 Mise en place d'une VMC double-flux statique collective pour le bâtiment A

Analyse				
Confort ★ ★ ★ ★	Vétusté ● ● ● ●	Economie annuelle d'énergie	113 540 kWh <sub>EF</sub>	Type d'intervention Travaux sur bâtiment
		Part de la consommation totale	7 %	
		Economie la première année	4 568 € <sup>TTC</sup>	
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	29 tonnes	
		Coût des travaux	584 500 € <sup>HT</sup>	
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	20 168 € <sup>HT</sup> /tonne	
		Temps de retour brut	>100 ans	
Temps de retour actualisé	46 ans			

### Argumentaire

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Amélioration du confort thermique.</li> <li>Diminution des déperditions de chaleur dues au renouvellement d'air.</li> <li>La VMC double-flux est équipée de filtres, améliorant la qualité de l'air neuf.</li> <li>Evacuation de l'humidité présente dans les zones aérées.</li> <li>Meilleure conservation des matériels attaqués par l'humidité.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Contrainte de maintenance.</li> <li>Passage de conduits d'extraction et d'insufflation en faux-plafonds ou dans les combles.</li> <li>Encombrement du groupe moteur de la VMC double-flux.</li> <li>Augmentation des consommations électriques auxiliaires.</li> </ul>

### Mise en œuvre

<ul style="list-style-type: none"> <li>Création d'un plénum pour le passage des réseaux aérauliques.</li> <li>Mise en place de bouches d'insufflation dans les pièces dites « de vie ».</li> <li>Mise en place de bouches d'extraction dans les pièces dites « de service ».</li> <li>Installation d'un échangeur à plaques ou à roue double flux (efficacité 90 %) dans un local technique, en toiture terrasse ou dans les combles.</li> <li>Les bouches sont reliées au(x) groupe(s) d'extraction et d'insufflation par des conduits isolés.</li> </ul>
--

### Observations

<ul style="list-style-type: none"> <li>Les débits minimums à extraire sont fixés par les arrêtés du 24 Mars 1982 et du 28 Octobre 1983 pour l'habitat, et par le Code du Travail pour le tertiaire.</li> <li>L'air neuf est préchauffé par l'air extrait avant d'être insufflé dans les pièces.</li> <li>Possibilité d'installer une batterie à eau chaude ou électrique.</li> <li>Bien répartir les bouches de soufflage et d'extraction dans les pièces.</li> </ul>
---

## 1.6 Interventions sur les équipements électriques

### 1.6.1 Pilotage des sources lumineuses

Analyse				
Confort Vétusté ★ ●		Economie annuelle d'énergie	88 031 kWh <sub>EF</sub>	Type d'intervention Remplacement d'équipements
		Part de la consommation totale	5 %	
		Economie la première année	8 465 € <sup>TTC</sup>	
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	7 tonnes	
		Coût des travaux	752 400 € <sup>HT</sup>	
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	101 750 € <sup>HT</sup> /tonne	
		Temps de retour brut	89 ans	
		Temps de retour actualisé	39 ans	

### Argumentaire

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ajustement automatique de l'éclairage artificiel en complément de la luminosité naturelle.</li> <li>• Ajustement automatique de l'éclairage artificiel en fonction de l'utilisation des locaux.</li> <li>• Diminution des consommations d'électricité pour l'éclairage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solution coûteuse.</li> </ul>

### Mise en œuvre

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Le pilotage des sources lumineuses peut comprendre plusieurs systèmes, individuels ou à associer :                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- détecteurs de présence,</li> <li>- photodiodes,</li> <li>- horloges programmables,</li> <li>- gradateurs.</li> </ul> </li> </ul>
---

### Observations

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Attention aux réglages des seuils de détection, des temporisations, et aux placements des cellules et détecteurs.</li> <li>• Profiter de l'intervention pour adapter les niveaux d'éclairage aux besoins du site.</li> <li>• Utiliser des produits ayant le marquage NF Luminaires.</li> </ul>
---

## 1.7 Amélioration de la gestion du site

### 1.7.1 Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie

Analyse				
Confort Vétusté ★ ●		Economie annuelle d'énergie	29 469 kWh <sub>EF</sub>	Type d'intervention Gestion
		Part de la consommation totale	2 %	
		Economie la première année	2 834 € <sup>TTC</sup>	
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	2 tonnes	
		Coût des travaux	0 € <sup>HT</sup>	
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	0 € <sup>HT</sup> /tonne	
		Temps de retour brut	0 an	
		Temps de retour actualisé	0 an	

Argumentaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Extinction automatique des unités centrales.</li> <li>Diminution de la consommation d'énergie électrique relative à l'informatique.</li> <li>Durée de vie des équipements prolongée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Aucun inconvénient.</li> </ul>

Mise en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> <li>Par le biais du réseau informatique, les ordinateurs connectés sont éteints à un horaire défini par le gestionnaire.</li> <li>Réglage des fonctions Energy Star sur les postes informatiques.</li> </ul>

Observations
<ul style="list-style-type: none"> <li>Un message prévient l'utilisateur de l'extinction de l'unité centrale. L'utilisateur peut ainsi annuler l'extinction de l'ordinateur.</li> </ul>

## 1.7.2 Mise en place d'une GTB/GTC

Analyse				
Confort Vétusté ★ ★ ★	● ●	Economie annuelle d'énergie	51 835 kWh <sub>EF</sub>	Type d'intervention Travaux sur bâtiment
		Part de la consommation totale	3 %	
		Economie la première année	2 445 € <sup>TTC</sup>	
		Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	12 tonnes	
		Coût des travaux	494 400 € <sup>HT</sup>	
		Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	40 761 € <sup>HT</sup> /tonne	
		Temps de retour brut	>100 ans	
Temps de retour actualisé	56 ans			

Argumentaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>Economies d'énergie par actions régulières de correction des programmes.</li> <li>Correction possible des dérives grâce aux événements horodatés.</li> <li>Meilleur suivi des performances des installations.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Les systèmes des différents fabricants ne sont en général pas interchangeables.</li> </ul>

Mise en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> <li>Établissement de la liste des points d'entrée et de sortie.</li> <li>Mise en place et programmation d'un automate central et de son interface.</li> <li>Mise en place et branchement des capteurs et des actionneurs adéquats (aquastat chaudières, sonde de température extérieure, sondes de départ et retour réseau, sondes d'ambiance éventuellement...).</li> </ul>

Observations
<ul style="list-style-type: none"> <li>Un système de Gestion Technique du Bâtiment ou Centralisée ne sera utile que s'il est utilisé par les bonnes personnes et régulièrement exploitée.</li> <li>Ces équipements permettent la mise en place d'une maintenance préventive des équipements et mettent à disposition des alarmes afin de permettre des interventions rapides et efficaces.</li> </ul>

## 1.8 Mise en place d'énergies renouvelables

### 1.8.1 Production d'électricité solaire avec injection totale sur le réseau

Analyse			
Confort Vétusté ★ ●	Economie annuelle d'énergie	66 500 kWh <sub>EF</sub>	Type d'intervention Travaux sur bâtiment
	Part de la consommation totale	4 %	
	Economie la première année	20 894 € <sup>TTC</sup>	
	Emissions de CO <sub>2</sub> annuelles évitées	6 tonnes	
	Coût des travaux	420 000 € <sup>HT</sup>	
	Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée	75 188 € <sup>HT</sup> /tonne	
	Temps de retour brut	20 ans	
	Temps de retour actualisé	20 ans	

Argumentaire	
Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diminution des émissions de gaz à effet de serre.</li> <li>• Utilisation d'une ressource renouvelable.</li> <li>• Production d'électricité décentralisée.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investissement important.</li> <li>• Concurrence avec la mise en place de capteurs solaires thermiques pour la production d'ECS.</li> </ul>

Mise en œuvre
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation de 583m<sup>2</sup> de panneaux solaires photovoltaïques en toitures terrasses. La puissance installée est de 70kWc.</li> <li>• Mise en place d'onduleurs et raccordement au réseau électrique.</li> </ul>

Observations
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Avant toute réalisation, une étude de MDE (Maîtrise de la Demande d'Electricité) est préconisée, dans le but de réduire les consommations électriques.</li> </ul>

## 1.9 Tableau récapitulatif

	Economie annuelle d'énergie [kWh <sub>EF</sub> ]	Part de la consommation totale [%]	Economie la première année [€ <sup>TTC</sup> ]	Coût des travaux [€ <sup>HT</sup> ]	Temps de retour brut [ans]	Temps de retour actualisé [ans]	Émissions de CO <sub>2</sub> évitées [tonnes]	Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitée [€ <sup>HT</sup> /tonne]
Isolation par l'extérieur des murs du bâtiment A	88 198	5	4 161	429 500	>100	42	21	20 811
Remplacement des ouvrants	184 903	11	8 723	489 800	56	30	43	11 320
Pose de volets roulants sur les ouvrants	51 451	3	2 427	195 900	81	37	12	16 271
Isolation des toitures-terrasses du bâtiment A	45 423	3	2 143	113 400	53	29	11	10 669
Isolation des planchers bas du bâtiment A	37 218	2	1 756	86 400	49	28	9	9 921
Mise en place de chaudières gaz à condensation	194 057	11	9 155	87 200	10	8	45	1 920
Mise en place de robinets thermostatiques	51 835	3	2 445	109 900	45	26	12	9 061
Mise en place de robinets thermostatiques programmables	77 752	5	3 668	146 500	40	24	18	8 052
Mise en place de circulateurs à débit variable	6 302	<1	606	15 000	25	18	1	28 334
Mise en place de VMC double flux statique collective	113 540	7	4 568	584 500	>100	46	29	20 168
Pilotage des sources lumineuses	88 031	5	8 465	752 400	89	39	7	101 750
Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie	29 469	2	2 834	0	0	<1	2	0
Mise en place d'une GTB/GTC	51 835	3	2 445	494 400	>100	56	12	40 761
Production d'électricité solaire avec injection totale sur le réseau	66 500	4	20 894	420 000	20	20	6	75 188



## 2 SCENARIOS D'AMELIORATION DES PERFORMANCES ENERGETIQUES

Dans un premier temps, les améliorations simulées sont celles qui présentent le temps de retour le plus court.

Dans un second temps, le scénario proposé regroupe les actions concernant les améliorations thermiques du bâti afin d'en diminuer les besoins.

Enfin, le dernier scénario proposé simule les améliorations thermiques des systèmes de chauffage, de ventilation et d'éclairage.

Ces points sont traités dans des scénarios consécutifs et agrémentés des actions précédemment proposées :

<b>Mise en place à court terme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mise en place de circulateurs à débit variable</li> <li>• Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie</li> </ul>
<b>Objectif Grenelle 2020 (-40%)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Remplacement des ouvrants</li> <li>• Isolation des toitures-terrasses du bâtiment A</li> <li>• Isolation des planchers bas du bâtiment A</li> <li>• Mise en place de robinets thermostatiques programmables</li> <li>• Mise en place de circulateurs à débit variable</li> <li>• Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie</li> <li>• Production d'électricité solaire avec injection totale sur le réseau</li> </ul>
<b>Objectif Grenelle 2050 (-75%)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Isolation par l'extérieur des murs du bâtiment A</li> <li>• Remplacement des ouvrants</li> <li>• Pose de volets roulants sur les ouvrants</li> <li>• Isolation des toitures-terrasses du bâtiment A</li> <li>• Isolation des planchers bas du bâtiment A</li> <li>• Mise en place de chaudières gaz à condensation</li> <li>• Mise en place de robinets thermostatiques programmables</li> <li>• Mise en place de circulateurs à débit variable</li> <li>• Mise en place de VMC double flux statique collective pour le bâtiment A</li> <li>• Réfection globale de l'éclairage</li> <li>• Pilotage des sources lumineuses</li> <li>• Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie</li> <li>• Mise en place d'une GTB/GTC</li> <li>• Production d'électricité solaire avec injection totale sur le réseau</li> </ul>

## 2.1 Scénario « mise en place à court terme »

Economie annuelle d'énergie	34 871 kWh <sub>EF</sub>
Part de la consommation totale	2 %
Economie la première année	3 353 € <sup>TTC</sup>
Émissions de CO <sub>2</sub> évitées	3 tonnes
Coût des travaux	15 000 € <sup>HT</sup>
Coût de la tonne de CO <sub>2</sub> évitées	5 121 € <sup>HT</sup> /tonne
Temps de retour sur investissement brut	4 ans
Temps de retour sur investissement actualisé	4 ans

Le scénario « mise en place à court terme » simule les actions suivantes :

- Mise en place de circulateurs à débit variable
- Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie



## 2.2 Scénario « objectif Grenelle 2020 (-40%) »

<b>Economie annuelle d'énergie</b>	442 380 kWh <sub>EF</sub>
<b>Part de la consommation totale</b>	26 %
<b>Economie la première année</b>	40 334 € <sup>TTC</sup>
<b>Émissions de CO<sub>2</sub> évitées</b>	88 tonnes
<b>Coût des travaux</b>	1 271 000 € <sup>HT</sup>
<b>Coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitées</b>	14 392 € <sup>HT</sup> /tonne
<b>Temps de retour sur investissement brut</b>	32 ans
<b>Temps de retour sur investissement actualisé</b>	21 ans

Le scénario « objectif Grenelle 2020 (-40%) » simule les actions suivantes :

- Remplacement des ouvrants
- Isolation des toitures-terrasses du bâtiment A
- Isolation des planchers bas du bâtiment A
- Mise en place de robinets thermostatiques programmables
- Mise en place de circulateurs à débit variable
- Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie
- Production d'électricité solaire avec injection totale sur le réseau

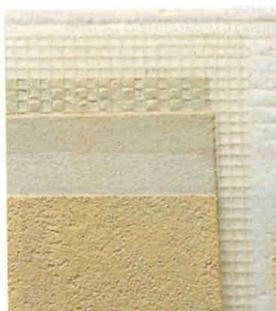


### 2.3 Scénario « objectif Grenelle 2050 (-75%) »

<b>Economie annuelle d'énergie</b>	1 016 939 kWh <sub>EF</sub>
<b>Part de la consommation totale</b>	60 %
<b>Economie la première année</b>	70 963 € <sup>TTC</sup>
<b>Émissions de CO<sub>2</sub> évitées</b>	212 tonnes
<b>Coût des travaux</b>	4 248 000 € <sup>HT</sup>
<b>Coût de la tonne de CO<sub>2</sub> évitées</b>	20 041 € <sup>HT</sup> /tonne
<b>Temps de retour sur investissement brut</b>	60 ans
<b>Temps de retour sur investissement actualisé</b>	31 ans

Le scénario « objectif Grenelle 2050 (-75%) » simule les actions suivantes :

- Isolation par l'extérieur des murs du bâtiment A
- Remplacement des ouvrants
- Pose de volets roulants sur les ouvrants
- Isolation des toitures-terrasses du bâtiment A
- Isolation des planchers bas du bâtiment A
- Mise en place de chaudières gaz à condensation
- Mise en place de robinets thermostatiques programmables
- Mise en place de circulateurs à débit variable
- Mise en place de VMC double flux statique collective pour le bâtiment A
- Réfection globale de l'éclairage
- Pilotage des sources lumineuses
- Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie
- Mise en place d'une GTB/GTC
- Production d'électricité solaire avec injection totale sur le réseau

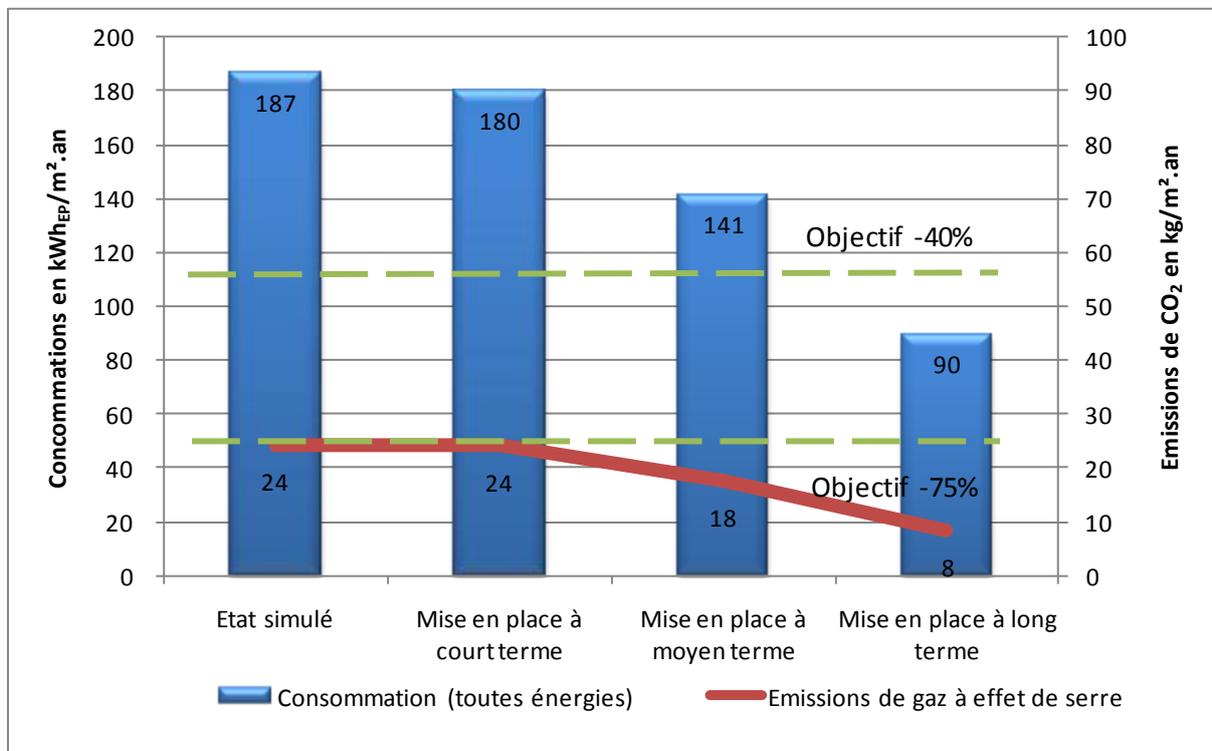


### 3 PLAN DE PROGRES

#### 3.1 Scénarios

Le plan de progrès proposé pour l'amélioration énergétique se décline en trois étapes :

Scénario	Gain	Classement DPE	
		Énergie primaire	Émissions CO <sub>2</sub>
Etat simulé	187 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .an	111 à 210 <b>C</b>	16 à 30 <b>C</b>
 Budget : 15 000 € <sup>HT</sup> Soit 1 € <sup>HT</sup> /m <sup>2</sup>			
Mise en place à court terme	180 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .an	111 à 210 <b>C</b>	16 à 30 <b>C</b>
 Budget : 1 256 000 € <sup>HT</sup> Soit 94 € <sup>HT</sup> /m <sup>2</sup>			
Objectif Grenelle 2020 (-40%)	141 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .an	111 à 210 <b>C</b>	16 à 30 <b>C</b>
 Budget : 3 247 500 € <sup>HT</sup> Soit 225 € <sup>HT</sup> /m <sup>2</sup>			
Objectif Grenelle 2050 (-75%)	90 kWh <sub>EP</sub> /m <sup>2</sup> .an	51 à 110 <b>B</b>	6 à 15 <b>B</b>



## 3.2 Décomposition des coûts

- Situation initiale :

Puissance installée	2 x 575 kW et 2 x 300 kW
Puissance nécessaire	2 x 300 kW et 2 x 230 kW

- Scénario « mise en place à court terme » :

	Unité	Coût unitaire	Total
Mise en place de circulateurs à débit variable	5 circuits	3 000 €/circuit	15 000 €
Extinction pilotée à distance des unités centrales et logiciel d'économie d'énergie	-	-	-
<b>Investissement</b>			<b>15 000 €</b>

- Scénario « Objectif Grenelle 2020 (-40%) » :

	Unité	Coût unitaire	Total
Remplacement des ouvrants	1 960 m <sup>2</sup>	250 €/m <sup>2</sup>	489 700 €
Isolation des toitures-terrasses du bâtiment A	1 080 m <sup>2</sup>	105 €/m <sup>2</sup>	113 400 €
Isolation des planchers bas du bâtiment A	1 080 m <sup>2</sup>	80 €/m <sup>2</sup>	86 400 €
Mise en place de robinets thermostatiques programmables	10 988 m <sup>2</sup>	200 €/unité 1 pour 15 m <sup>2</sup>	146 500 €
Production d'électricité solaire avec injection totale sur le réseau	70 kWc	6 €/Wc	420 000 €
<b>Investissement</b>			<b>1 256 000 €</b>

- Scénario « Objectif Grenelle 2050 (-75%) » :

	Unité	Coût unitaire	Total
Isolation par l'extérieur des murs du bâtiment A	3 436 m <sup>2</sup>	125 €/m <sup>2</sup>	429 500 €
Pose de volets roulants sur les ouvrants	1 960 m <sup>2</sup>	100 €/m <sup>2</sup>	195 900 €
Mise en place de chaudières gaz à condensation	2 x 380 kW	8 000 € + 60 €/kW	62 000 €
Mise en place de VMC double flux statique collective pour le bâtiment A	830 m <sup>2</sup>	102 €/m <sup>2</sup>	584 500 €
Pilotage des sources lumineuses	10 984 m <sup>2</sup>	68.5 €/m <sup>2</sup>	752 400 €
Mise en place d'une GTB/GTC	10 984 m <sup>2</sup>	55 000 € + 40 €/m <sup>2</sup>	494 300 €
<b>Investissement</b>			<b>2 518 600 €</b>