



# RETOUR D'EXPÉRIENCE

## EFFICACITÉ ENERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT



# INTRODUCTION

**“** L'ADEME et la Région Centre-Val de Loire organisent chaque année depuis 2007 un Appel à Projets pour faire émerger et accompagner la conception de bâtiments exemplaires en matière d'efficacité énergétique.

Les premières années, ces Appels à Projets (AAP) concernaient à la fois des bâtiments neufs qui devaient être à énergies positives (BEPOS) et les rénovations de bâtiments qui devaient atteindre le Niveau équivalent (RT 2012 neuf après travaux).

À partir de 2011, ces Appels à Projets se sont principalement focalisés sur les rénovations. Le niveau d'exigence pour les projets étant très élevé, la Région a décidé d'apporter une assistance à maîtrise d'ouvrage aux candidats pour les aider à atteindre les objectifs visés.

Ces Appels à Projets ont permis de sélectionner et de financer de nombreux projets lauréats.

Ce guide présente, analyse et valorise les réalisations les plus exemplaires pour permettre ainsi une large diffusion des bonnes pratiques auprès du plus grand nombre.

À ce jour nous constatons que ces Appels à Projets ont permis la montée en compétence des bureaux d'études, des architectes et des entreprises du bâtiment de la Région Centre-Val de Loire, dans ce domaine des bâtiments très basse consommation.

La faisabilité de tels bâtiments a été ainsi démontrée pour les acteurs de la construction et de la rénovation.

On peut considérer que ces bâtiments démonstrateurs sont les précurseurs des réglementations thermiques à venir et contribuent ainsi à atteindre le facteur 4 pour mieux maîtriser les dérèglements climatiques.

Bonne lecture de ce guide, pour vous accompagner sur le chemin de la conférence internationale sur le climat COP 21 à Paris en décembre prochain.

**G. DEGUET, Vice-Président  
de la Région Centre-Val de Loire**

**A. BOUDARD, Directeur régional  
de l'ADEME Centre-Val de Loire**

# QUEL EST L'OBJECTIF DE CE GUIDE ?

Ce guide vise à apporter, aux professionnels de l'acte de construire, les clefs pour réussir une opération de construction ou de rénovation de bâtiment durable à très faible besoin énergétique.

Il est basé sur les enseignements acquis depuis 2007 dans le cadre de l'Appel à Projets « efficacité énergétique du bâtiment », déclinaison régionale du programme national PRE-BAT initié et porté par l'ADEME et la Région Centre-Val de Loire.

Ce document a pour vocation de transmettre des retours d'expérience aux acteurs du bâtiment : maîtres d'ouvrages publics et privés, architectes, bureaux d'études, artisans et entreprises du bâtiment, organismes de formation, ...

Le contenu technique ne vise pas l'exhaustivité mais relate les bonnes et mauvaises pratiques qui ont pu être constatées sur 23 opérations suivies et accompagnées par l'ADEME, la Région et leur assistant expert AMOES.

Ces retours d'expérience montrent que la somme de solutions techniques individuelles « dites performantes », appliquée dans une construction ou une rénovation, ne peut garantir « à coup sûr » une haute performance énergétique réelle.

Pour atteindre les objectifs en termes de performance énergétique et de confort, il ne suffit donc pas d'additionner un ensemble de solutions (même si toutes contribuent à l'objectif final) mais surtout réfléchir à la meilleure manière de les articuler et les tester afin de vérifier si la combinaison fonctionne telle que les calculs théoriques l'avaient annoncé.

Ce guide est décomposé en trois parties : un premier chapitre qui présente la genèse, les objectifs et le bilan de l'AAP EEB, puis une seconde partie consacrée aux retours d'expérience en phase conception et mise en œuvre, enfin, une dernière partie dédiée à la mise au point et exploitation du bâtiment et ses installations.

Nous espérons que ce guide vous apportera les clés pour réaliser des projets de qualité, bonne lecture.

## SOMMAIRE

4

15

44

1 I PRÉSENTATION  
GÉNÉRALE

2 I DE LA CONCEPTION  
À LA MISE  
EN ŒUVRE

3 I DE LA MISE  
AU POINT  
À L'EXPLOITATION

# PARTIE 1

## PRÉSENTATION GÉNÉRALE

Le programme national PREBAT, développe, outre une dimension de recherche, un processus d'identification et de soutien aux bâtiments neufs ou réhabilités très performants, afin d'en démontrer la faisabilité et d'expérimenter les bâtiments aux normes de demain. Dans cette optique, ce programme est décliné localement, via des Appels à Projets régionaux. Le PREBAT alimente également le travail de définition des référentiels sur les bâtiments performants (Effinergie, HQE, ...).

En région Centre-Val de Loire, le programme PREBAT a été décliné dans le cadre de l'Appel à Projets « efficacité énergétique dans les bâtiments » initié en 2007 et porté par l'ADEME et la Région Centre-Val de Loire et ainsi qu'avec l'aide des fonds Européens (FEDER).

Ce dispositif permettait d'apporter une aide financière aux porteurs de projet afin de les aider à concrétiser leur démarche volontaire relative à la rénovation et construction de bâtiments durables. L'aide attribuée avait pour vocation d'amortir le surcoût financier lié aux efforts techniques pour réaliser des opérations bien plus performantes que les exigences réglementaires.

Chaque année un jury composé d'acteurs compétents dans le domaine du bâtiment (ADEME, Région Centre-Val de Loire, Chambre Régionale de Métiers et d'Artisanat, ENVIROBAT Centre, la Fédération Française du Bâtiment, la Confédération de l'Artisanat et des Petites Entreprises du Bâtiment, le Conseil Régional de l'Ordre des Architectes de la région Centre, Maison de l'Architecture, Association Régionale des Conseils en Aménagement et Urbanisme, Pôle de compétitivité S2E2 « Sciences et Système de l'Énergie Électrique) sélectionne les projets lauréats.

### QUELS SONT LES OBJECTIFS DE L'APPEL À PROJETS « EFFICACITÉ ÉNERGÉTIQUE DANS LES BÂTIMENTS ?

Cet Appel à Projets vise à doter la région Centre-Val de Loire :

→ **D'un nombre significatif de bâtiments réhabilités très économiques en énergie sur son territoire.** L'objectif est d'apprécier les conditions techniques, architecturales, organisationnelles et économiques de leur réalisation. Impulser également leur développement, leur généralisation en préparant et en encadrant toute la filière, depuis la maîtrise d'oeuvre jusqu'aux entreprises.

→ **De démonstrateurs où l'approche énergétique en phase conception est globale.** Elle s'articule à la fois sur les usages thermiques et sur les usages spécifiques de l'électricité, quels qu'ils soient. Le poids de ces derniers dans le bilan en énergie primaire est désormais prépondérant, il devient essentiel de les maîtriser, comme l'ensemble des autres usages de l'énergie. Ces usages spécifiques ont aussi un impact très négatif sur le confort d'été.

→ **De bâtiments qui, au-delà des objectifs énergétiques, intègrent des dispositifs qui permettent de réduire les impacts sur les écosystèmes naturels et sur la santé humaine** par l'utilisation des matériaux naturels et/ou issus de la biomasse à faible énergie grise. On entend par énergie grise l'énergie nécessaire à la fabrication des matériaux, à leur mise en oeuvre et à leur élimination en fin de vie garantissant une bonne qualité sanitaire du logement (qualité de l'air intérieur).

→ **De réalisations dont « l'habitabilité » est satisfaisante pour ses usagers :** confort, bien être, dont la durabilité, la pérennité et l'entretien permettent d'assurer l'atteinte des objectifs énergétiques prévus tout en apportant satisfaction aux utilisateurs acteurs.

→ **De bâtiments dont les coûts seront optimisés et maîtrisés,** pour assurer une grande reproductibilité et par conséquent une grande diffusion.

### QUELS ÉTAIENT LES CRITÈRES D'ÉLIGIBILITÉ TECHNIQUES DE L'APPEL À PROJETS ?

Dès 2007, les critères fixés de l'Appel à Projets étaient ambitieux puisque seuls les projets de bâtiments à énergie positive pour le neuf étaient éligibles et pour la rénovation, le niveau BBC rénovation était demandé.

À partir de 2009 ces critères ont été assouplis puis en 2010 les critères techniques de l'Appel à Projets ont été entièrement revus. Pour le neuf les projets devaient viser des niveaux proches du passif :

CRITÈRES POUR LES BÂTIMENTS TERTIAIRES 2010			
TYPE DE BÂTIMENTS	1 - BESOINS DE CHAUFFAGE (ÉNERGIE UTILE) [KWH/EP/M <sup>2</sup> /SHAB/SUB.AN]	2 - CONSOMMATION TOUS USAGES CONFONDUS (ÉNERGIE PRIMAIRE) [KWH/EP/M <sup>2</sup> /SHAB/SUB.AN]	
ABC Enseignement	≤ 30	≤ 100	
Bureaux	≤ 25	≤ 100	
Santé	≤ 40	≤ 150	
Hôtels	≤ 30	≤ 90	
Commerce	≤ 30	≤ 130	
Restauration	≤ 30 pour le restaurant ≤ 90 pour le restaurant ≤ 4 kWh/repas		

Pour les projets de rénovation, les travaux mis en œuvre devaient respecter un référentiel technique de moyens dont voici un exemple sur l'enveloppe du bâtiment :

	CAS D'UNE ISOLATION PAR L'EXTÉRIEUR	CAS D'UNE ISOLATION PAR L'INTÉRIEUR
1 - Murs extérieurs		$R > 4.5 \text{ m}^2.\text{K/W}$
2 - Planchers bas		$R > 4.3 \text{ m}^2.\text{K/W}$
3 - Toiture	$R > 7.5 \text{ m}^2.\text{K/W}$	$R > 10 \text{ m}^2.\text{K/W}$
4 - Menuiseries	$U_w \leq 1.4 \text{ W/m}^2.\text{K}$	$U_w \leq 0.8 \text{ W/m}^2.\text{K}$
5 - Ponts thermiques		Traitement systématique des ponts thermiques
6 - Étanchéité à l'air	Maxi. 2 vol/h sous 50 Pa	Maxi. 1 vol/h sous 50 Pa
7 - Ventilation		Double flux

### UN ACCOMPAGNEMENT TECHNIQUE PROPOSE

À partir de 2010, l'ADEME et la Région Centre-Val de Loire ont revu l'organisation de l'Appel à Projets « Efficacité Énergétique dans les Bâtiments » en proposant deux phases successives de sélection : une première qui consistait à présélectionner les projets et une deuxième à l'issue de laquelle le projet devient définitivement lauréat. À l'issue de la première phase de présélection est proposé un accompagnement gratuit des équipes présélectionnées qui est assuré par un cabinet expert spécialisé dans les bâtiments à très faibles besoins énergétiques mandaté par la Région Centre-Val de Loire.

Cette nouvelle modalité a eu pour conséquence d'optimiser l'Appel à Projets puisqu'en 2010, ce sont 35 projets qui ont candidaté dont 16 sélectionnés et accompagnés.

L'accompagnement, qui est assimilable à une assistance à maîtrise d'ouvrage et d'œuvre, couplé à l'aide financière de l'ADEME et de la Région, a été très utile aux acteurs des projets (maîtres d'ouvrages, architectes, bureaux d'études thermiques et fluides, artisans) car il a permis de sécuriser les projets en apportant un regard expert sur les phases conception, travaux et mise au point. Le but est d'assurer la qualité des projets pour le bénéfice de tous : financeurs, acteurs du projet et usagers.

Il est aussi assimilable à une « formation-action » (formation sur des cas concrets) des équipes de maîtrise d'œuvre (architectes, bureaux d'études thermiques). Sur les 54 projets retenus, 23 projets ont ainsi été accompagnés jusqu'au bout.

C'est le cabinet AMOES qui a été chargé par la Région d'assurer cette mission d'accompagnement qui comprend les phases suivantes :

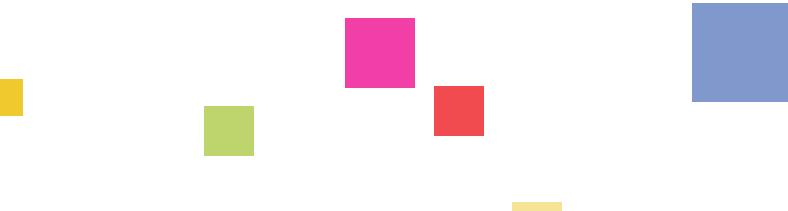
→ **Conception** : analyse des études énergétiques (STD, études spécifiques), documents descriptifs (APS, APD, DCE, carnets de détails) et échanges avec les équipes lors de 2 ou 3 réunions physiques

- **Travaux** : 2 à 3 visites de chantier lors de moments clés avec sensibilisation des MOE et artisans
- **Mise au point (après réception)** : vérification et analyse des suivis énergétiques des projets

### BILAN DES PROJETS SOUTENUS

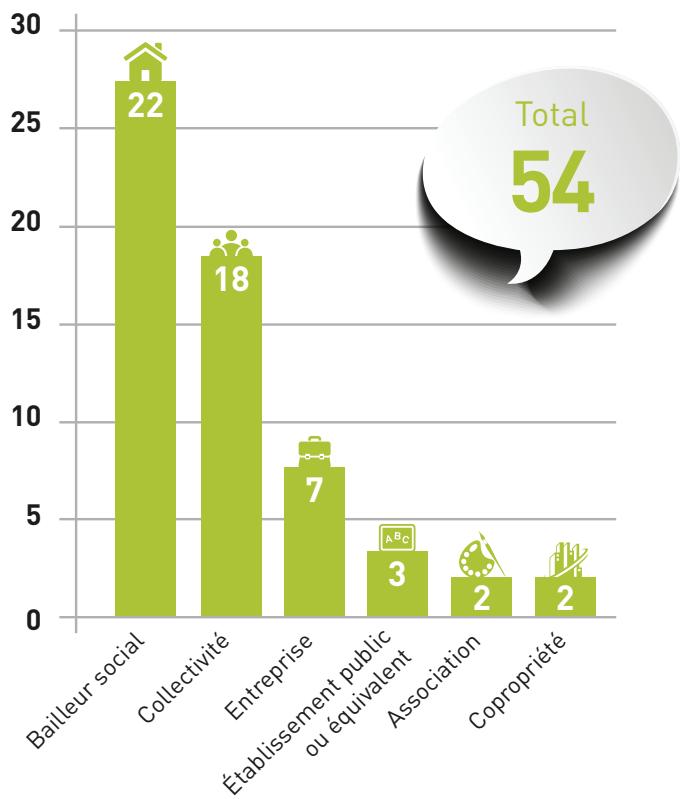
NOMBRE DE PROJETS RETENUS	54 projets
SURFACE DE BÂTIMENTS	215 000 m <sup>2</sup>
TYPOLOGIE DE BÂTIMENTS	31 opérations de bâtiments tertiaires 23 opérations de logements sociaux (2 093 logements)
MONTANTS D'AIDES (ADEME+RÉGION+FEDER)	10,7 millions €

### CENTRE PAR DÉPARTEMENTS, CIRCONSCRIPTIONS ET CANTONS



DANS LE DÉTAIL L'APPEL À PROJETS A PERMIS DE SOUTENIR  
UNE VARIÉTÉ DE PROJETS DONT VOICI LA RÉPARTITION :

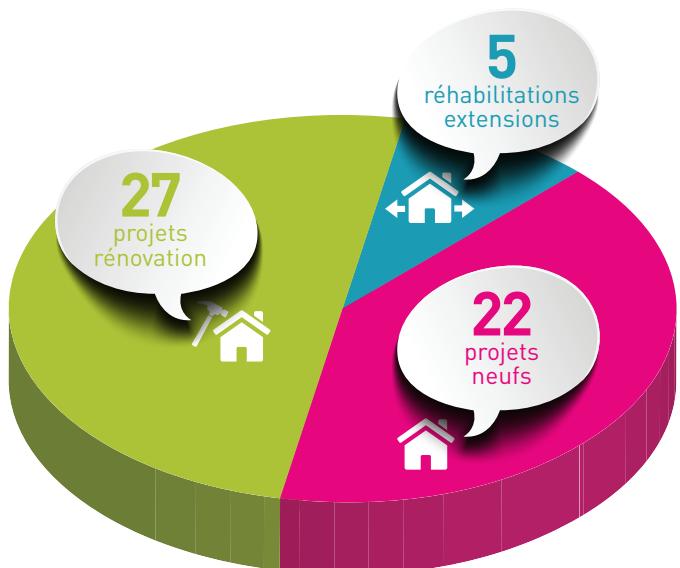
→ Une majorité d'organismes de logements sociaux et de collectivités :



→ Principalement des bureaux tertiaires, des logements et quelques locaux d'enseignement :

TYPOLOGIE DU BÂTIMENT	
Bureaux	13
Cantine	1
Logements	25
Locaux associatifs et culturels	2
Commerces	2
Enseignements, crèches, garderies	9
Salles de spectacle, de conférences	2
Total	54

→ Plus d'opérations de rénovations que de constructions neuves :



Pour illustrer ces statistiques, huit projets lauréats sont brièvement décrits dans les pages suivantes :

# FRANCE LOIRE RÉSIDENCE ALENA

## CONSTRUCTION DE 21 LOGEMENTS PASSIFS À SAINT DOULCHARD (18)

France Loire, le maître d'ouvrage, accompagné de la Communauté d'Agglomération Bourges PLUS et de la Chambre de Métiers du Cher ont souhaité réaliser un bâtiment modèle en efficacité énergétique avec pour objectif d'atteindre le niveau Passivhaus. Ce projet se veut novateur avec pour cible de diffuser les connaissances dans la réalisation d'un bâtiment économe, de mettre en place un suivi afin de suivre l'évolution du bâtiment dans le temps et de contribuer à l'évolution des filières locales en écoconstruction.



- **Localisation :** commune de Saint Doulchard
- **Opération :** construction d'un immeuble de 21 logements sociaux d'une SHAB de 1180m<sup>2</sup>
- **Livré en 2013**, il est le premier bâtiment en bois R+2 certifié Passivhaus en France
- **Acteurs du projet :** architecte : ATELIER BOSREDON PIETU, BET FLUIDE : BET DAGALLIER FOUCHE, Entreprise mandataire : ENTREPRISE ELVIN



Conso. théorique :  
22,6 kWhep/m<sup>2</sup>  
SHAB/an



### PRODUCTION DE CHALEUR

Chaufferie gaz condensation collective



Conso. théorique :  
21,16 kWhep/m<sup>2</sup>  
SHAB/an



### PRODUCTION D'ECS

Production collective en solaire thermique avec appoint gaz

→ **Perméabilité mesurée sur site :**  $n50=0.54$  vol/h

→ **Besoins annuels de chauffage du bâtiment :** 13.3 kWh/m<sup>2</sup> d'après le PHPP

## COÛT DES TRAVAUX

ENVELOPPE	CVC	PHOTOVOLTAÏQUE	VRD	SECOND ŒUVRE	COÛT TOTAL	COÛT TOTAL/m <sup>2</sup>
972 000 €	158 200 €	42 700 €		274 400 €	2 100 000 €	1780 €

# RÉNOVATION D'UN GROUPE SCOLAIRE

COMMUNE DE ROCHECORBON (37)

**“** La ville de Rochecorbon, maître d'ouvrage souhaite par ce projet remédier à l'inconfort des élèves de l'école primaire et réaliser d'importantes économies sur les consommations de chauffage. La commune soucieuse de la préservation de l'environnement souhaite par la réhabilitation du bâtiment optimiser sa gestion énergétique. **”**



- **Opération :** construction d'un groupe scolaire (restaurant, garderie, école primaire et maternelle) d'une SHAB de 2 310 m<sup>2</sup>
- **Performance visée :** BBC +
- **Acteurs du projet :** BET : BE ASCARI TOURS
- **Architecte :** FRÉDÉRIC TEMPS
- **Perméabilité :** n50=2.53 vol/h et Q4=1.36m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)

CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES				
	PLANCHER BAS	Isolation en polystyrène expansé de 15cm (U=0.25 W/m <sup>2</sup> .K)		
	MURS EXTÉRIEURS	Isolation extérieure en polystyrène de 10cm, complément d'isolant intérieur en laine de verre ou brique (U=0,32 W/m <sup>2</sup> .K)		
	TOITURE	Terrasse : Isolation en PSE de 10cm Rampants : Isolation en laine de verre de 15cm Combles : Isolation en laine de verre de 30cm		
	MENUISERIES	Double vitrage en bois avec argon (Uw=1.5 W/m <sup>2</sup> .K) Triple vitrage 4/14/4/14/4 avec argon (Uw=0.87 W/m <sup>2</sup> .K)		
	VENTILATION	Double-flux avec une efficacité de l'échangeur de 80%		
	PRODUCTION DE CHALEUR	Chaudière gaz de 130 kW		



Conso. théorique : 55 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

**CHAUFFAGE** Conso. réelle sur 1 an : 20.6 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Conso. globale\* théorique : 143.7 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Conso. globale\* réelle sur 1 an : 57.87 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)



## COÛT DES TRAVAUX (TTC)

ENVELOPPE	CVC	MAÎTRISE D'OEUVRE	COÛT TOTAL	COÛT AU m <sup>2</sup>
978 280 €	211 680 €	125 340 €	1 315 300 €	570 €

\*comprenant tous les usages du bâtiment (dont bureautique, usage spécifique de l'électricité)

# BUREAU DE RECHERCHES GÉOLOGIQUES ET MINIÈRES (BRGM)

## RÉNOVATION D'UN BÂTIMENT DE BUREAUX À ORLÉANS (45)

Le bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) possède actuellement un bâtiment simple en forme de parallélépipède sur un seul niveau avec une toiture terrasse. Cette construction date des années 1960 et est énergivore. Par cette rénovation, le maître d'ouvrage a souhaité obtenir un bâtiment à haute performance énergétique et modifier la rigidité de la trame actuelle. Le principe de la géothermie sur sondes verticales pour chauffer le bâtiment a été retenu.



→ **Opération :** rénovation d'un bâtiment de bureaux d'une SHAB de 367 m<sup>2</sup>

→ **Performance visée :** BBC Reno +

→ **Acteurs du projet :** BET : B.E.G INGENIERIE

→ **Architecte :** EA+LL ARCHITECTES

→ **Perméabilité :**  $n50=1.22 \text{ vol/h}$  et  $Q4=0.403 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$



Conso. théorique : 26.9 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Conso. réelle depuis la mise en œuvre (7 mois) : 52.2 kWhep/m<sup>2</sup>

Conso. globale\* théorique : 113.8 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Conso. globale\* réelle sur 7 mois après mise en œuvre du bâtiment : 110.2 kWhep/m<sup>2</sup>



### COÛT DES TRAVAUX

ENVOLUPE	CVC	PLOMBERIE	ÉLECTRICITÉ	MOE	COÛT TOTAL	COÛT AU m <sup>2</sup>
352 002 €	89 128 €	17 053 €	30 286 €	26 460 €	514 929 €	1 403 €

\*comprenant tous les usages du bâtiment (dont bureautique, usage spécifique de l'électricité)

# CAISSE NATIONALE D'ASSURANCE VIEILLESSE

## RÉNOVATION D'UN BÂTIMENT ADMINISTRATIF À TOURS (37)

La CNAV a une volonté forte de mener ce projet avec une démarche cohérente de développement durable. Le maître d'ouvrage souhaite diminuer ses consommations énergétiques. Celui-ci a déjà installé un système de récupération de calories dégagées par les groupes froids en production servant à rafraîchir le local des serveurs informatiques. L'objectif est d'atteindre le label BBC Effinergie Rénovation afin d'atteindre un bâtiment à haute performance énergétique.



- **Opération :** réhabilitation des bâtiments de la caisse nationale d'assurance vieillesse d'une SHAB de 7 088 m<sup>2</sup>
- **Performance visée :** BBC Reno +
- **Acteurs du projet :** BET : LBE FLUIDES
- **Architecte :** BOILLE & ASSOCIÉS
- **Perméabilité :** n50=1.99 vol/h et Q4=0.64m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)



**CHAUFFAGE** Consommation théorique : 31.3 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)



Consommation théorique : 2.5 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Consommation globale théorique\* : 164.6 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)



### COÛT DES TRAVAUX (TTC)

ENVELOPPE	CVC/PLOMBERIE/ÉLECTRICITÉ	COÛT TOTAL	COÛT AU m <sup>2</sup>
4 205 140 €	1 260 000 €	5 465 140 €	771 €

\*comprenant tous les usages du bâtiment (dont bureautique, usage spécifique de l'électricité)

# TOURS HABITAT RÉSIDENCE FONTAINE POTIER

CONSTRUCTION DE 44 LOGEMENTS COLLECTIFS  
ET INDIVIDUELS À TOURS (37)

“ Tour(s)Habitat, maître d’Ouvrage, apporte une grande importance à la performance énergétique des logements qu'il construit, considérant qu'il s'agit du vecteur premier vers une diminution des charges locatives. Par conséquent, Tour(s)Habitat a incité l'ensemble des acteurs de la construction à porter un soin particulier à la définition et à la réalisation d'une enveloppe peu énergivore des bâtiments. L'utilisation prépondérante des énergies renouvelables est marquée par le choix d'une production collective au bois (plaquettes) du chauffage et de l'eau chaude sanitaire, destinée à répondre aux besoins des 84 logements du site. ” ”



- **Opération** : construction de 44 logements collectifs et individuels d'une SHAB de 3087 m<sup>2</sup>
- **Performance visée** : BBC +
- **Acteurs du projet** : BET : IDPLUSING
- **Architecte** : VALLET DE MARTINIS
- **Perméabilité** : n50=1.32 vol/h et Q4=0.43m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)

	<b>CHAUFFAGE</b>	Conso. théorique : 10.1 kWhep/(m <sup>2</sup> .an)
	<b>ECS</b>	Conso. théorique : 7.9 kWhep/(m <sup>2</sup> .an)

Conso globale théorique\* : 113.4 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

## CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

	<b>PLANCHER BAS</b>	Sur terre-plein en béton avec isolation en polystyrène extrudé (U=0,249 W/m <sup>2</sup> .K)
	<b>MURS EXTÉRIEURS</b>	Béton avec isolation extérieure en polystyrène de 16cm (U=0.185 W/m <sup>2</sup> .K)
	<b>TOITURE</b>	Plafond terrasse avec isolant en polyuréthane de 24cm (U=0.097 W/m <sup>2</sup> .K)
	<b>MENUISERIES</b>	Menuiseries en double vitrage (Uw moyen=1.69 W/m <sup>2</sup> .K)
	<b>VENTILATION</b>	VMC simple flux hygroréglable type B
	<b>PRODUCTION DE CHALEUR</b>	Chaudière bois de 250kW avec plancher chauffant
	<b>PRODUCTION D'ECS</b>	Chaufferie bois

## COÛT DES TRAVAUX

ENVELOPPE	CVC	PLOMBERIE	ÉLECTRICITÉ	AMO	VRD	COÛT TOTAL	COÛT AU m <sup>2</sup>
1 187 295 €	342 993 €	17 9460 €	161 607 €	40 0324 €	637 736 €	2 909 420 €	942 €

\*comprenant tous les usages du bâtiment (dont bureautique, usage spécifique de l'électricité)

# ARTPROM LA NEF

## RESTRUCTURATION D'UN ANCIEN CENTRE DE TRI DE LA POSTE EN LOGEMENTS ET BUREAUX À TOURS (37)

ARTPROM, le maître d'ouvrage a souhaité réhabiliter l'ancien centre de tri de Tours Centre en 2 bâtiments correspondant aux demandes actuelles. Ces bâtiments accueilleront des logements et des bureaux et s'articuleront autour d'une nef centrale. L'objectif premier est d'atteindre le niveau BEPOS avec l'installation de panneaux photovoltaïques et d'avoir un bâtiment nécessitant de très faible besoin de chauffage.



- **Opération :** réhabilitation du centre de tri de la poste en un ensemble de bureaux et de logements d'une SHAB de 11 904 m<sup>2</sup>
- **Performance visée :** BEPOS Réno +
- **Acteurs du projet :** architecte : BOILLE & ASSOCIES BET : IOSIS CENTRE OUEST/EFFILIOS
- **Perméabilité :** n50=1.6 vol/h et Q4=1.14m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)

 **CHAUFFAGE** Consommation théorique : 10 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

 **ECS** Consommation théorique : 14 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Consommation globale théorique\* pour les bureaux : 65.8 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Consommation globale théorique\* pour les logements : 116.6 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

### CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

 **PLANCHER BAS**

Isolation en sous-face en PSE de 15cm avec isolation complémentaire en dessous du plancher chauffant de 3cm (U=0,21 W/m<sup>2</sup>.K)

 **MURS EXTÉRIEURS**

Isolation par l'extérieur en montant bois et isolation en laine de roche de 20cm et mur béton (U=0,20 W/m<sup>2</sup>.K)

 **TOITURE**

Toiture terrasse avec isolation en laine de verre de 36 cm (U=0,11 W/m<sup>2</sup>.K)  
Toiture végétalisée avec isolation en polyuréthane (U=0,19 W/m<sup>2</sup>.K)

 **MENUISERIES**

Menuiseries en double vitrage 4/16/4 (Uw=1.5 W/m<sup>2</sup>.K)

 **VENTILATION**

Ventilation double flux avec échangeur à courant croisé de rendement de 80%

 **PRODUCTION DE CHALEUR**

Pompes à chaleur (COP 4.59)

 **PRODUCTION D'ECS**

Pompes à chaleur (COP 3.33)

### COÛT DES TRAVAUX

ENVELOPPE	CVC	PLOMBERIE	ÉLECTRICITÉ	PHOTOVOLTAÏQUE	VRD	COÛT TOTAL	COÛT AU m <sup>2</sup>
10 026 745 €	2 138 946 €	673 060 €	1 075 409 €	450 000 €	267 707 €	14 631 867 €	1 229 €

\*comprenant tous les usages du bâtiment (dont bureautique, usage spécifique de l'électricité)

# LA PETITE GARENNE

## CONSTRUCTION DE LOCAUX POUR LE PERSONNEL DES ESPACES VERTS À CHATEAUROUX (36)

**“** Le maître d’ouvrage, la ville de Châteauroux souhaite par ce projet poursuivre son engagement dans la démarche de développement durable initiée depuis quelques années. C'est pourquoi la ville a la volonté de construire un site à basse consommation d'énergie. L'objectif est également d'utiliser des matériaux respectueux de l'environnement (bois, isolant d'origine naturelle...) de manière à ce que les futures structures s'intègrent dans le paysage en gardant la volonté de préserver ce site particulièrement arboré. **”**



→ **Opération :** construction de locaux pour le personnel des services espaces verts d'une SHAB de 545 m<sup>2</sup>

→ **Performance visée :** BBC +

→ **Acteurs du projet :** BET : COMBIOSOL

→ **Architecte :** SEPT ARCHITECTURES

→ **Perméabilité :** n50=0.468 vol/h et Q4=0.178 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)

### CHAUFFAGE

Conso. théorique : 3.8 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Conso. réelle sur 6 mois : 3.7 kWhep/m<sup>2</sup>

### ECS

Conso. théorique : 3.6 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Conso. réelle sur 6 mois : 0.5 kWhep/m<sup>2</sup>

Conso. globale\* théorique : 98.9 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Conso. globale\* réelle sur 6 mois : 23.6 kWhep/m<sup>2</sup>

## CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES

### PLANCHER BAS

Plancher en poutrelles avec houardis polystyrène, isolant EFISOL de 10cm (U=0,127 W/m<sup>2</sup>.K)

### MURS EXTÉRIEURS

Ossature bois avec isolation en fibre de bois et en ouate de cellulose 20cm (U=0,129 W/m<sup>2</sup>.K)

### TOITURE

Isolation en ouate de cellulose de 50cm et en laine de bois 6cm (U=0,069 W/m<sup>2</sup>.K)

### MENUISERIES

Triple vitrages à lame d'argon type 4/12/4/12/4 : Uw=1,07 W/m<sup>2</sup>.K

Double vitrage à lame d'argon type 4/16/4 Uw =1,6 W/m<sup>2</sup>.K

### VENTILATION

VMC double flux avec efficacité de l'échangeur de 87%

### PRODUCTION DE CHALEUR

Chaudière bois à granulés de rendement de 95%

### PRODUCTION D'ECS

Ballon solaire accompagné de la chaudière bois

## COÛT DES TRAVAUX

ENVELOPPE + VRD	CVC	PLOMBERIE	ÉLECTRICITÉ	COÛT TOTAL	COÛT AU m <sup>2</sup>
1 011 590 €	94 180 €	58 870 €	57 710 €	1 222 350 €	2 243 €

\*comprenant tous les usages du bâtiment (dont bureautique, usage spécifique de l'électricité)

# CONSTRUCTION ET RÉHABILITATION D'UNE ÉCOLE

COMMUNE DE UNVERRE (28)

**“** La Communauté de Communes du Perche-Gouet, maître d'ouvrage de l'opération a eu pour projet de réaliser à la fois un bâtiment économe en énergie et également un projet vitrine de la Communauté de Communes à valeur d'exemple.

En conséquence, ce projet consiste en une réhabilitation d'une partie des bâtiments existants, et la construction d'une extension. La dimension performance énergétique a été étudiée dès le départ afin d'être cohérent avec la politique de développement durable du territoire. **”**



→ **Opération :** construction d'une SHAB de 484 m<sup>2</sup>, rénovation d'une SHAB de 600 m<sup>2</sup>

→ **Performance visée :** BBC +

→ **Acteurs du projet :** architecte : ATELIER POISSON-D'ARBIGNY - PICHOT - BET : BET DELAGE et COULIOU

→ **Perméabilité : RDC :** n50=2.27 vol/h, Q4=0.99m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>) - R1: n50=3.51 vol/h, Q4=0.71 m<sup>3</sup>/(h.m<sup>2</sup>)



Conso. théorique de l'extension :  
26.2 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)



Conso. théorique : 3 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

Conso. globale\* théorique de l'extension :  
72.4 kWhep/(m<sup>2</sup>.an)

## CARACTÉRISTIQUES PRINCIPALES



PLANCHER  
BAS

Partie rénovée : dalle béton  
non isolée existante

Extension : sur terre-plein avec isolation  
en sous face de 11cm de polyuréthane  
(U=0.22 W/m<sup>2</sup>.K)



MURS  
EXTÉRIEURS

Partie rénovée : isolation par l'extérieur  
en laine minérale de 15cm  
(U=0.22 W/m<sup>2</sup>.K)

Extension : construction sur ossature  
bois avec isolation en laine de verre  
de 28cm (U=0.114 W/m<sup>2</sup>.K)



TOITURE

Isolation des combles perdus et des  
rampants avec 30 cm de laine de verre  
(U=0.13 W/m<sup>2</sup>.K)



MENUISERIES

Partie rénovée : menuiseries inchangées  
en double vitrage 4/8/4  
(Uw =3.2 W/m<sup>2</sup>.K)

Extension : menuiseries en triple vitrage  
bois 4/16/4/16/4 (Uw=1.02 W/m<sup>2</sup>.K)



VENTILATION

1 ventilation double-flux avec échangeur  
de chaleur à contrecourant par bâtiment,  
efficacité maximum de 92%



PRODUCTION  
DE CHALEUR

Chaudière gaz à condensation,  
pompe à chaleur sur air avec plancher  
hydraulique



PRODUCTION  
D'ECS

Chaudière gaz à condensation  
et ballon électrique

## COÛT DES TRAVAUX

ENVENOPPE	CVC	PLOMBERIE	ÉLECTRICITÉ	VRD	COÛT TOTAL	COÛT AU m <sup>2</sup> DES HAB
682 670 €	206 608 €	35 050 €	94 620 €	45 550 €	1 064 700 €	983 €

\*comprenant tous les usages du bâtiment (dont bureautique, usage spécifique de l'électricité)

## PARTIE 2

### DE LA CONCEPTION À LA MISE EN ŒUVRE, RETOUR D'EXPÉRIENCE

## 1 | UNE ENVELOPPE ISOLANTE

La performance énergétique d'un bâtiment est principalement liée à l'efficacité de son enveloppe thermique, c'est-à-dire sa capacité à conserver la chaleur intérieure. Cela constitue, la première étape fondamentale pour la sobriété énergétique de l'ouvrage puisque les consommations de chauffage sont potentiellement les plus importantes.

L'enveloppe du bâtiment, ou « manteau », se doit d'être homogène, continue et performante. Le moindre interstice peut provoquer des infiltrations d'air froid en hiver préjudiciables à la bonne conservation de la chaleur interne du bâtiment, conséquence : de l'inconfort, des problèmes d'humidité potentiels et une performance énergétique dégradée. C'est pourquoi aucun point ne doit être négligé en conception et tout au long de la mise en œuvre de l'isolation.

Concevoir une enveloppe thermique performante commence dès les premiers coups de crayons jusqu'à la fin du chantier. Il est nécessaire de travailler sur l'anticipation du traitement des points de jonction entre parois (murs, fenêtres, plancher bas et haut, ...).

Il est également primordial de ne pas mettre en péril la pérennité de l'enveloppe et la durabilité du bâti notamment en rénovation.

→ Rénover avec d'épais isolants sans traiter les discontinuités de l'isolation entraînera une concentration des échanges hydrothermiques au niveau des ponts thermiques, ils deviendront la source principale des déperditions de chaleur, engendreront des points de condensation dans la structure et accéléreront la dégradation du bâti.

### 1.1 | CONCEPTION

#### UNE CONCEPTION DE L'ENVELOPPE MODÉLISÉE DE MANIÈRE DYNAMIQUE

La **Simulation Thermique Dynamique (STD)** s'est beaucoup généralisée en une décennie. Cependant, il est nécessaire de garder à l'esprit en quoi elle est le plus utile et comment s'en servir au mieux.

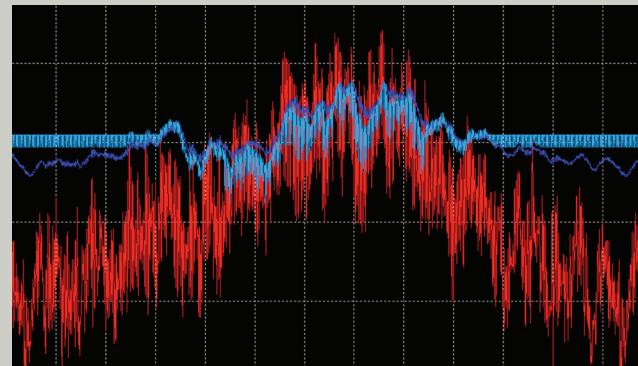
La STD est un outil de conception précieux : elle permet de montrer l'impact des différentes dispositions pour limiter les besoins de chauffage et optimiser le confort (en hiver comme en été). Elle permet de jouer sur l'épaisseur de l'isolation, la taille et la performance des menuiseries, l'efficacité des occultations solaires. Elle sert également à juger de l'efficacité de l'inertie thermique du bâtiment ou de la ventilation nocturne pour améliorer le confort d'été.

Contrairement aux logiciels agréés pour la réalisation des études réglementaires : RT2012, RTex, la STD permet entre autres de jouer plus finement sur les jeux d'hypothèses (températures de consigne, scénarios d'occupation, données climatiques, apports internes, ...) afin de se rapprocher des conditions futures d'utilisation du bâtiment. Le point fort d'une STD est sa capacité à simuler

les niveaux de confort notamment en été, à comparer des solutions techniques sur l'amélioration du confort et des besoins énergétiques (chauffage et refroidissement).

Dans le cadre de l'Appel à Projets de l'ADEME / Région Centre-Val de Loire, un cahier des charges détaillé a défini un jeu d'hypothèses de calcul (apports internes, fichiers météo comprenant les évolutions du changement climatique, etc.) intégrant les attentes en terme de résultat.

#### EXEMPLES DE RENDU APRÈS UNE STD



#### RÉSULTATS À DEMANDER SUITE À UNE ÉTUDE STD

##### → Les besoins de chauffage du bâtiment

- en fonction des principales zones homogènes thermiquement
- en fonction de la température de consigne, des niveaux d'isolation, de l'étanchéité à l'air du bâti visé, du type de ventilation (par exemple simple ou double-flux)

##### → Les courbes de puissance de chauffage « cumulées »

##### → Une estimation du confort d'été

En travaillant soit sur les températures résultantes soit sur des indices de confort (ex : PMV – voir encadré p.16) en faisant varier les hypothèses d'apports internes, l'efficacité des occultations, le type de vitrage etc.

Pour aller plus loin, il est parfois utile de faire une estimation des consommations du bâtiment poste par poste (chauffage, ECS, ventilation...) selon les résultats de la STD et des hypothèses de calcul qui se rapprochent le plus possible de la physique du bâtiment et des hypothèses d'utilisation et non selon le calcul réglementaire (qui n'est pas un outil de conception ni de prévisions).

## POUR ALLER PLUS LOIN

Différentes méthodes peuvent être utilisées pour juger du confort. La norme ISO 7730 (méthode de Fragger) permet d'obtenir les indices PMV (Predicted Mean Vote) et PPD (Predicted Percentage Dissatisfied). Le PMV est calculé avec la température opérative (réellement ressentie par l'usager), la vitesse des flux d'air, l'activité physique et le niveau d'habillement de l'usager. Il varie autour de 0 (entre -4 et 4) et est plus représentatif que la seule température de l'air pour estimer le confort des usagers.



Cheville Ejotherm STR-U



Cheville Ecotwist de STO

## ÉTUDIER EN DÉTAILS LE TRAITEMENT DES PONTS THERMIQUES

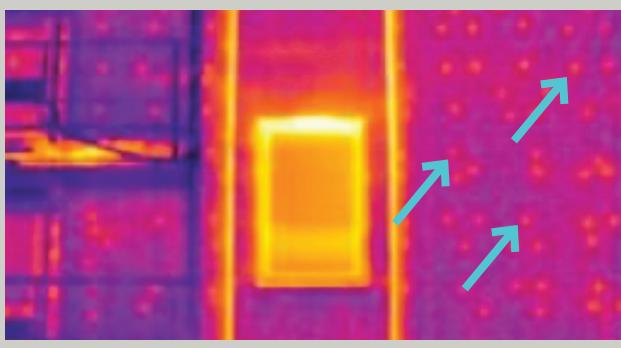
En rénovation, comme en neuf, il est indispensable d'être rigoureux pour répertorier tous les ponts thermiques du projet, de trouver des solutions adaptées afin de les traiter en estimant leurs valeurs. Ces valeurs peuvent être issues : des banques de données réglementaires (règles Th-U) ou bien calculées par des logiciels tels que Therm, Trisco ou encore Heat 3D. Ces outils permettront également de calculer l'impact de leur traitement.

## LES PONTS THERMIQUES LES PLUS FRÉQUENTS CONSTATÉS SUR LES PROJETS LAURÉATS

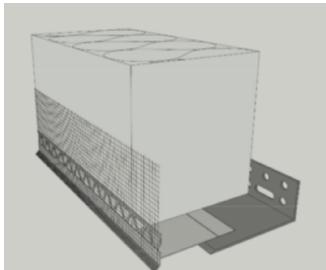
Les ponts thermiques classiques sont liés aux jonctions entre murs extérieurs, murs de refend et planchers (principalement quand l'isolation est intérieure). Pour la réalisation d'une isolation performante, l'isolation par l'intérieur n'est pas du tout adaptée. Néanmoins, les ponts thermiques peuvent apparaître dans le cas d'une isolation par l'extérieur. En effet la performance thermique d'une enveloppe peut vite être dégradée par la somme des ponts thermiques relatifs aux accroches de l'isolant, ici aussi le détail fait la différence. Voici quelques exemples qui illustrent ce propos :

→ **Les ponts thermiques structurels liés notamment aux accroches d'isolants.** En isolation thermique par l'extérieur, l'isolant peut être soit collé, soit fixé à l'aide de chevilles ou de rails. Cependant, ces systèmes chevillés sont sources de ponts thermiques structurels élevés (0.003 W/K par cheville selon les règles Th-U).

## PHOTO INFRAROUGE MONTRANT L'IMPORTANCE DES PONTS THERMIQUES LIÉS AUX ACCROCHES D'ISOLANTS



La solution pour les systèmes chevillés est d'employer des chevilles prévues pour limiter les ponts thermiques. Elles sont conçues pour créer une rupture de la conduction thermique à travers l'isolant et les parois. La paroi isolante devient ainsi thermiquement homogène.



Exemple de produit traitant le pont thermique du rail de départ d'isolation (STO, startprofil PH-K)

Toujours pour les projets en ITE, il est important de traiter les ponts thermiques liés aux rails de départ pour l'isolation en utilisant un profil plastique plutôt que métallique. Certains produits innovants représentent une bonne solution pour réduire drastiquement ces ponts thermiques.

## → Les ponts thermiques liés aux accroches de bardages

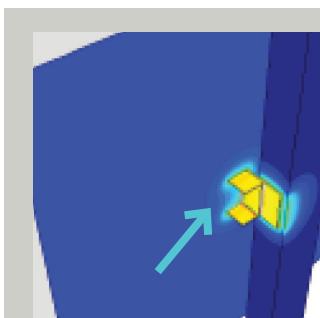
Les bardages sont largement employés dans le cadre d'opérations de rénovation visant l'amélioration de la qualité architecturale, esthétique et thermique d'un bâtiment. Cependant ces bardages lourds nécessitent l'utilisation d'équerres métalliques, conductrices de chaleur, créant alors un pont thermique conséquent. D'après une étude menée sous un logiciel de pont thermique 3D (par le BE Physibel en Belgique), la résistance thermique globale de la paroi, illustrant sa capacité isolante, serait dégradée de 34% par l'utilisation d'équerres métalliques.

La solution la plus simple réside dans la mise en place de bardages plus légers afin d'utiliser des accroches en plastique non-conductrices de chaleur limitant ainsi les ponts thermiques.

Il est parfois possible de concevoir des solutions avec des rupteurs thermiques (pour éviter que l'équerre métallique ne traverse la totalité de l'isolation).

## Deux solutions peuvent être appliquées :

- Fixation du bardage sur des tasseaux en bois eux-mêmes fixés à des profils en U remplis d'isolant.
- Pose de cales plastiques derrière les équerres. Cette solution étant loin d'être parfaite, il est recommandé d'éviter au maximum les équerres.

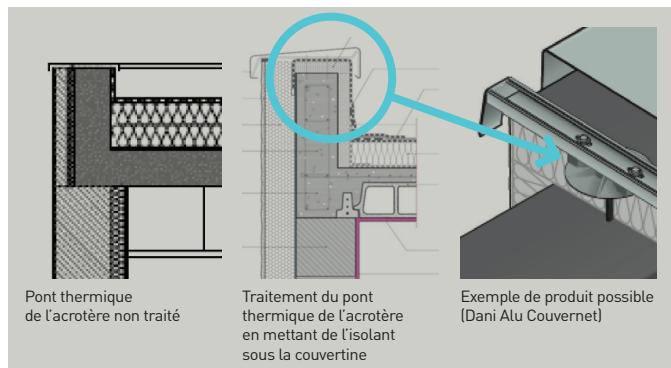


Rendu couleur de l'étude 3D montrant l'impact du pont thermique lié à l'équerre - Physibel

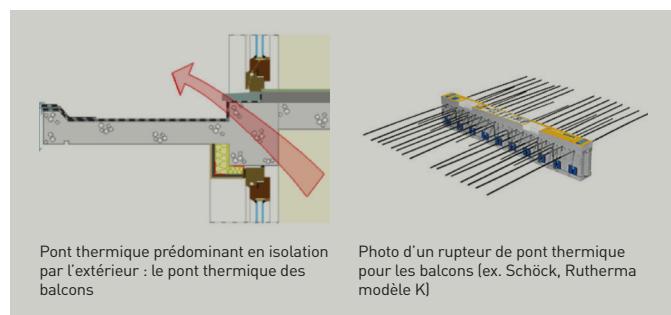


Gamme de produit de cales permettant de réduire le pont thermique de l'équerre (fabricant : Thermostop)

→ **Les ponts thermiques liés aux acrotères :** un retour complet d'isolant, contournant l'acrotère, est essentiel pour limiter la valeur de ce pont thermique. Certains fabricants proposent des systèmes de couvertines en aluminium avec un support spécifique qui permettent de traiter ce pont thermique allant jusqu'à une réduction de 50% de sa valeur.

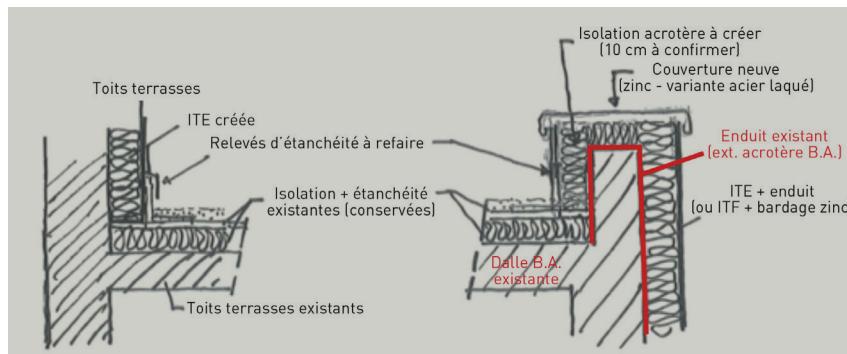


→ **Les ponts thermiques liés aux accroches d'éléments structurels tels que les balcons :** la fixation d'éléments structurels lourds sur une isolation thermique extérieure crée des ponts thermiques. Des rupteurs de ponts thermiques, permettent d'assurer l'isolation entre le bâtiment et ces éléments extérieurs.



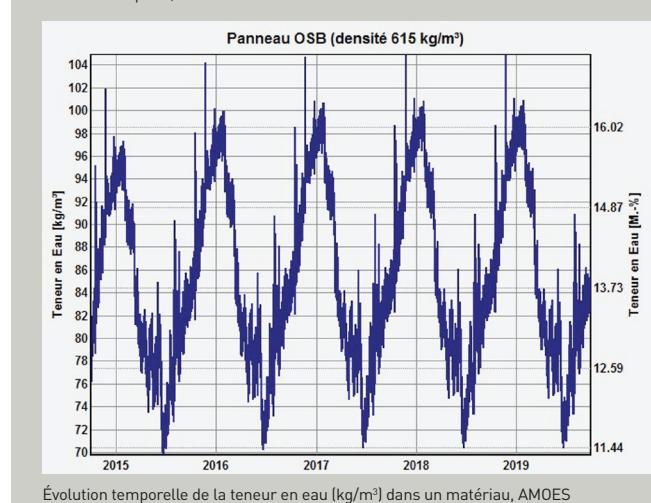
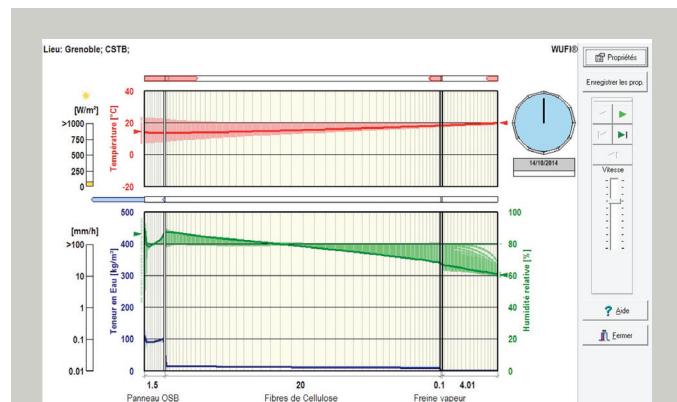
### FACILITER LE « PASSAGE DE TÉMOIN », DE LA PHASE CONCEPTION À LA PHASE TRAVAUX, PAR LA RÉALISATION DE CARNETS DE DÉTAILS COMPLETS DÉCRIVANT, GRÂCE À DES SCHÉMAS, LE TRAITEMENT DES DIFFÉRENTS PONTS THERMIQUES

En conception, l'architecte doit se poser les questions suivantes : comment l'isolant sera-t-il fixé ? De quelle nature sera-t-il ? Est-ce que l'encombrement sera suffisant ? Comment les jonctions seront-elles traitées ? La réalisation d'un carnet de détails est vivement recommandée pour permettre à l'entreprise de mieux visualiser les solutions proposées par l'architecte, quitte à en proposer des nouvelles (et de les chiffrer correctement). Ces dessins précis de mise en œuvre (aussi bien réalisés à la main qu'informaticamente) et les échanges qu'ils occasionnent entre l'architecte et l'entreprise, sont de véritables traits d'union entre la conception et la réalisation.



### ESTIMER, POUR LES PAROIS SENSIBLES, LES RISQUES LIÉS À LA MIGRATION D'EAU DANS LA PAROI (RISQUES DE CONDENSATION ET/OU D'ACCUMULATION D'EAU DANS LA PAROI)

Pour les projets de rénovation (projets en bois notamment), des désordres liés à l'humidité dans les parois peuvent apparaître particulièrement dans les bâtiments anciens utilisant par exemple des matériaux locaux ancestraux tels que le Tuffeau en Touraine. En conception il est indispensable d'identifier les configurations « à risques » et le cas échéant de prendre des dispositions pour limiter au maximum les éventuels problèmes de concentration d'humidité dans la paroi. L'effet de ces dispositions devra être testé par des études spécifiques, comme des modélisations dynamiques de la migration de l'eau dans les parois (sous forme vapeur et liquide) avec des logiciels tels que WUFI.



Les réunions de préparation de chantier sont nécessaires pour échanger sur la mise en œuvre et l'interprétation des carnets de détail par les artisans. Ces derniers apprécieront ces échanges qui permettent l'appropriation de chacun des objectifs qualitatifs des travaux et les positionnent dans un rôle plus valorisant auprès de la MOE (architecte, beth...)

Credit image : Frédéric Temps, exemple d'un croquis de détail relatif au projet de rénovation de l'école de Rochebon



## QU'EST-CE QUE LE SD ?

Le  $Sd$  d'une couche caractérise sa résistance à la vapeur d'eau. Plus le  $Sd$  d'une couche est élevé et plus le flux de vapeur dans cette couche sera faible. Pour un matériau homogène :  $Sd = \mu \times e - \mu$  étant le coefficient de diffusion de la vapeur d'eau (sans unité) et  $e$  l'épaisseur de la couche (en m).

**Voici un récapitulatif des risques et des pratiques à employer pour des parois types :**

	RISQUES	BONNES PRATIQUES
<b>Ponts thermiques et étanchéité à l'air</b>	De manière générale, des risques de concentration d'humidité et de condensation sur les parois froides sont à craindre.	C'est pourquoi l'étanchéité à l'air doit être soignée et les ponts thermiques traités.
<b>Isolation par l'intérieur (ITI)</b>	La configuration ITI est problématique pour la gestion d'humidité car l'humidité peut s'accumuler à l'interface entre l'isolant et le mur qui est froid dans cette configuration.	Il est donc nécessaire de contrôler la migration de vapeur avec un pare-vapeur hygrovariable (dont le $Sd$ variera en fonction du taux d'humidité) pour que cette membrane permette de faire sécher la paroi si nécessaire (apports d'humidité accidentels, flux d'humidité inversé etc.).
<b>Isolation par l'extérieur (ITE)</b>	Contrairement à la configuration ITI, l'ITE est beaucoup moins problématique.	Il est tout de même important de prévoir des enduits extérieurs ou des pare-pluie très perméables à la vapeur d'eau.
<b>Ossature bois</b>	Il est indispensable de prévoir que les éléments côté extérieur soient plus perméables à la vapeur que les éléments côté intérieur pour faciliter sa migration vers l'extérieur.	L'idéal est donc d'anticiper un contreventement à l'intérieur (type OSB) ou bien en cas de contreventement extérieur, le présager perméable à la vapeur (type DWD d'Agepan). Dans le cas d'un bardage extérieur, prévoir une lame d'air ventilée afin d'éviter toute rétention d'humidité.

## 1.2 | MISE EN ŒUVRE

### TRAITER LES PONTS THERMIQUES

Comme indiqué précédemment, les ponts thermiques représentent un enjeu de taille pour obtenir une enveloppe performante, ils sont également importants en phase de mise en œuvre. En effet les imprévus de chantier nécessitent souvent de corriger ou d'adapter les prescriptions de la phase conception. Un appui plus large que la porte, des accroches d'isolant non adaptées ou encore les acrotères non prévus peuvent engendrer des ponts thermiques qu'il est nécessaire de traiter.



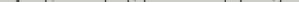
Accroches d'isolant avec équerres (Chaléte sur Loing)



Accroches d'isolant avec chevilles, ITE (Chaléte sur Loing)



Traitement des ponts thermiques liés aux équerres avec des cales en plastique (CNAV)



Acrotère non traité (commune de Fossé)

### CONTINUITÉ DE LA POSE DE L'ISOLANT

La pose jointive des différents modules isolants doit être parfaite pour éviter la présence d'interstices qui détériorent la performance globale de l'isolation de la paroi. De même, il faut être vigilant à la compression de l'isolant (un isolant de 10cm d'épaisseur compressé à 5cm isole moins que le même isolant de 5cm d'épaisseur). Enfin les lés d'isolant doivent être correctement scotché.

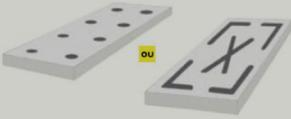


Enfin, concernant la mise en œuvre d'une isolation thermique par l'extérieur, le collage par plots n'est pas recommandé car il induit des lames d'air entre l'isolant et la paroi maçonnée dues à l'épaisseur des plots de colle. En effet, les phénomènes de

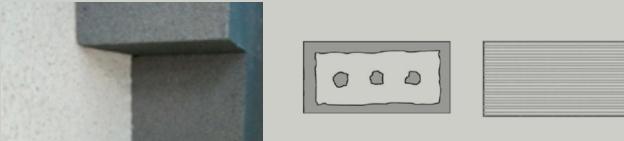
convection, dégradant la résistance totale du mur, apparaissent pour des lames d'air supérieures à 1cm. Une dégradation de 40% du coefficient de déperdition de la paroi est possible. **Un collage en plein reste la pratique la plus adaptée.**

**COLLAGE LORS DE L'ISOLATION THERMIQUE PAR L'EXTÉRIEUR**

Collage par plots à éviter




Collage en plein à favoriser



Dépot d'un cordon de colle au pourtour de la plaque, OU collage en plein ratissé, la profondeur du cran utilisé dépendant de la planéité du support et du type de colle

## 2 | UNE ENVELOPPE ÉTANCHE À L'AIR

### 2.1 | GÉNÉRALITÉS

L'étanchéité à l'air d'un bâtiment est un enjeu primordial lors de la conception et de la réalisation de l'enveloppe. Une mauvaise étanchéité implique des fuites d'air et donc des débits d'air non contrôlés source potentielle d'inconfort pour les occupants et une éventuelle dégradation de la qualité de l'air intérieur (les sources d'infiltrations sont en général des points de condensation où peuvent se développer des moisissures dans le volume chauffé). Plus les infiltrations « d'air parasites » sont importantes et non maîtrisées, plus les besoins en chauffage l'hiver et en rafraîchissement l'été seront élevés.

Deux valeurs sont utilisées pour quantifier l'étanchéité à l'air de l'enveloppe, le Q4 et le n50 :

- Le Q4 représente le débit de fuites par  $m^2$  de surfaces déperditives sous une pression de 4Pa, il s'exprime donc en  $m^3/(h.m^2)$ .
- Le n50 représente le débit de fuite sous une pression de 50 Pa divisé par le volume chauffé, il s'exprime en vol/h. Dans le cadre de l'Appel à Projets ADEME / Région Centre-Val de Loire comme pour les certifications passives, les objectifs sont définis en n50 mais en France le Q4 est l'unité officielle de la réglementation thermique.

Le tableau ci-dessous présente les différents objectifs à atteindre en matière d'étanchéité pour la RT2012, le label Effinergie + ainsi que pour celui de la maison passive.

	RT 2012	EFFINERGIE + BEPoS	PASSIVHAUS	
	Q4 ( $m^3/(h.m^2)$ )	Q4 ( $m^3/(h.m^2)$ )	Q4 ( $m^3/(h.m^2)$ )	N50 (vol/h)
Logements individuels	0.6	0.4	0.16	0.6
Logements collectifs	1	0.8	0.3	0.6
Bâtiments tertiaires	Aucune exigence imposée	Aucune exigence imposée mais mesure obligatoire si Sbat < 3000m <sup>2</sup>	0.3	0.6

À titre d'exemple, pour une maison individuelle de 110m<sup>2</sup> de surface habitable, de 2.5m de hauteur sous plafond, les surfaces de fuites seraient de :

Niveau Passif	Si Q4=0.16 $m^3/(h.m^2)$	56 cm <sup>2</sup> soit un trou de diamètre 8.4 cm
Niveau Effinergie +	Si Q4=0.4 $m^3/(h.m^2)$	141 cm <sup>2</sup> soit un trou de diamètre 13.4 cm
RT 2012	Si Q4 = 0.6 $m^3/(h.m^2)$	212 cm <sup>2</sup> soit un trou de diamètre 16.4 cm

Dans le cadre de l'Appel à Projets ADEME Région Centre-Val de Loire, l'objectif en matière d'étanchéité à l'air était de ne pas dépasser 2 vol/h sous 50Pa pour les rénovations et 1 vol/h sous 50Pa pour les bâtiments neufs. Afin de quantifier le niveau de fuites dans le bâtiment, des tests de perméabilité à l'air sont réalisés. Dans un premier temps, toutes les ouvertures sont calfeutrées et les portes intérieures sont ouvertes.

Ensuite, une surpression ou une dépression par rapport à l'extérieur est créée avec pour conséquence l'amplification soit des infiltrations, soit de l'évacuation de l'air intérieur vers l'air extérieur en cas de surpression. Un débit de fuite est alors mesuré pour différentes valeurs de différence de pression créée (généralement Dp varie de -50Pa à -10Pa ou de 10Pa par pas de 5Pa).

**TEST D'ÉTANCHÉITÉ – CALFEUTRAGE, PORTE SOUFFLANTE ET APPAREILS DE MESURES**





2 tests d'étanchéité à l'air étaient systématiquement demandés dans le cadre de l'Appel à Projets :

- 1 juste après le clos couvert pour vérifier si globalement l'étanchéité était bien traitée et pouvoir l'améliorer le cas échéant.
- 1 à la fin du chantier pour le résultat définitif.

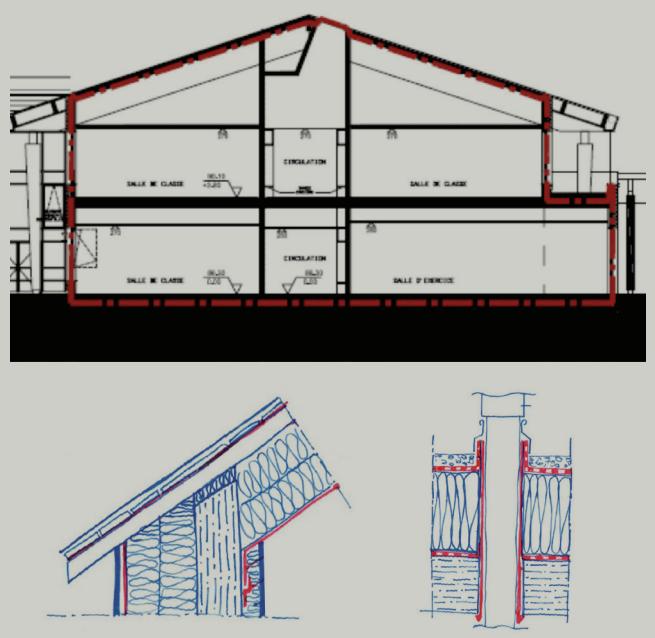
Bon résultat en rénovation - Q4 en $m^3/(h.m^2)$	Résultat améliorables en rénovation - Q4 en $m^3/(h.m^2)$	Bon résultat en neuf - Q4 en $m^3/(h.m^2)$	Résultat améliorables en neuf - Q4 en $m^3/(h.m^2)$
→ Syndicat de copropriétaires de la maison du bâtiment - Q4=0.63	→ École de Le Magny - Q4=0.92	→ Crèche Petit Poucet - Q4=0.45	→ Cantine de Fondettes - Q4 = 0.91
→ BRGM - Q4=0.40	→ École de Roche-cordon - Q4=1.36	→ Atelier de la ville de Châteauroux - Q4=0.18	

## 2.2 | CONCEPTION

### IDENTIFIER DE FAÇON PRÉCISE LE VOLUME ÉTANCHE À L'AIR PUIS, DE LA MÊME MANIÈRE QUE POUR LES PONTS THERMIQUES, FOURNIR DES CARNETS DE DÉTAILS COMPLETS DÉCRIVANT LE TRAITEMENT DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR POUR CHAQUE POINT SENSIBLE

L'objectif pour l'architecte est de dessiner une barrière étanche à l'air continue (il s'agit de pouvoir la suivre sur une coupe sans lever le crayon) et pour chaque raccord de prévoir le détail et les produits adaptés.

### TRACÉ DE LA BARRIÈRE ÉTANCHE À L'AIR EN PHASE CONCEPTION ACCOMPAGNÉ D'EXEMPLES DE DÉTAILS ASSOCIÉS - CARNET RÉALISÉ DANS LE CADRE DU PROJET CONSTRUCTION DE L'ÉCOLE DE CHALETTE SUR LOING PAR A5A ARCHITECTES



## SOLUTIONS ET MOYENS DE TRAITEMENT RELATIFS À L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR DE L'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Il est indispensable de traiter les jonctions/liaisons des différents éléments de l'enveloppe afin de les rendre étanches. Les solutions décrites dans le DCE et illustrées par des carnets de détails réalisés en phase conception guideront les artisans dans leur tâche notamment concernant :

- Les liaisons entre les murs extérieurs et la dalle : le traitement de la liaison peut s'effectuer par collage du freine vapeur sur la dalle.
- Les jonctions entre murs et planchers.
- Le passage des différents réseaux à travers les parois qui peuvent être réalisées par des joints élastomères, des manchettes, produits efficaces et durables pour limiter les fuites d'air.



## 2.3 | MISE EN ŒUVRE

Au début de la phase travaux, il est important, tout comme pour l'isolation, de bien décrire les attentes en terme d'étanchéité à l'air du bâtiment.

Une réunion de sensibilisation pédagogique est un moment privilégié pour expliquer et partager les objectifs qualitatifs du projet.



### LIMITER LES FUITES EN SOIGNANT LES RACCORDS

#### → De façon générale

Pour chaque trou créé, il est essentiel de restituer l'étanchéité à l'air par des produits adaptés (performants et durables).

#### → Entre les fourreaux et le gros-œuvre

Des manchettes ou des joints élastomère traitant des réseaux sortants sont à prévoir afin d'éviter le percement de la barrière étanche en dernier recours. Le vide à l'intérieur du fourreau peut être comblé par de la mousse polyuréthane.



## → Entre la membrane et le gros-œuvre

Il est important que les lés du pare-vapeur ou du frein-vapeur soient correctement scotchés entre eux avec des scotchs prévus à cet effet et que le collage avec la partie maçonnée ou le béton soit bien réalisé : colle ou rubans adhésifs de raccord adaptés, réalisation d'une sous-couche ou pour des rubans adhésifs en cas de surface insuffisamment lisse.



Défaut d'étanchéité : le collage de la membrane sur la partie maçonnée n'est pas assez soigné. Il aurait été nécessaire de mettre en œuvre un primaire d'adhésion permettant de préparer la surface à coller puis un large ruban adhésif adapté.

## → Entre parois de différentes natures

Le raccord entre différents types de parois est souvent délicat. La solution doit être trouvée au cas par cas selon les possibilités architecturales et les nombreux produits techniques disponibles.



### JONCTION ENTRE DU POLYCARBONATE ET LE GROS ŒUVRE NON TRAITÉE

Ici, il aurait été nécessaire d'utiliser des joints combi-bandes entre le polycarbonate et le béton ou dans les endroits où le vide était trop important pour utiliser des chutes de film d'étanchéité scotchées entre le polycarbonate et le gros œuvre.



Projet de l'école du Magny (36)



## BONNES PRATIQUES EN MATIÈRE DE RACCORD DE LÉS DE PARE-VAPEUR



## → Entre les éléments d'une même paroi

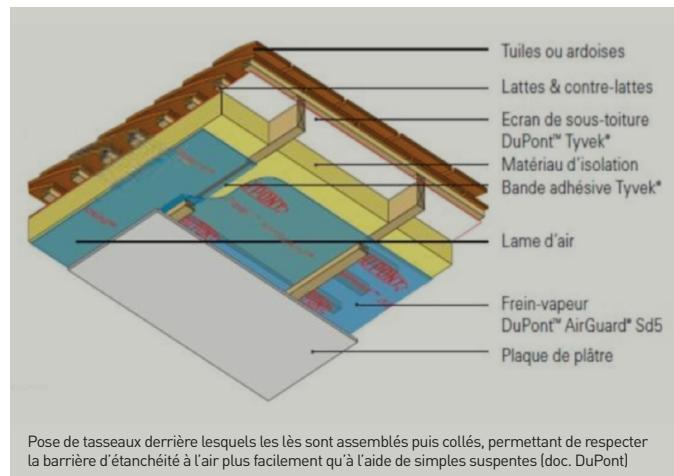
Les murs maçonnes ne sont souvent pas assez étanches (notamment les parois en parpaing). Les raccords entre ces derniers sont nombreux et donc difficiles à traiter. Le plus simple est de traiter l'étanchéité de la paroi une fois le mur réalisé par des enduits ou des systèmes spécifiques.



Étanchéifier le mur maçonner par enduit ou par un produit spécifique (type Aéroblue, photo ci-dessus)

## → Au niveau du plancher haut quand le plafond est suspendu et que l'étanchéité doit être fixée derrière le plafond : il est important que la membrane puisse soutenir l'isolant et qu'il y ait un espace entre la plaque de plâtre et la membrane pour ne pas qu'elle soit percée.

Pour cela, on peut réaliser une ossature secondaire ou prévoir des suspentes adaptées (*tableau ci-dessous*). Si l'on utilise des suspentes « classiques » la membrane sera percée un grand nombre de fois et l'étanchéité à l'air ne sera pas assurée autour de ces trous.



Pose de tasseaux derrière lesquels les lés sont assemblés puis collés, permettant de respecter la barrière d'étanchéité à l'air plus facilement qu'à l'aide de simples suspentes (doc. DuPont)

# 3 | DES MENUISERIES EN ACCORD AVEC UNE ENVELOPPE PERFORMANTE

## 3.1 | GÉNÉRALITÉS

Les menuiseries sont les parties les plus faibles de l'enveloppe thermique. Elles représentent donc un enjeu important pour la performance du bâti. Il convient donc :

- de choisir des produits performants,
- d'éviter les ponts thermiques récurrents au niveau de leur pose,

→ de traiter l'étanchéité à l'air entre le cadre et son support.

En outre, choisir de bonnes menuiseries est certes un enjeu pour l'étanchéité et l'isolation de l'enveloppe mais c'est principalement un enjeu pour le confort des usagers afin de limiter les effets de parois froides et les courants d'air non maîtrisés.

## Les caractéristiques principales des menuiseries sont les suivantes :

			VALEUR CIBLE
Le coefficient de transmission thermique	Uw	Donne une indication sur la moyenne du coefficient de transmission du vitrage (Ug) et de la partie menuisée (Uf) pondérée par leur surface	< 1.4 W/m <sup>2</sup> .K pour le double-vitrage < 0.9 W/m <sup>2</sup> .K pour le triple-vitrage
Le facteur solaire	g	Représente la part de rayonnement solaire transmise par le vitrage	Doit être choisi en fonction de l'orientation et de la sensibilité du bâtiment aux surchauffes. g>0,6 pour les ouvertures cherchant à capter le soleil, g<0,4 pour les ouvertures cherchant à limiter les apports solaires
Le coefficient de transmission lumineuse	Tl	Représente la transmission lumineuse à travers le vitrage utile pour les études d'éclairement	Dépend fortement du facteur g. Pour un facteur g donné, choisir le Tl le plus élevé possible (Tl = g + 0.1 est une valeur courante)
Le classement d'étanchéité à l'air		Représente l'étanchéité à l'air de la menuiserie notamment la qualité des joints entre ouvrant et dormant	Dans le classement AEV, niveau A4 demandé
Psi intercalaire		Représente le pont thermique de l'espace des vitrages et permet de donner la valeur exacte du Uw	

## 3.2 | CONCEPTION

### CHOISIR DES MENUISERIES PERFORMANTES

#### Géométrie

Les petites fenêtres sont à éviter afin de restreindre le linéaire de ponts thermiques et de favoriser l'éclairement naturel. Des fenêtres larges et disposées en partie haute du mur assurent le meilleur compromis entre apport de lumière naturelle et déperditions.

#### Nature des châssis

Les châssis en bois sont à favoriser. En effet, ce type de châssis possède un Uf (conductivité thermique des montants de fenêtre) peu élevé par rapport aux châssis en aluminium classiques (sans rupture de ponts thermiques). L'énergie grise contenue dans les menuiseries bois est deux fois plus faible que celle des menuiseries aluminium ou PVC. Néanmoins, les performances des menuiseries aluminium sont en progrès (utilisation de rupteur de ponts thermiques) et permettent un apport solaire plus important, donc ceci est à relativiser selon les cas. Concernant les menuiseries PVC, il existe encore trop de doutes sur les qualités sanitaires et environnementales de celles-ci (notamment lors de leur fabrication et à cause du dégagement d'acide chlorhydrique en cas d'incendie) pour pouvoir les recommander.

#### Qualité des vitrages

Le vitrage devra assurer le meilleur compromis entre l'isolation thermique (Ug) et les apports solaires (facteur solaire g) garantissant dans les bâtiments basse consommation une grande partie des besoins de chauffage. Le triple vitrage a été longtemps considéré comme utile uniquement pour les façades peu exposées (nord) parce qu'il ne permettait pas de transmettre suffisamment de rayonnement solaire (facteur solaire g trop faible). Aujourd'hui des produits très performants sont dotés à la fois d'une faible transmission thermique (Ug < 0.6 W/m<sup>2</sup>.K) et également d'un bon facteur solaire (g>0.55).

#### Classe d'étanchéité à l'air

Afin d'obtenir un niveau de perméabilité à l'air proche du label Passivhaus, il est indispensable d'utiliser des menuiseries de classe A4\*. Concernant les coffres de volet roulant, la pose à l'extérieur est à privilégier pour ne pas dégrader l'étanchéité à l'air, éviter au maximum les ponts thermiques et faciliter l'accès. Dans le cas contraire, il sera nécessaire de demander à ce que ces coffres aient une classe d'étanchéité minimale C4 et soient commandés électriquement.

\*A4 étant le niveau pour une menuiserie très étanche et A0 pour une menuiserie peu étanche.

### TRAITER LES JONCTIONS ENTRE PAROIS ET MENUISERIES

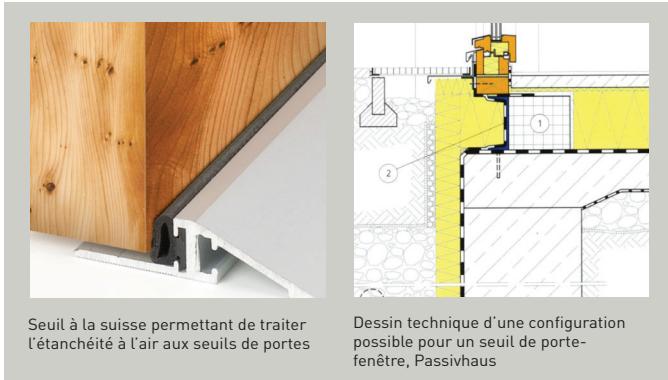
Les fenêtres doivent être posées avec des compribandes adaptées (joints mousse pré-comprimée), et des membranes pour les raccords au film d'étanchéité à l'air ou directement sur la maçonnerie (type membrane CONTEGA EXO ou membrane EPDM Illbrück par exemple).

Les portes, elles, doivent être posées avec des double-joints périphériques et un seuil adapté. L'appui sous les menuiseries doit être traité avec un joint de classe 1 ou 2 et avec du mastic (comme sur les autres côtés).



## TRAITER L'ÉTANCHÉITÉ AU NIVEAU DES SEUILS DE PORTES

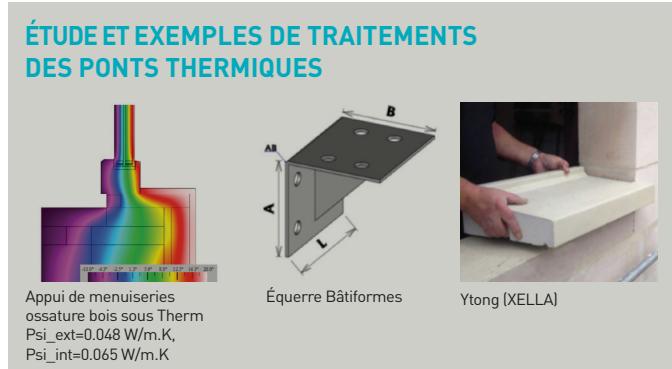
Pour la jonction ouvrant/dormant un seuil à la suisse ou un seuil mobile, par exemple Klomatic, pour l'accès handicapé, avec joints est fortement recommandé.



## PRENDRE EN COMPTE LES PONTS THERMIQUES LIÉS SPÉCIFIQUEMENT AUX MENUISERIES

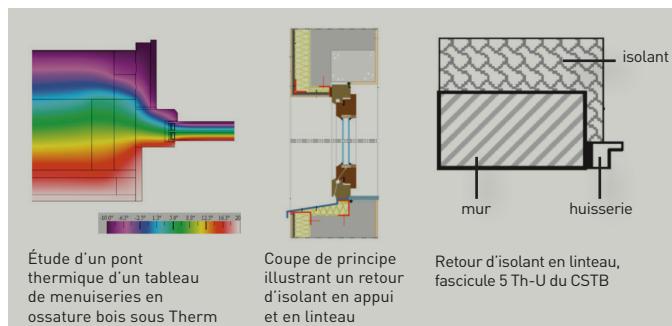
### → Ponts thermiques des seuils et appuis de menuiseries

Pour traiter le pont thermique des seuils sur appui béton, dans le cas d'un isolant sous chape, il est conseillé de prévoir une remontée d'isolant vertical pour assurer la continuité entre l'isolant sous chape et la menuiserie. Prévoir au niveau des seuils de porte une équerre métallique. De la même manière, un précadre est à envisager au niveau des fenêtres. Le fabricant Bâtiformes propose une gamme d'équerres et de précadres appropriés. De plus, la porte doit être posée sur du béton cellulaire, ce sont des appuis de fenêtres en béton cellulaire, rupteur de pont thermique. Les seuils de porte-fenêtres sont également à traiter (exemple ci-dessous).



### → Ponts thermiques des tableaux et linteaux de menuiserie

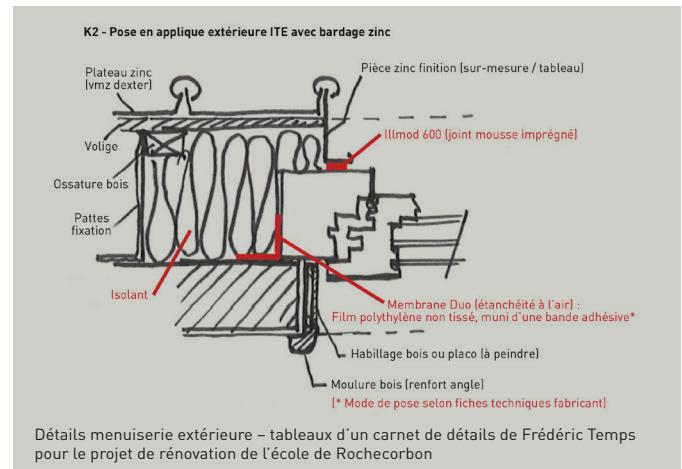
Afin de traiter ces ponts thermiques, un retour d'isolant venant sur le dormant côté extérieur est à prévoir (panneau de 4cm de fibre de bois par exemple). Au moins la moitié de la surface des dormants doit être recouverte par l'isolant en tableau et linteau.



### → Ponts thermiques liés aux coffres de volets roulants

Les ponts thermiques des coffres de volets roulants ne sont pas à négliger, il est nécessaire de les traiter soit en disposant le coffret à l'extérieur pour limiter le pont thermique (en prolongeant l'isolation et en prévoyant un coffre bien isolé) soit en ajoutant de l'isolant entre le coffre et le linteau si besoin.

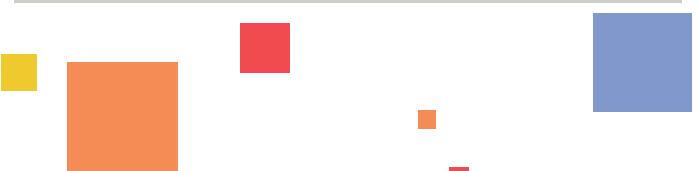
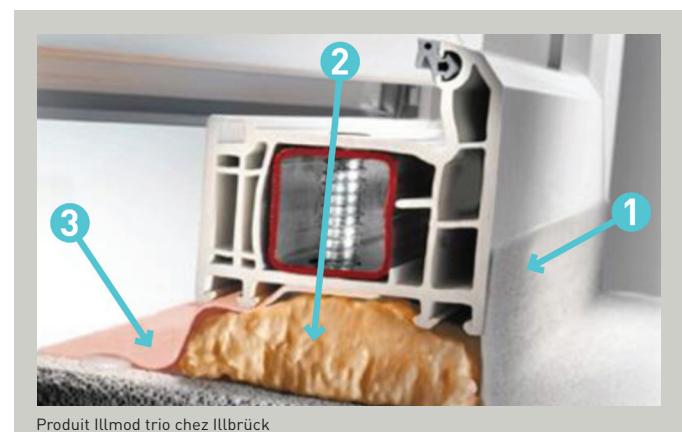
### → Fournir un carnet de détails décrivant le traitement des ponts thermiques spécifiques, l'étanchéité à l'air des menuiseries ou leur pose si elle est particulière.



Pour résumer le traitement complet et correct des menuiseries, un montage comme celui présenté sur l'image ci-dessous est à prévoir :

- 1 - Étanchéité au vent et à la pluie battante, ouverte à la diffusion de vapeur d'eau (Sd faible)
- 2 - Isolation thermique et phonique
- 3 - Étanchéité à l'air et fermée à la diffusion de vapeur d'eau (Sd élevé)

Il existe par exemple des produits permettant de réaliser trois fonctions à la fois (Illmod trio chez Illbrück).



## 3.3 | MISE EN ŒUVRE

### TRAITER CORRECTEMENT LES PONTS THERMIQUES

De manière générale, afin d'éviter les ponts thermiques liés aux menuiseries, il est toujours préférable de placer la menuiserie dans le prolongement de l'isolation et de poser la menuiserie sur un support isolé.



#### PONTS THERMIQUES FLAGRANTS AUX SEUILS DES MENUISERIES



Discontinuité d'isolant et traversée entière de l'isolant par le seuil béton, créant un gros pont thermique au niveau du seuil en béton (sur le projet de la construction d'une crèche à Bourges)



Seuil plus large que la porte → pont thermique à traiter (sur le projet de la construction d'une crèche à Bourges)



#### TRAITEMENT DES PONTS THERMIQUES LIÉS AUX MENUISERIES



Bandé de mousse insérée entre le précadre et l'ossature



Insertion d'un isolant côté intérieur avant de couler la chape (sur le projet du restaurant scolaire à Fondettes)

### TRAITER CORRECTEMENT L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR AUTOUR DES MENUISERIES

Autour des menuiseries, le complexe classique (joint silicone extérieur + fond de joint) n'est pas satisfaisant pour deux raisons principales :

→ Le joint silicone n'est pas assez pérenne dans le temps. Il se détériore en quelques années.

→ Le joint silicone n'est pas perméable à la vapeur d'eau et donc freine sa migration et peut accentuer les risques de condensation à ces endroits très sensibles.

Comme vu précédemment, il est nécessaire de prévoir un joint comprimé assurant la barrière étanche à l'eau (et une première barrière pour l'air) et une membrane butyle munie d'une bande adhésive qui reliera le dormant de la menuiserie à la barrière étanche à l'air du mur (membrane ou gros œuvre).



Jonction menuiserie/feuille de verre correctement réalisée grâce à des membranes adéquates

Au niveau de l'appui sous la menuiserie, le frein-vapeur doit également être raccordé à la menuiserie avec un cordon de colle.



#### TRAITEMENTS INSUFFISANTS DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR AUTOUR DES MENUISERIES ASSURÉS UNIQUEMENT PAR DES JOINTS EN SILICONE



Discontinuité du joint au niveau de l'équerre métallique



Joint en silicone au pourtour intérieur de la menuiserie au lieu de la membrane



#### GROS DÉFAUTS DE L'ÉTANCHÉITÉ À L'AIR LIÉS À LA QUALITÉ DES MENUISERIES



Au niveau du seuil de porte



Porte anti-pince doigts problématique pour les portes qui doivent être étanches

### VÉRIFIER LA POSE DES MENUISERIES

Sur beaucoup de chantiers, le vitrage est posé à l'envers. Dans certains cas, le vitrage intérieur est indiqué par un autocollant sur les fenêtres, mais ce n'est pas systématique. Il faut par conséquent penser à vérifier la position de la couche peu émissive du vitrage sur le chantier et valider qu'elle est bien du bon côté conformément aux préconisations du concepteur.

#### VÉRIFICATION DU PLACEMENT DE LA COUCHE PEU ÉMISSIVE



Sur cet exemple, la couche peu émissive se trouve en face 3 (face intérieure du verre extérieur) car la 3<sup>ème</sup> flamme la plus éloignée est de couleur différente. Par rapport à une position en face 2, c'est-à-dire en face extérieure du verre intérieur, le  $U_w$  est légèrement dégradé et le facteur solaire  $g$  diminué

→ Il arrive aussi assez fréquemment de constater des menuiseries équipées d'entrées d'air alors que la ventilation prévue est de type double-flux (donc ne nécessitant pas d'entrées d'air dans les menuiseries). Cette erreur reflète un défaut de communication entre la maîtrise d'œuvre et les entreprises. D'où l'importance d'une compréhension globale du projet entre les différents corps d'état.

## 4 | CHECK-LIST TOUT AU LONG DU PROJET

### PROGRAMME

- Tenir compte des objectifs en termes d'isolation et d'étanchéité.

### ESQUISSE

- Réaliser les STD et les études d'éclairement et ajuster les surfaces vitrées et les niveaux d'isolation.

### APS

- Étudier les risques liés à la migration d'eau dans la paroi.
- Choisir des menuiseries adaptées à la performance du projet.

### APD

- Définir la barrière d'étanchéité à l'air tout autour du bâtiment et réaliser les détails de chaque point sensible.
- Vérifier la continuité de l'isolation tout autour du bâtiment et trouver une solution de traitement des ponts thermiques à chaque rupture de l'isolation.
- Étudier les valeurs des ponts thermiques d'enveloppe et de menuiseries et les moyens de les traiter.

### PRO

- Réaliser les carnets de détails pour les ponts thermiques et l'étanchéité à l'air.
- Limiter les percements de la barrière étanche à l'air par les réseaux CVC lors des plans de conception.

### PRÉPARATION DE CHANTIER

- Organiser une réunion avec l'ensemble des corps d'état concernés par l'étanchéité à l'air (une grande partie) et exposer l'ensemble des solutions prévues en conception pour assurer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe.
- Vérifier que le menuisier, le couvreur, l'entreprise gros œuvre et charpente ont bien intégré les détails de traitement des ponts thermiques et des niveaux d'isolation importants.

### DURANT LE CHANTIER

- Prendre garde à la pose de l'isolant, soigner les raccords et l'étanchéité des menuiseries.

## PARTIE 2

### UNE VENTILATION PERFORMANTE

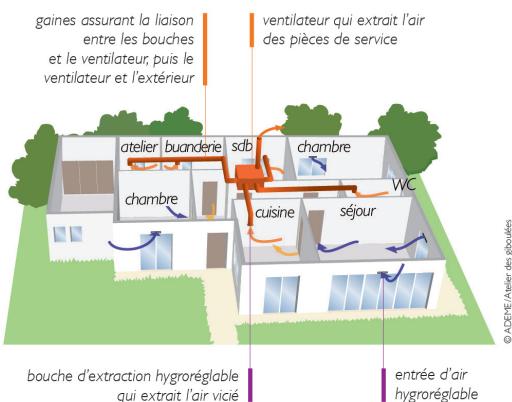
## 1 | GÉNÉRALITÉS

Dans un bâtiment, le renouvellement d'air permet d'assurer une bonne qualité de l'air intérieur et de réguler l'humidité ambiante. Il est indispensable de doter chaque pièce d'un renouvellement d'air adapté pour créer une ambiance saine, confortable et également pour préserver le bâti.

Cependant, la ventilation engendre des consommations énergétiques non négligeables caractérisées par les apports d'air neuf (en général froids) et l'électricité nécessaire pour entraîner les ventilateurs du caisson de ventilation.

### 1.1 | DIFFÉRENTES TECHNIQUES DE VENTILATION

#### LA VENTILATION SIMPLE-FLUX



→ La ventilation simple-flux peut être mécanique et contrôlée (VMC), naturelle ou encore naturelle-assistée.

#### → La ventilation mécanique

L'air vicié est extrait des pièces humides du bâtiment à l'aide d'un ventilateur d'extraction alors que l'air neuf entre naturellement dans les locaux. Les bouches d'entrée et d'extraction employées peuvent être auto-réglables soit à débit constant, ou hygro-réglables, le débit variant en fonction de l'humidité.

#### → La ventilation naturelle

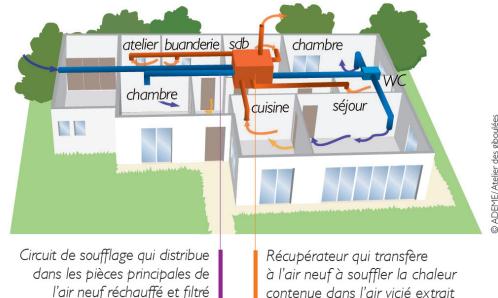
La ventilation naturelle utilise deux phénomènes distincts :

- le tirage thermique provenant de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment,
- la différence de pression entre les façades, engendrée par l'action du vent, créant des circulations d'air à l'intérieur du bâtiment.

L'air y pénètre par les ouvertures ou les défauts d'étanchéité. Dans ce système, on n'utilise pas de ventilation mécanique. La ventilation naturelle 100% est très peu utilisée car elle ne permet pas en général d'obtenir les taux de renouvellement d'air réglementaires en continu. La majeure partie de l'année, on a donc besoin de compléter le dispositif par une assistance mécanique dès que le tirage thermique ou le vent sont insuffisants.

L'enjeu consiste à limiter ces consommations énergétiques tout en assurant une ventilation suffisante pour maintenir une qualité de l'air satisfaisante. Le principe de base à adopter est de ventiler comme il faut, là où il le faut et quand il le faut. Cela est rendu possible grâce à la mise en œuvre de différents systèmes et au respect de quelques recommandations simples mais importantes : réguler en fonction de l'occupation, dimensionner au plus juste, améliorer l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment et du réseau de ventilation.

#### LA VENTILATION DOUBLE-FLUX AVEC RÉCUPÉRATION DE CHALEUR



→ La ventilation double-flux avec récupération de chaleur assure à la fois le soufflage et l'extraction grâce à deux ventilateurs distincts. Un échangeur situé dans la centrale permet de récupérer l'énergie de l'air vicié pour le transmettre à l'air neuf entrant, alors préchauffé.

En utilisant un bon échangeur et des ventilateurs à faible consommation d'énergie, ce système permet d'importantes économies d'énergie par rapport aux systèmes précédents. Le gain sur les besoins de chauffage compense plus que largement la consommation électrique de l'équipement.

Comparée aux autres systèmes, la ventilation double-flux permet d'assurer les débits de ventilation requis tout au long de l'année tout en limitant les besoins de chauffage. Elle est principalement utilisée dans les bâtiments tertiaires et systématiquement dans les logements passifs sous nos climats.

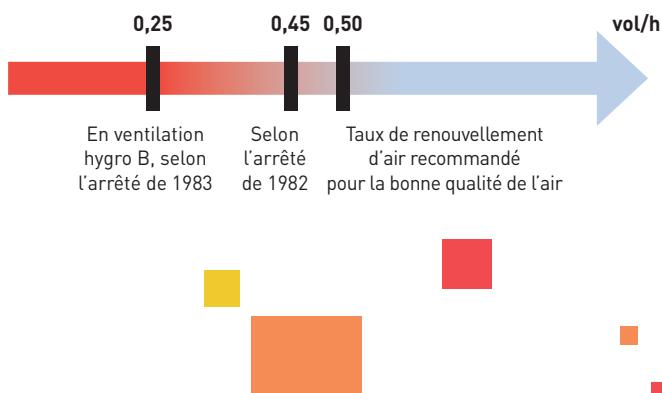
On parle de ventilation centralisée lorsque toutes les pièces du bâtiment sont ventilées par un seul appareil et de ventilation décentralisée lorsque chaque pièce est ventilée par un appareil dédié. Cette dernière configuration permet de s'affranchir de la création d'un réseau de ventilation important et encombrant. On opte en général pour la solution décentralisée dans le cas de la rénovation de bâtiments tertiaires ou lorsque les contraintes techniques (de structure, d'encombrement...) rendent la création d'un réseau centralisé impossible ou trop onéreuse.

## 1.2 | LES DÉBITS DE VENTILATION CIBLES : ENJEUX MAJEURS DE LA QUALITÉ SANITAIRE DE L'AIR

### POUR LES LOGEMENTS

En France la réglementation en vigueur (arrêté du 24 mars 1982) définit des valeurs de débit de ventilation à respecter. De récentes études, basées sur des campagnes de mesures comparant les concentrations relevées de polluants intérieurs et des débits de ventilation mesurés, concluent qu'une révision des niveaux réglementaires est à envisager.

→ Le graphique ci-dessous compare les valeurs réglementaires à la valeur considérée comme nécessaire actuellement :



### A B C POUR LES ÉCOLES ET CRÈCHES :

Le règlement sanitaire type fixe un seuil de  $18 \text{ m}^3/\text{h}$  par personne, valeur insuffisante au regard des recommandations fournies par de récentes études. Le niveau nécessaire se rapprocherait plutôt de  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  par personne, voire plus selon les études.

### POUR LES BUREAUX :

Le code du travail exige un débit minimal d'air neuf de  $25 \text{ m}^3/\text{h}$  par occupant. Ce débit est considéré suffisant pour assurer une bonne qualité sanitaire de l'air intérieur. Surtout si la construction a été faite de façon soigneuse afin d'éviter la présence de matériaux toxiques et de permettre un brassage d'air uniforme dans l'ensemble du volume.

### QU'EST-CE QUE LE FORMALDÉHYDE ?

Le formaldéhyde est présent dans de nombreux produits de construction et de consommation d'usage courant (produits de bricolage, meubles, produits d'entretien, cosmétiques...). La contribution de l'air intérieur dans l'exposition globale de la population au formaldéhyde par inhalation serait de 98%.

Dans les logements en France, selon les données de l'OQAI, les concentrations en formaldéhyde dans les chambres varient de  $1,3$  à  $86,3 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$  (moyenne sur 7 jours) avec une médiane à  $19,6 \text{ } \mu\text{g.m}^{-3}$ .

## 2 | CONCEPTION

### 2.1 | DESSINER LE RÉSEAU DE VENTILATION ET INTÉGRER LES CONTRAINTES LE PLUS EN AMONT POSSIBLE EN PHASE ESQUISSE ET APS

Plus tôt le bureau d'étude fluide est associé à la conception aux côtés de l'architecte, plus ses recommandations seront écoutées et seront faciles à prendre en compte. En effet il s'agit :

→ **D'agencer correctement les pièces** afin d'optimiser la longueur du réseau, d'éviter la présence de coudes et de croisements et d'assurer, si besoin, un transfert d'air correct entre certaines pièces. Par exemple il doit être envisagé de rapprocher les pièces humides (cuisine, salle d'eau), de faire plomber les salles de classe, les logements de même type.

Un réseau simplifié permet de réduire les consommations d'électricité, des ventilateurs grâce à la réduction des pertes de charge tout en facilitant la mise en œuvre par les entreprises.

→ **De positionner correctement le local technique de ventilation** afin de réduire la longueur du réseau. Idéalement, le local devrait se trouver en position centrale et le long d'une

paroi donnant sur l'extérieur. S'il n'est pas possible, pour différentes raisons, de le placer au centre, on pourra envisager la création de plusieurs locaux techniques (pour plusieurs CTA) judicieusement répartis dans le bâtiment mais toujours à proximité d'une paroi donnant sur l'extérieur. Chaque local devra être accessible pour assurer la maintenance et l'entretien correctement.

 Attention : à éviter autant que possible le positionnement d'une CTA à l'extérieur. Les déperditions supplémentaires du caisson et de la partie des réseaux située à l'extérieur engendrent une dégradation importante de l'efficacité globale de la récupération de chaleur (dégradation d'ailleurs rarement prise en compte dans les calculs). Au cas où la CTA serait tout de même placée à l'extérieur, veiller à ce que la partie du réseau située à l'extérieur soit la plus courte possible et fortement isolée.

→ Prévoir un encombrement suffisant pour le positionnement des gaines : les réseaux de ventilation prennent de la place. Il faut donc prévoir des gaines techniques adaptées (rectilignes et bien dimensionnées) une largeur des circulations et une

hauteur sous dalle suffisantes. Utiliser des gaines d'un diamètre supérieur aux diamètres classiquement employés pour un même débit, permet de réduire les pertes de charge et par conséquent les consommations électriques des ventilateurs.

## 2.2 | CONCEVOIR LE RÉSEAU POUR LIMITER AU MAXIMUM LES PERTES DE CHARGE

L'un des gros enjeux énergétiques de la conception du réseau de ventilation est la réduction des pertes de charge. En plus de l'agencement des pièces vu au B.2.1, le concepteur devra étudier :

→ La taille des conduits pour limiter les vitesses d'air et donc les pertes de charge dites linéaires (pertes de charge sur une section de réseau rectiligne dépendant uniquement de la forme du conduit, de sa nature et de la vitesse de l'air) il est recommandé de ne pas dépasser les vitesses suivantes :

- 3 m/s pour les gaines principales verticales – diamètre nominal de 125mm à 315mm pour des débits respectifs de 120 et 850 m<sup>3</sup>/h. On peut monter à 3.5 m/s dans les circulations voire 4 m/s s'il y a des problèmes d'encombrement.
- 2.5 m/s pour les gaines principales horizontales – diamètre nominal de 125mm pour un débit de 120 m<sup>3</sup>/h.
- 2 m/s pour les gaines terminales

→ La simplicité et la longueur du réseau : le concepteur devra s'attacher à réduire la longueur du réseau, à limiter le nombre de coudes, de réductions de section, de piquages... , notamment pour la branche la plus défavorisée.

→ Le choix d'organes à faible perte de charge : les organes du type clapets coupe-feu, pièges à son, bouches de ventilation, registres de réglage, ... occasionnent des pertes de charge importantes par rapport aux autres éléments du réseau. Il est nécessaire de sélectionner des produits dits à faible perte de charge.

Des astuces peuvent également être trouvées, par exemple concernant les modules de régulation. Sachant qu'un module efficace nécessite une perte de charge importante pour une mesure correcte du débit à réguler, il peut être judicieux de regrouper plusieurs salles sur un même module (quand elles ont le même besoin en terme de débit et la perte de charge est à peu près identique dans toutes les salles). On parle alors de réseau auto-équilibré.

Par ailleurs, le choix et l'entretien des filtres jouent un rôle important. Leur encrassement engendre une perte de charge supplémentaire. Généralement une dégradation de valeur de +100 par rapport à un filtre propre est tolérée en tertiaire, +20Pa en logement. Au-delà de ces valeurs, il est indispensable de les changer.

### ORDRES DE GRANDEURS DE PERTES DE CHARGE OCCASIONNÉS PAR LES ORGANES D'UN RÉSEAU DE VENTILATION

DÉSIGNATION	VALEURS	VISUEL
Pertes de charge linéaires	0.7 Pa/ml	
Piège à son	15 Pa	
Clapet coupe-feu	15 Pa	
Grilles d'entrée /rejet d'air	15 Pa	
Modules de régulation	50 Pa	

### QUELQUES ORDRES DE GRANDEURS

#### Consommations d'électricité cibles :

L'objectif concernant la consommation liée à la ventilation est de ne pas dépasser 0.5 Wh/m<sup>3</sup> d'air traité pour une centrale de ventilation double flux.

## 2.3 | CONCEVOIR UNE INSTALLATION PERFORMANTE AVEC DES DÉBITS ADAPTÉS ET ÉQUILIBRÉS

Le choix de la centrale de traitement d'air est primordial. Les critères de choix sont les suivants :

- efficacité et qualité de l'échangeur,
- faible consommation de ses ventilateurs,

- haut niveau d'isolation du caisson en particulier si la centrale est placée à l'extérieur,
- simplicité et ergonomie du fonctionnement et de la maintenance,
- niveau de bruit généré par le caisson lui-même et dans les différents réseaux (air neuf, air rejeté...).



Les produits certifiés « maison passive » sont les plus performants, donc conseillés.

Les recommandations suivantes permettent de garantir une installation performante :

**Dans les bâtiments tertiaires, il est aujourd’hui possible de prévoir l’extraction des sanitaires par la ventilation double-flux :** avec les centrales de traitement d’air modernes avec échangeur à roue ou à plaques, il est possible d’extraire l’air vicié des sanitaires directement par la double-flux sans risque d’ordre réglementaire ou olfactif. Les échangeurs à roue d’ancienne génération pouvaient occasionner un mélange entre l’air extrait et l’air neuf. Ce n’est plus le cas avec les technologies récentes : l’étanchéité des joints entre les réseaux d’air neuf et d’air extrait sont de très bonne qualité, et la présence d’un secteur de purge limitent considérablement le risque d’échange entre l’air des deux réseaux.

**Les avantages liés au traitement de l’ensemble des extractions par la ventilation double-flux sont nombreux :**

- La simplification de l’installation donc des coûts et des risques de dysfonctionnements réduits
- Une efficacité de la récupération de chaleur augmentée grâce à l’égalité des débits (débit d’air neuf = débit d’air extrait)

→ Une réduction des risques d’infiltrations parasites, conséquence de l’égalité des débits précédente

**Adapter les débits en fonction des besoins :** il est vivement recommandé pour des raisons évidentes de prévoir l’arrêt des centrales d’air en dehors des périodes d’occupation. Par exemple dans un bâtiment de bureaux ou une école, la centrale peut s’arrêter en dehors des heures de travail et reprendre 1 ou 2 h maximum avant l’ouverture le lendemain matin. Cette période de pré-ventilation est généralement suffisante pour évacuer les polluants accumulés pendant la fermeture. Aujourd’hui de nombreux bâtiments sont ventilés en permanence alors que l’arrêt de la ventilation apporte une économie d’énergie non négligeable, de l’ordre de 20% par an en bureaux et de 30% par an en écoles.

Dans les zones à occupation variable (salle de réunion, salle de motricité...), la variation de débit en fonction de l’occupation peut être complexe et coûteuse pour de petits projets. Pour les petits projets on pourra préférer une régulation sur détection de présence à une régulation sur sonde CO2, moins facile à entretenir.

## 2.4 | PRÉVOIR UNE DIFFUSION D’AIR PERFORMANTE ET ADAPTÉE : L’IMPORTANCE DES BOUCHES DE SOUFFLAGE

La qualité des bouches de soufflage est essentielle au confort de l’usager. Le choix de la bouche devra donc prendre en compte :

- le niveau de puissance acoustique (confort acoustique),
- la vitesse d’air du jet d’air dans la zone d’occupation (confort relatif aux courants d’air),
- le taux d’induction et l’homogénéité des températures en cas de soufflage d’air chaud (confort thermique).

Un grand nombre de types de diffuseurs existe : à jet hélicoïdal, à déplacement, à buse (faible ou grande portée), au sol... À chaque type d’usage et de configuration de la pièce correspond un type de bouche permettant d’assurer le confort de l’usager. En cas de doute sur le choix du diffuseur, une étude aéraulique pourra valider le choix.

Le taux d’induction représente le rapport du débit total d’air mélangé sur le débit de la bouche d’entrée d’air.



## 2.5 | SE PASSER D’UNE BATTERIE DE PRÉCHAUFFAGE

Dans de nombreux bâtiments, les concepteurs prévoient de chauffer l’air soufflé pour limiter les risques de courants d’air froid. Le chauffage est assuré par une batterie électrique ou une batterie à eau raccordée au système de chauffage centralisé. Un mode non adapté de régulation de ce système peut être la cause de surconsommations de chauffage importantes. En effet, la sonde de température, qui régule le chauffage de l’air, située dans le réseau de ventilation à proximité de la CTA, est indépendante de la tempéra-

ture des pièces ventilées. Conséquence : l’air soufflé dans la pièce est préchauffé alors que les besoins de chauffage sont nuls. Cette situation est courante dans les bâtiments basse consommation et passifs. La mise en œuvre d’un échangeur très efficace et de diffuseurs de qualité (taux d’induction élevé  $\geq 20$ ) permettent de se dispenser d’une batterie de préchauffage tout en assurant un confort optimal aux usagers.

## 3 | MISE EN ŒUVRE

### 3.1 | LA PROPRETÉ DU RÉSEAU

La propreté du réseau est un enjeu important. Trop peu de dispositions sont prises pour maintenir les réseaux propres en chantier.

Les conduits sont trop souvent entreposés sans protection et en plein milieu du chantier. Ils sont ainsi exposés aux chocs et à la poussière pendant plusieurs semaines, puis installés sans être nettoyés.

Lors de la mise en route de la centrale, les bouches et les filtres s'enkrassent rapidement, avec pour conséquences :

- Une dégradation de la qualité sanitaire de l'air soufflé : la ventilation fonctionne dans ce cas à contre-emploi
- Une consommation électrique des ventilateurs accrue : les filtres s'enkrassent, les dépôts dans les gaines créent des turbulences qui augmentent les pertes de charge



## 3.2 | L'ÉTANCHÉITÉ DU RÉSEAU DE VENTILATION

### LES ENJEUX

La bonne étanchéité à l'air du réseau est essentielle au bon fonctionnement de l'installation, à la performance énergétique comme à la qualité sanitaire de l'air, en optimisant et en assurant les bons débits aux bons endroits, en limitant les infiltrations ou exfiltrations d'air parasites dans le réseau.



### LE TEST

Selon le même principe que pour les tests de perméabilité à l'air des bâtiments, le test de perméabilité à l'air des réseaux aérauliques permet de quantifier les débits de fuite traversant le réseau. Ces mesures sont réalisées à l'aide d'un ventilateur qui permet de mettre en surpression ou en dépression l'ensemble du réseau. Un enfumage est réalisé pour visualiser les zones de fuite. Le test est généralement réalisé sur un échantillon représentatif du réseau et permet de classer ce dernier dans une des quatre catégories A, B, C et D. A étant la classe la plus facile à atteindre et D celle autorisant le débit de fuite le plus faible possible.

### POUR ALLER PLUS LOIN

Grâce à la certification HQE, qui demande une classe d'étanchéité du réseau pour certaines cibles, cette problématique est de mieux en mieux prise en compte en France dans les bâtiments tertiaires (en particulier les hôpitaux). Dans les logements, les habitudes évoluent très lentement et il reste beaucoup de chemin à parcourir pour atteindre la qualité des réseaux de nos voisins nord-européens.

→ Le déséquilibrage du réseau et par conséquent la non-conformité des débits

→ Un impact sur la durée de vie de la centrale

Assurer la propreté du réseau implique le stockage dans un endroit propre, l'utilisation de bouchons et de scotchs et ce jusqu'à la fin des travaux. Un nettoyage complet du réseau peut même être envisagé juste après sa mise en place...



Une bonne étanchéité à l'air nécessite de :

- Préférer les conduits circulaires aux conduits rectangulaires
- Limiter le nombre de piquages
- Prévoir des joints mastic avec des bandes de recouvrement aluminisées – faire à minima 2 tours – et des pièces de transformation pré-usinées étanches au minimum en classe C.



## 3.3 | UN TRAVAIL DE QUALITÉ POUR LIMITER LES PERTES DE CHARGE

Pour ramener les pertes de charge réelles au niveau prévu par la théorie, il est nécessaire de :

- Soigner les raccords entre les différents éléments (gaines et organes)
- Utiliser des pièces de raccord pré-usinées et des pièces de transformations adaptées

## 4 | CHECK-LIST TOUT AU LONG DU PROJET

### PROGRAMME

- Prendre en compte la ventilation dans le regroupement le zonage du bâtiment.

### ESQUISSE

- Positionner correctement les gaines et les locaux techniques.

### APS

- Prévoir suffisamment d'espace pour les gaines et les locaux techniques.
- Tracer de manière optimale le réseau pour limiter les pertes de charge, faciliter l'équilibrage et la maintenance.

### APD

- Choisir une CTA performante en étudiant sa maintenance.
- Étudier la diffusion d'air (choix des bouches de soufflage adapté).

### PRO

- Choisir les produits avec le moins de pertes de charge.
- Prescrire les pièces du réseau avec un classement d'étanchéité performant (classe C).

### PRÉPARATION DE CHANTIER

- Calculer précisément les pertes de charge et l'acoustique du réseau.

### DURANT LE CHANTIER

- Mettre en place des conduits propres et les garder bouchés jusqu'à la fin du chantier.
- Soigner la mise en œuvre des éléments de ventilation (pièces de transformation, organes de réglage...).

# PARTIE 2

## LE CHAUFFAGE ET L'ÉMISSION DE CHALEUR

### 1 | GÉNÉRALITÉS

Du choix de la génération et des émetteurs en passant par la conception du réseau de chauffage, fournir de la chaleur à un bâtiment peut être effectué avec un grand nombre de combinaisons possibles. Dans l'Appel à Projets ADEME / Région Centre-Val de Loire, la production de chaleur à l'aide d'énergies renouvelables a été privilégiée dans la mesure du possible.

#### LES SYSTÈMES DE CHAUFFAGE À BASE D'ÉNERGIE RENOUVELABLE ET FOSSILE

→ Systèmes :

##### LES CHAUFFERIES BOIS



Chaufferie bois de la CC Malesherbois

En l'associant à une gestion durable des forêts, le bois est une source d'énergie renouvelable et de stock. Elle est couramment utilisée sous 2 formes :

##### → Les plaquettes

Très peu transformée, la plaquette est une ressource peu chère et à faible contenu d'énergie fossile.

##### → Les granulés

Séchés puis comprimés, les granulés ont un bilan énergétique moins bon que les plaquettes. Par contre, leur utilisation est plus commode.

Projets de l'AAP avec chaufferie bois : [opération Fontaine-Potier de l'OPAC de Tours](#), [Maison de l'enfance de la CC Malesherbois](#), [Résidence St Mars de la SA Jacques Gabriel](#), [Maisons de Romorantin](#).

##### LES CHAUDIÈRES GAZ À CONDENSATION

Les chaudières gaz à condensation sont aujourd'hui les plus utilisées. Cependant, la valorisation énergétique de la chaleur latente n'est pas toujours bien étudiée et beaucoup de chaudières à condensation installées condensent finalement très peu ! Le retour du primaire de chauffage étant d'une température trop élevée !

Concernant les systèmes d'émission, des planchers chauffants, des radiateurs basses températures ainsi que des batteries sur système de ventilation ont été mis en œuvre.

##### POMPE À CHALEUR SUR GÉOTHERMIE BASSE TEMPÉRATURE

Le sol et l'eau des nappes ont une température relativement constante tout le long de l'année (comparé à l'air). Ils représentent une source de chaleur en hiver. La pompe à chaleur permet de valoriser cette source de chaleur en élevant leur température.

##### → Sur sondes

Sondes de 100m de profondeur dans lesquelles on fait circuler de l'eau glycolée (entre 4 et 6 kW extrait par sonde de 100m). Avec cette technique, il est préférable d'espacer correctement les sondes pour ne pas refroidir de manière trop importante le sol et de restituer de la chaleur au sol pendant l'été pour que le sol ne se refroidisse pas d'année en année.

Projets de l'AAP l'ayant utilisé : [locaux administratifs BRGM](#), [École de la commune Le Magny](#).



Forage pour l'installation de 3 sondes géothermiques dans le cadre de la rénovation d'un bâtiment du BRGM



Pompe sur géothermie - BRGM

##### → Sur nappes

On réalise 2 puits sur la nappe d'eau, assez distants l'un de l'autre : 1 pour le captage, 1 pour le rejet. Il est nécessaire de faire très attention à la profondeur de la nappe et à la performance de la pompe de forage qui doit être à débit variable pour limiter au mieux sa consommation. Cette consommation peut être très importante, parfois supérieure à la consommation de la PAC, c'est pourquoi il est nécessaire d'exploiter des nappes de faible profondeur (<20m) pour des projets de géothermie basse température.

Projets de l'AAP l'ayant utilisé : [Maison du bâtiment de la Fédération Française du Bâtiment du Loiret \(Olivet\)](#), [École de la commune de St Hilaire St Mesmin](#), [École de la commune de Chalette sur Loing](#), [FFB 37](#), [Artprom](#).

→ Émetteurs :

### LES PLANCHERS CHAUFFANTS

La chaleur est transmise en grande partie par rayonnement ce qui offre un confort accru. Ce système d'émission est également très intéressant pour optimiser le fonctionnement de la production de chaleur grâce à son régime de température très bas (optimisation du COP si la production se fait par PAC, amélioration du rendement de la chaudière condensation).

Le plancher permet également d'assurer un rafraîchissement « passif » s'il est raccordé à une géothermie.

Projets de l'AAP avec plancher chauffant : [la Nef d'Artprom \(logements à Tours\)](#), [logements de l'opération Fontaine-Potier de l'OPAC 37](#), [école de la commune Le Magny](#), [école de la commune de St Hilaire St Mesmin](#).

### LES RADIATEURS À EAU CHAUDE ET LES PANNEAUX RAYONNANTS

Ce sont les systèmes d'émission les plus couramment utilisés : radiateurs pour les logements et panneaux rayonnants pour le tertiaire. Les régimes de température doivent rester relativement faibles (50°C au plus froid de l'hiver). Les panneaux rayonnants peuvent être réversibles et assurer le refroidissement des bâti-

ments de bureaux.

Projets de l'AAP avec radiateurs ou panneaux rayonnants : [Maison du bâtiment d'Indre-et-Loire \(bureaux\) à Tours](#), [cantine d'une école de la commune de Fondettes](#), [locaux administratifs du BRGM \(Orléans\)](#), [Artprom](#).

### CHAUFFAGE PAR AIR - LES BATTERIES CHAUDES - LES POUTRES FROIDES

Le chauffage par air est couramment utilisé en complément pour les bâtiments tertiaires. Pour les logements passifs, il est souvent l'unique moyen de chauffage : par exemple [l'immeuble des 21 logements à la Résidence Alena \(St Doulchard\)](#) et [l'opération de logements James Pradier de Val Touraine Habitat \(Joué les Tours\)](#).

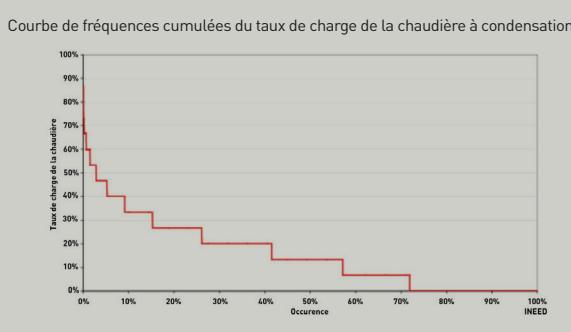
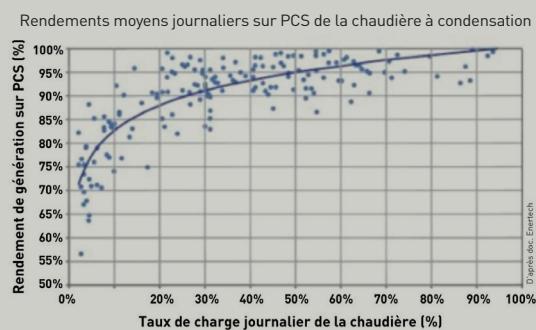
Pour de simples batteries, l'investissement est faible (on profite de l'installation de la ventilation double-flux) toutefois la régulation est délicate (nécessitant de jouer à la fois sur les débits et la température de l'air) et la stratification des températures est importante. Pour l'installation des poutres froides, l'investissement est important mais cette technologie permet de chauffer et refroidir tout en assurant un certain confort.

## 2 | CONCEPTION

### 2.1 | BIEN DIMENSIONNER LES GÉNÉRATEURS

→ **Aucune installation ne doit être surdimensionnée.** Il est primordial d'adapter la puissance des générateurs et la capacité des installations aux réels besoins du bâtiment. Plus une chaudière est surdimensionnée et plus elle fonctionnera à un faible taux de charge. Or le rendement mesuré chute lorsque le taux de

charge est faible, cela étant lié aux arrêts et aux redémarrages fréquents. Dans un bâtiment basse consommation, il est intéressant de constater que les chaudières qui sont correctement dimensionnées sont 90% du temps à un taux de charge inférieur à 30% (graphique ci-après).



#### QUELQUES RÈGLES DE DIMENSIONNEMENT À RESPECTER :

- **Prendre en compte l'efficacité de l'échangeur des centrales double-flux** dans le calcul de dimensionnement.
- **Prendre un coefficient de foisonnement entre la puissance de production d'ECS et la puissance de chauffage** : faire une simple somme de la puissance de chauffage et d'ECS implique de prendre une très confortable marge de sécurité sur le dimensionnement car l'inertie du bâtiment fait qu'il est toujours possible de réduire la puissance de chauffage si besoin quand la puissance d'ECS appelée est maximale, sans altérer le confort des usagers.
- **Se servir de la Simulation Thermique Dynamique** : la STD permet d'obtenir les puissances appelées pour atteindre la température de consigne heure par heure et donc d'obtenir une monotonie de puissance sur la période de chauffage. Même si cette méthode n'est pas normée, il est toujours intéressant de la comparer aux méthodes traditionnelles et surtout d'estimer l'évolution du taux de charge du système de production.
- **Prendre en compte la relance après réduction la nuit.** Cette puissance de relance peut être calculée finement à l'aide de la STD par exemple en essayant d'étaler le temps de la relance afin d'obtenir une puissance moindre.

## 2.2 | PRÉVOIR ET LIMITER LES PERTES THERMIQUES AU NIVEAU DE LA DISTRIBUTION

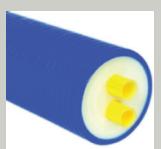
### CONCEVOIR UN RÉSEAU DE DISTRIBUTION OPTIMISÉ AFIN DE LIMITER LES PERTES THERMIQUES

→ Prévoir l'isolation des conduits encastrés dans la dalle pour l'alimentation des radiateurs. Les déperditions des réseaux encastrés dans la dalle sont très importantes (plusieurs dizaines de W/m sans isolation). Pour les bâtiments basse consommation, les réseaux encastrés non isolés sont de vrais planchers chauffants qui peuvent occasionner des surchauffes et des surconsommations.

→ Le calorifuge des réseaux doit être décrit et adapté de manière à obtenir un réseau de distribution de classe 5 selon le calcul RT.



Tubes PER pré-gainés et pré-isolés pour les raccords de radiateurs (Anjou)



Conduit pour réseaux enterrés (Wendel)

## 2.3 | FAIRE EN SORTE DE LIMITER LES PERTES DE CHARGE DES RÉSEAUX HYDRAULIQUES

- **Pertes de charge linéiques** : l'objectif est de dimensionner le diamètre des conduits pour que les pertes de charge linéiques soient inférieures à 10mmCE/m (millimètres de colonnes d'eau par mètre de conduite).
- **Pertes de charge singulières** : il est également nécessaire de choisir les organes hydrauliques en fonction de la faible perte de charge qu'il occasionne sur le réseau (échangeur, compteur de chaleur, émetteur comme les batteries).

Les pertes de charge que devront assurer les vannes d'équilibrage et les vannes de régulation (pour avoir une autorité suffisante) dépendront de la perte de charge du reste du circuit. Ainsi, la perte de charge totale (et donc la consommation des pompes de circulation de chauffage) dépend doublement des choix des organes du réseau et du diamètre des conduits.

## 2.4 | CHOISIR DES ORGANES ADAPTÉS AFIN DE LIMITER LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

→ Choisir des pompes adaptées pour limiter les consommations électriques de distribution de chauffage. Les pompes doivent être correctement dimensionnées. Elles doivent être à variation de vitesse, et de classe A.

→ Travailler à basse température afin d'obtenir un rendement maximal pour les chaudières à condensation et optimiser le COP des PAC.

## 3 | MISE EN ŒUVRE

→ Soigner l'isolation du réseau en phase chantier, même dans les volumes non chauffés, dans le but de profiter au maximum de l'efficacité des générateurs. Le calorifugeage doit être de niveau équivalent à la classe 5 au sens de la RT.

Diamètre extérieur du conduit sans isolant (mm)	Classe 5	
	Coefficient de perte U (W/m.K)	Épaisseur de calorifuge demandée en mm pour un $l=0.04$ W/m.K
10	0.15	17
20	0.16	33
30	0.17	45
40	0.18	54
60	0.21	67
80	0.23	76

Tableau tiré de la RT concernant les équivalences pour la classe 5

L'épaisseur du calorifuge doit être équivalente au diamètre du conduit à isoler (afin de limiter les déperditions à 5W/m) et des rupteurs thermiques (pour les accroches de réseau) doivent être employés.



Gabarit de la coquille de calorifuge souhaitée (projet du BRGM)

Non seulement, il est nécessaire de prévoir des calorifuges d'épaisseur adaptée mais également de prévoir un espace entre les conduits qui permet de mettre en place ce calorifuge.



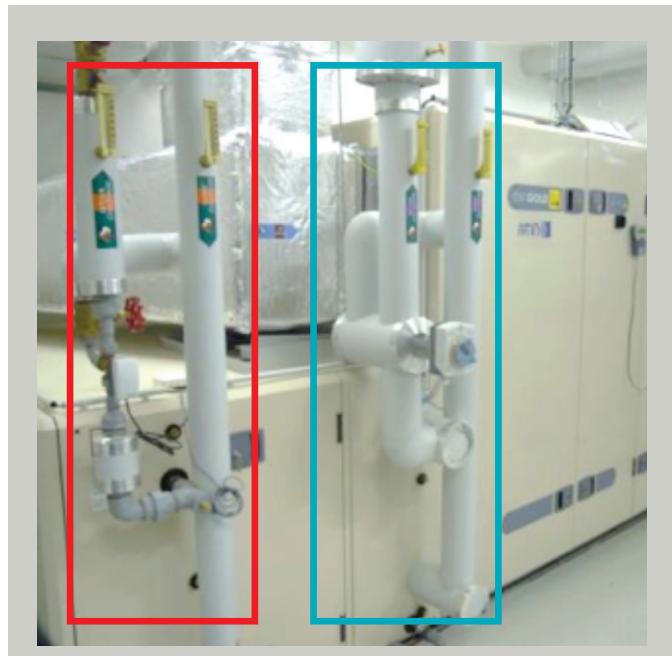
→ Mettre en place des colliers de fixation de réseau pour permettre la continuité du calorifuge : sans colliers adaptés chaque fixation du réseau représente un gros pont thermique de calorifuge. Il est donc absolument nécessaire de prévoir des colliers adaptés pour permettre au calorifuge d'être continue et efficace.



→ Calorifuger correctement les conduits et organes en chaufferie : au sein de la chaufferie, il est indispensable d'assurer la continuité du calorifuge et d'isoler les organes (pompes, vannes de réglage, bouteille de découplage...) par au moins 50mm. Par ailleurs, les vannes doivent être rehaussées pour permettre la continuité du calorifuge.



Couramment, les circuits froids de climatisation sont bien calorifugés pour éviter la condensation sur les conduits. Pour un bâtiment performant, il faudrait généraliser les méthodes de calorifugeage des réseaux de climatisation aux réseaux de chauffage.



Le réseau alimentant la batterie froide la CTA (encadré en bleu) est correctement isolé alors que celui qui alimente la batterie chaude (encadré en rouge) ne l'est pas. À l'avenir, et pour des raisons de performances énergétiques, il faudra calorifuger les réseaux de chauffage comme le réseau de climatisation.

Photo prise sur une des CTA - rénovation de la CNAV à Tours (37)

## 4 | CHECK-LIST TOUT AU LONG DU PROJET

### PROGRAMME

- Tracer de manière optimale le réseau pour limiter les pertes thermiques et les pertes de charge.
- Choisir une génération adaptée en fonction des possibilités et de l'usage du bâtiment.

### APS

- Bien dimensionner les générateurs.

### APD

- Choisir les éléments avec le moins de pertes de charge.
- Choisir des pompes performantes.

### PRO

- Prescrire un bon calorifugeage afin de limiter les pertes thermiques.

### PRÉPARATION DE CHANTIER

- Mettre en place des conduits propres et les garder propres jusqu'à la fin du chantier (bouchage).
- Optimiser les réseaux pour limiter les pertes de charge calculées en phase EXE et dimensionner correctement les pompes

### DURANT LE CHANTIER

- Soigner la mise en œuvre des éléments de chauffage (isolation des organes et du réseau, espacement des conduits, organes de réglage...).

## PARTIE 2

### L'EAU CHAude SANITAIRE

## 1 | GÉNÉRALITÉS

Dans les bâtiments basse-consommation, les besoins de chauffage étant faibles, les besoins en ECS deviennent prédominants. Pour les logements, ils deviennent même le principal enjeu énergétique car les besoins sont difficilement compressibles.

La répartition des consommations énergétiques dans un logement passif est représentée ci-contre et permet de constater que les consommations d'ECS sont largement supérieures aux consommations de chauffage.

Face à ces besoins en ECS, il convient de :

→ **Limiter les besoins** en ECS, c'est-à-dire diminuer les débits de puisage et limiter le nombre de puisage (toujours se demander si le puisage d'eau chaude est vraiment nécessaire – par exemple pour des lave-mains).

→ **Limiter les pertes** de distribution.

### LES PRINCIPAUX MOYENS D'AMÉLIORER LA PRODUCTION D'EAU CHAude SANITAIRE

#### PRODUCTION CENTRALISÉE

##### Le solaire thermique pour l'ECS

Les installations solaires pour la production d'eau chaude sont mises en œuvre pour des bâtiments ayant des consommations d'ECS importantes et stables au cours de l'année. Des techniques auto-vidangeables peuvent être intéressantes si les besoins sont faibles une partie de l'année. En logement collectif, le taux de couverture est d'environ 30 à 40%.

Projets de l'AAP : **logements passifs**  
« Résidence Alena » de France Loire à St Doulchard, atelier de « La Petite Garenne » ville de Châteauroux, logements sociaux « Résidence les Magnolias » Nouveau Logis Centre Limousin à Orléans, logements sociaux « James Pradier » Val Touraine Habitat (Joué les Tours).

##### La récupération de chaleur sur les eaux grises

L'objectif de cette technique est de récupérer l'énergie thermique habituellement perdue par les eaux grises (eaux des douches, de lavabos etc.). Elle peut être récupérée par un simple échangeur ou bien par une pompe à chaleur. La récupération par échangeur statique est environ de 30% sur l'eau usée des douches.

Projet de l'AAP : **a été étudié sur les logements sociaux**  
« Résidence les Magnolias » Nouveau Logis Centre Limousin à Orléans.

##### La pompe à chaleur sur l'air extrait

Pour les logements, la ventilation étant permanente, il est intéressant dans le cas d'une ventilation simple-flux, de récupérer la chaleur de l'air extrait et produire de l'ECS via une pompe à chaleur. La performance de la pompe à chaleur sera plutôt bonne car elle utilise une source de chaleur à température plutôt élevée et constante tout l'année.

#### PRODUCTION DÉCENTRALISÉE

##### Les petits ballons électriques, proches du puisage

À noter : lorsque les besoins sont faibles et les points de puisage éloignés les uns des autres, la meilleure solution de production ECS sur le plan énergétique est de mettre de petits ballons électriques très isolés (prévoir des jaquettes isolantes si nécessaire) au plus près des puisages.

## 2 | CONCEPTION

### TRAVAILLER EN PHASE CONCEPTION DANS LE BUT DE RÉDUIRE LES BESOINS

Prévoir des organes permettant une diminution de la consommation en eau.

Les débits maximums à obtenir pour les points de puisage principaux sont :

- Entre 7 et 9 L/min pour les douches
- Entre 3 à 4 L/min pour les lavabos
- De 6L/min pour les évier



## OPTIMISER LA DISTRIBUTION

→ Limiter au maximum la dispersion des points de puisage et les rapprocher au maximum de la boucle ou du stockage, ceci dans le but de restreindre les consommations en énergie et en eau. En effet, plus les points de puisage sont éloignés du stockage et plus le temps d'attente d'arrivée d'eau chaude est long ce qui entraîne du gaspillage et de l'inconfort.

*NB : il est nécessaire d'éviter à tout prix que le bouclage d'ECS circule de manière horizontale dans le logement (encastré dans la dalle par exemple) car en plus de générer des déperditions de chaleur importantes, cela peut occasionner des surchauffes dans le logement en période estivale !*

→ Essayer d'éviter un réseau d'ECS bouclé car le bouclage ECS représente un poids sur les consommations de chaleur considérable ! Dans certains cas, les pertes liées à la boucle peuvent représenter jusqu'à 50% des consommations totales d'ECS. Dans le cas où il est difficile de l'éviter, il est d'autant plus essentiel de limiter au mieux la longueur de bouclage (en rassemblant les points de puisage, également en mutualisant les réseaux de bouclage pour plusieurs colonnes d'appartement par exemple) et de choisir des pompes adaptées pour limiter les consommations électriques du bouclage.

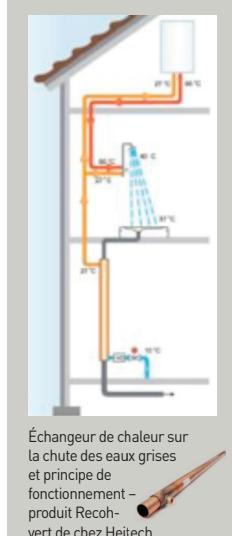


## METTRE EN ŒUVRE DES SYSTÈMES AFIN DE RÉCUPÉRER LA CHALEUR ÉVACUÉE

Il est intéressant d'étudier la faisabilité de la mise en place des systèmes de récupération de chaleur sur les eaux usées des salles de bain (ou eaux grises).

Deux principes existent :

- Soit les eaux grises (issues des douches) passent par un échangeur au niveau de l'évacuation ou directement au niveau du bac à douche et préchauffent l'eau froide qui alimente le ballon et la douche. Cette récupération est dite « statique ».
- Soit les eaux usées sont stockées dans un grand volume tampon, utilisé par la pompe à chaleur qui produit l'ECS, avec un coefficient de performance très élevé. Cette récupération est dite « dynamique ».



## DIMENSIONNER CORRECTEMENT LES INSTALLATIONS DE SOLAIRE THERMIQUE

L'énergie solaire est souvent une source d'énergie intéressante et reste encore à développer pour la production d'ECS. Cependant, il est indispensable de bien veiller à ce que les installations solaires ne soient pas surdimensionnées. Aujourd'hui, à cause sans doute d'un souci de résultats sur le plan réglementaire, trop d'installations sont dimensionnées en fonction des résultats du calcul RT et se retrouvent nettement surdimensionnées. Cela engendre des surchauffes au niveau des capteurs et des détériorations rapides du système. Le dimensionnement doit se faire avec des outils adaptés (calcul SOLO ou calcul dynamique avec Simsol ou Transol) pour juger du comportement thermique de l'installation. Il est primordial de dimensionner une installation en privilégiant la productivité du champ de capteurs (énergie délivrée par l'installation) et non pas uniquement le taux de couverture. En règle générale, pour des logements collectifs, il est conseillé de prendre 1m<sup>2</sup> par logement avec un stockage de 50L/m<sup>2</sup> de capteur.

## 3 | MISE EN ŒUVRE

### RÉALISER UN TRÈS BON CALORIFUGEAGE DES BALLONS ET TOUTE LA PANOPLIE HYDRAULIQUE ASSOCIÉE

Il est important d'isoler les ballons de stockage. Une bonne isolation serait au minimum de 100mm de laine minérale pour le ballon. Des jaquettes peuvent être également ajoutées si nécessaire. Au niveau de la chaufferie, comme évoqué pour le chauffage, il est nécessaire d'obtenir un calorifugeage important et continu pour les conduits de distribution, les collecteurs, les vannes, les pompes et les échangeurs.

### SOIGNER LE CALORIFUGEAGE DU RÉSEAU DE BOUCLAGE

Comme évoqué plus haut, le réseau de bouclage représente un enjeu prioritaire pour les consommations d'ECS. Il est donc essentiel que le calorifuge soit très important et très soigné. Il peut être étudié de co-isoler l'aller et le retour de bouclage pour optimiser au maximum leur déperdition. Comme pour le chauffage, les fixations utilisées devront être pré-isolées pour assurer la continuité. L'objectif est de limiter la déperdition du bouclage à 7W/m.

#### MAUVAISE PRATIQUE



#### BONNES PRATIQUES



#### MAUVAISE PRATIQUE



#### BONNE PRATIQUE



## 4 | CHECK-LIST TOUT AU LONG DU PROJET

### PROGRAMME

- Bien définir les besoins en eau chaude : optimiser le nombre de points de puisage (les limiter au mieux).

### ESQUISSE

- Optimiser le réseau de distribution : rassembler et limiter les points de puisage, éviter le bouclage ou du moins sa longueur.

### APS

- Choisir un système de production ECS (favorisant la récupération de chaleur et/ou le solaire thermique).

### APD

- Bien dimensionner les installations (notamment solaires).

### PRO

- Choisir les organes permettant de diminuer la consommation en eau.
- Prescrire un bon calorifugeage afin de limiter les pertes thermiques.

### DURANT LE CHANTIER

- Soigner la mise en œuvre des éléments (calorifugeage des organes et du réseau).

## PARTIE 2

### MAÎTRISE DE LA DEMANDE EN ÉLECTRICITÉ

## 1 | GÉNÉRALITÉS

Les consommations spécifiques électriques, qu'elles soient prises en compte dans le calcul réglementaire (éclairage) ou non (ascenseurs, bureautique, électroménager etc.), sont devenues les consommations majoritaires dans les bâtiments comme on a pu le voir page 36 dans le calcul des consommations pour le projet de

Saint Doulchard, et sont en constante augmentation depuis 20 ans. Cette consommation en électricité peut être réduite en prenant certaines dispositions en phase de conception et en veillant à leurs bonnes mises en œuvre en phase chantier.

## 2 | CONCEPTION ET CHANTIER

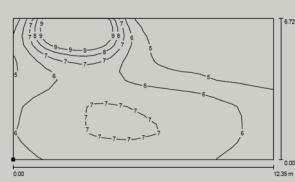
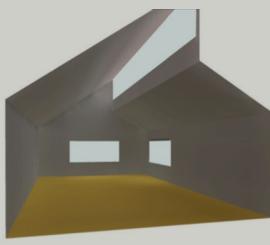
### OPTIMISER L'ÉCLAIRAGE NATUREL

L'éclairage naturel doit être étudié et optimisé dès les premiers coups de rayons par souci de confort et de réduction des consommations. Par exemple, le fait que les circulations d'immeubles soient éclairées naturellement permettrait de réduire la consommation en éclairage de ces parties de 35 à 50%.

Au début du projet (dès la phase APS), il est important de réaliser des études d'éclairage naturel (avec des logiciels comme Dialux, Daysim, Ecotech) pour travailler sur la quantité d'éclairage naturel (calcul du FLJ moyen) mais surtout sur sa qualité (homogénéité, traitement de l'éblouissement) pour les zones avec le plus d'enjeu. À titre d'exemple, pour des bureaux, un FLJ de 2% est correct avec un ratio FLJ minimum / FLJ moyen  $>0.3$  afin d'obtenir une homogénéité confortable.

**i** Le FLJ (Facteur de Lumière du Jour) représente le rapport entre l'éclairage naturel intérieur reçu et l'éclairage extérieur simultané sur une surface horizontale.

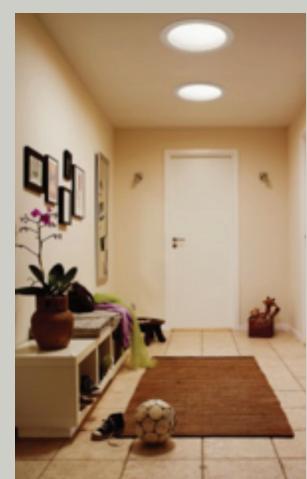
### EXEMPLE D'ÉTUDE D'ÉCLAIREMENT SOUS DIALUX



L'installation de puits de lumière peut être judicieuse pour des bâtiments très épais avec peu d'accès à la lumière du jour. Ils sont constitués de dômes permettant de capter la lumière qui est canalisée puis transférée à l'aide d'un tube avant d'être distribuée dans toute la pièce.



Principe d'un puits de lumière (type Solabec)



Puits de lumières – source Maison brico

### OPTIMISER L'ÉCLAIRAGE ARTIFICIEL POUR LIMITER LA PUISSANCE INSTALLÉE

En phase APD, les études d'éclairage naturel doivent être complétées par des études d'éclairage artificiel permettant de choisir les types de luminaires et leur disposition tout en optimisant la puissance d'éclairage installée. De manière générale, il convient de ne pas dépasser le seuil de  $2W/m^2.100lux$ .

Les consommations liées à l'éclairage extérieur ne sont pas à négliger et représentent un enjeu important. Par exemple, pour le projet de **construction de logements sociaux à Saint Doulchard (Résidence Alena)**, l'éclairage du parking comptait pour environ 10% de la consommation totale du bâtiment ce qui est dommage pour un bâtiment passif. Il faut donc chercher à obtenir des systèmes de régulation sur l'éclairage et éclairer uniquement aux endroits où cela est nécessaire (par exemple aux abords des cheminements PMR).

## PRÉVOIR DES TECHNOLOGIES DE LAMPES ET DE LUMINAIRES PERFORMANTS AFIN DE LIMITER LA PUISSANCE D'ÉCLAIRAGE

Pour chaque usage, des types de lampes performantes sont à prescrire afin de limiter les consommations énergétiques. Ces dernières années, de grandes avancées dans ce secteur ont permis de développer une gamme de produits performants notamment en technologie LED mais également pour les tubes fluorescents.



→ **La gamme des produits LED** s'est considérablement étoffée et les produits répondent de mieux en mieux aux attentes des usages concernant le spectre lumineux (similaire à celui de la lumière du jour), les types de luminaires (tubes, ampoules...) et la gamme de prix.

→ **Concernant la gamme du fluorescent**, les produits à ballasts électroniques et à cathodes froides se sont banalisés. Cela permet ainsi de ne plus craindre une consommation de veille importante ou une usure prématuée liée à un grand nombre d'allumages. Aujourd'hui, cette technologie permet d'avoir un flux lumineux élevé dès le démarrage (>70% du flux maximal).

## METTRE EN PLACE DES CONFIGURATIONS ADAPTÉES AU CONFORT DES USAGERS ET À LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Nous ne sommes pas tous égaux devant les perceptions de lumière et les niveaux de confort sont très différents d'une personne à l'autre. Par exemple pour les bureaux, la norme demande 300 lux ; certaines sources demandent 500 lux. Par conséquent, la plupart des concepteurs prévoit 500 lux partout, alors que la médecine de travail indique qu'une exposition prolongée à plus de 250 lux n'est pas souhaitable. La méthode la plus judicieuse pour le confort et la performance énergétique est de prévoir un éclairage de base homogène dans toute la salle de 200 lux. Ainsi, les bureaux peuvent se doter d'un éclairage d'appoint variable permettant d'obtenir sur le plan de travail un éclairage de 300 à 500 lux en fonction des besoins de l'usager.

## CHOISIR DES BLOCS AUTONOMES D'ÉCLAIRAGE POUR LA SÉCURITÉ À BASSE CONSOMMATION

Il est essentiel de mettre en place des BAES et des blocs d'ambiance à LED ayant une puissance de veille inférieure à 1W.



## PRÉVOIR UNE GESTION DE L'ÉCLAIRAGE EN FONCTION DE L'OCCUPATION ET DE L'ÉCLAIREMENT NATUREL

L'asservissement de l'éclairage à l'occupation est très fortement recommandé. Plusieurs systèmes tels que les minuteries ou les détecteurs de présence sont classiquement employés. Dans certains cas, les minuteries (positionnées en tableau) sont davantage conseillées pour leur facilité d'utilisation, alors que les détecteurs de présence sont parfois difficiles à régler ou occasionnent des allumages intempestifs. De plus, la consommation des détecteurs de présence en veille peut être de 1W à 3W, ils sont donc à éviter dans les locaux peu occupés car la consommation de veille deviendrait supérieure à la consommation du luminaire !

De manière générale, pour chaque type de locaux et d'usage correspond un type de gestion d'éclairage adapté. Comme évoqué dans la dernière partie de ce guide, il faudra tout de même veiller à ne pas entrer dans une surenchère technologique (du tout automatique) qui inhibe la responsabilité de l'utilisateur et complique fortement la maintenance de petits équipements.

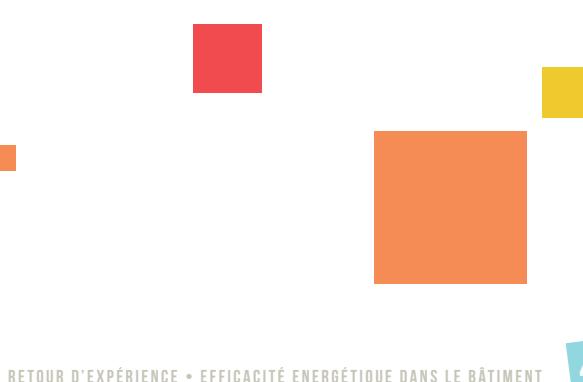
## SYSTÈMES DE RÉGULATION POUR L'ÉCLAIRAGE



## PRÉVOIR DES ASCENSEURS PERFORMANTS

Les ascenseurs possèdent également une part non négligeable dans les consommations énergétiques. Il est important de prescrire quelques règles les concernant :

- Ne pas sur dimensionner les cabines.
- Choisir des ascenseurs performants à câble et contrepoids qui consomment trois fois moins que les systèmes à vérin hydraulique.
- Choisir un moteur à vitesse variable permettant une réduction de la consommation de 30 à 42%.
- Choisir des systèmes à transmission directe sans réducteur de vitesse.
- Employer des systèmes de motorisation performants (par exemple ReGen Drive permet de restituer l'énergie produite par l'ascenseur au réseau électrique de l'immeuble).



## AUTRES CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES SPÉCIFIQUES

### Pour le logement :

Le tableau ci-dessous résume les consommations annuelles des principaux appareils domestiques (résultats de campagnes de mesures). La multiplication de ces appareils, de plus en plus présents dans notre quotidien, est pour beaucoup dans l'augmentation de la part des consommations électriques spécifiques pour les ménages. Connaître leurs consommations est la première étape pour réaliser l'enjeu de leur utilisation et mieux maîtriser la demande en électricité.

Les principales préconisations pour limiter les consommations d'électricité spécifiques des logements sont :

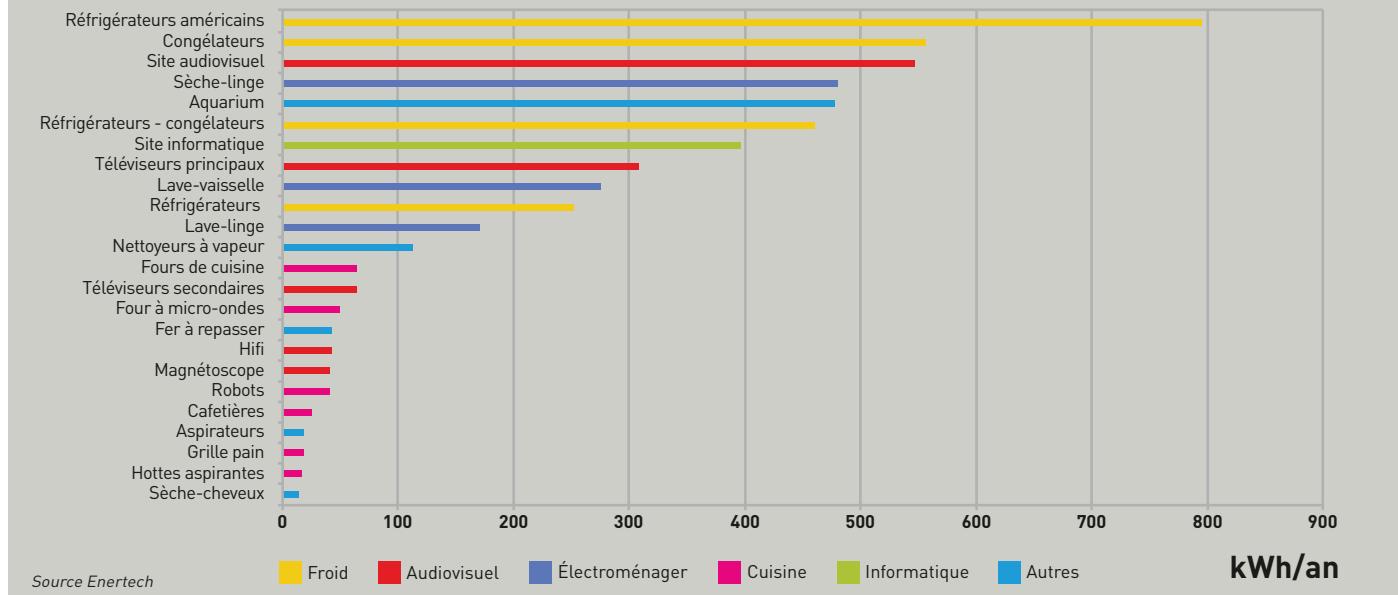
→ **Prévoir une prise commandée par un interrupteur dans le séjour** dans le but d'éteindre les appareils susceptibles d'être en veille, comme la télévision, le lecteur DVD, la chaîne HiFi. Certaines

veilles sont supérieures à 10W et la consommation de veille est parfois supérieure à la consommation en fonctionnement.

→ **Alimenter les lave-vaisselle et lave-linge en eau chaude sanitaire** afin de réduire considérablement les consommations électriques, surtout si l'eau chaude est produite par un système vertueux (ECS solaire, ou chaufferie bois). D'après une étude du BET AMOES, les lave-vaisselle et les lave-linge consomment 55% moins d'électricité s'ils sont alimentés par de l'eau chaude plutôt que de l'eau froide. Contrairement au lave-linge, il n'est pas forcément nécessaire d'avoir un produit adapté pour le lave-vaisselle.

→ **Prévoir des locaux pour permettre aux usagers le séchage naturel du linge en toute saison.** La consommation des séche-linge est un vrai enjeu pour la maîtrise de la demande en électricité. Il est donc très intéressant de prévoir des espaces adaptés au séchage naturel du linge dans les appartements : des celliers ventilables ou des zones dans des espaces tampons (type loggia).

## CONSOMMATIONS ANNUELLES MOYENNES DES APPAREILS ÉLECTRO-DOMESTIQUES EN LOGEMENT



### Pour le tertiaire :

Pour les bâtiments de bureaux, la consommation d'électricité spécifique est **le gros enjeu et ceci à deux titres** : réduire d'une part la consommation électrique bien-sûr, mais également limiter les besoins de refroidissement car ces consommations électriques se traduisent thermiquement en apports de chaleur contribuant grandement aux surchauffes.

→ Mettre en place une politique de renouvellement du matériel informatique par des produits performants sans pour autant trop accélérer le remplacement des ordinateurs (à cause de leur énergie grise et de leur impact environnemental important dû à leur fabrication). Favoriser de manière générale des ordinateurs portables moins consommateurs que les ordinateurs fixes par exemple.

→ Travailler fortement sur l'optimisation énergétique des salles serveurs. Leur performance énergétique est quantifiée à l'aide du PUE (Power Usage Effectiveness) qui est compris entre 1.2 et 1.5 pour une salle performante.



Le PUE correspond au rapport de la consommation totale de la salle par la consommation des postes informatiques. Il est utilisé pour quantifier la performance énergétique d'une salle serveur.

Pour atteindre ces objectifs, il est important :

- De choisir d'une part des serveurs très performants (basse consommation).
- De prévoir des systèmes de refroidissement en freecooling c'est-à-dire une utilisation de l'air extérieur pour refroidir une bonne partie de l'année la salle serveur.
- De réfléchir à la mise en place d'une récupération de chaleur pour chauffer le reste du bâtiment sur le groupe froid quand celui-ci est nécessaire.
- Un engagement des usagers (règlement intérieur) peut également être mis en place.
- Mettre en place une stratégie d'extinction des veilles : par exemple à partir d'une certaine heure, prévoir au niveau de la GTC, la coupure de certaines prises de courant et de l'éclairage.
- Mettre en place une charte signée par les preneurs des locaux reprenant les principaux éléments à respecter pour limiter la consommation énergétique.



### 3 | CHECK-LIST TOUT AU LONG DU PROJET

#### ESQUISSE

- Prévoir des zones adaptées pour le séchage naturel du linge en logement.

#### APS

- Étudier les possibilités d'éclairage naturel.

#### APD

- Optimiser l'éclairage artificiel et prévoir des luminaires performants et adaptés.
- Prévoir une gestion de l'éclairage adaptée à chaque zone.
- Prévoir des dispositions pour limiter au mieux les consommations d'électricité spécifique (salles serveurs, l'extinction de veilles, prises commandées...).

#### PRO

- Choisir des produits performants (BAES, ascenseur, etc.).

#### PRÉPARATION DE CHANTIER

- Soigner la mise en œuvre tout en respectant les préconisations de la MOE.

#### DURANT LE CHANTIER

- Vérifier les niveaux d'éclairage et le bon fonctionnement des détecteurs et de la durée des temporisations.

# PARTIE 3

## DE LA MISE AU POINT À L'EXPLOITATION

Dans cette partie, sont exposés les enseignements tirés des projets pour lesquels ont été capitalisés les relevés de consommations et des problèmes de mise au point.

Dans un 1<sup>er</sup> temps, on abordera l'importance de la phase de mise au point et l'impact de cette phase sur les consommations du bâtiment. On pourra utiliser les relevés de consommations sur les premiers mois qui témoigneront du travail d'optimisation du fonctionnement des équipements.

L'objectif étant que le bâtiment adopte la bonne trajectoire énergétique le plus tôt possible.

Dans un 2<sup>ème</sup> temps seront abordés les points de vigilance pour maintenir, sur la durée, une performance énergétique en phase exploitation : les coûts d'exploitation (énergie, entretien-maintenance), le confort, les écarts de fonctionnement entre ce qui était prévu en conception et ce qui est mesuré/constaté, les dysfonctionnements liés aux choix de conception...

### 1 | MISE AU POINT

#### CONSACRER UNE PÉRIODE SUFFISAMMENT LONGUE DE MISE AU POINT

Cette étape finale est indispensable avant réception et livraison du bâtiment mais elle est très souvent négligée notamment quand la réalisation de l'ouvrage a pris du retard sur le programme. Pourtant, il est primordial de vérifier le bon réglage de l'ensemble des équipements car de mauvais paramétrages peuvent engendrer des problèmes d'inconfort et des performances énergétiques qui ne correspondent pas aux attentes. Il est toujours plus compliqué de faire une mise au point quand les usagers du bâtiment sont installés. Bref l'ensemble des acteurs du projet (MOA, MOE, artisans, exploitants) doivent laisser suffisamment de temps afin de réaliser une mise au point complète, optimale et de qualité.

#### 1.1 | VENTILATION

##### MESURE DES DÉBITS DE VENTILATION ET ÉQUILIBRAGE AÉRAULIQUE

Le dimensionnement des équipements de ventilation est à étudier finement et leur mise en œuvre doit être soignée car ces équipements sont coûteux, contribuent à la performance énergétique de l'ouvrage et surtout sont nécessaire pour assurer une bonne qualité de l'air intérieur. Or il est très souvent constaté que l'étape de mise au point, qui consiste à équilibrer le réseau et à s'assurer que le débit est bien celui attendu au niveau de chaque bouche, est souvent bâclée. En résumé, le maître d'ouvrage consent à faire un effort financier conséquent dans l'achat d'un équipement censé ventiler correctement le bâtiment et lui apporter des économies d'énergie (et donc financières) mais ces efforts et attentes peuvent être rapidement annihilés par une mauvaise mise au point.

Conséquence : un confort et une qualité sanitaire potentiellement dégradés et des économies d'énergie pas vraiment au rendez-vous.

Il est donc indispensable que l'entreprise réalise les essais DIAGVENT et que la maîtrise d'œuvre soit très attentive à la réalisation de ces tests.

Il devra donc être mesuré :

→ Les débits d'air à chaque bouche de ventilation et/ou aux principales branches de ventilation

- Les vitesses d'air résultantes dans les zones (notamment au niveau des postes de travail)
- Les consommations électriques de la CTA pour le débit nominal
- Les pertes de charge aux bornes de la CTA (pour vérifier si elle est cohérente avec celle calculée en phase EXE)

#### MESURES DES DÉBITS ET DES VITESSES D'AIR POUR LA MISE AU POINT DE L'INSTALLATION



Anémomètre à fil chaud avec un cône pour la mesure des débits aux petites bouches - AMOES



Ballomètre permettant de mesurer des débits pour de grandes bouches - AMOES



Anémomètre multidirectionnel pour mesurer les vitesses d'air résultantes dans une zone - AMOES

#### VÉRIFIER LA QUALITÉ ACoustIQUE DE LA VENTILATION

Un des grands enjeux du système de ventilation est sa qualité acoustique. Si le travail n'a pas été correctement effectué ou si les moyens mis en œuvre ont été insuffisants, le bruit occasionné par la ventilation peut la rendre inconfortable voire inutilisable (le MOA pourrait être amené à arrêter la ventilation ou obturer les bouches incriminées). Il est donc essentiel de contrôler dans chaque pièce le bruit de la ventilation par un sonomètre.



Exemple de pièce à son (rénovation de bureaux BRGM, à Orléans)



Objectifs acoustiques principaux - AMOES

## ASSERVISSEMENT DES VENTILATEURS À L'OCCUPATION

Dans les bâtiments tertiaires principalement, l'occupation est intermittente. Afin d'optimiser les consommations de chauffage et des ventilateurs, il est nécessaire que les débits de ventilation soient asservis à l'occupation. Cette asservissement doit être contrôlé : mesure du petit et du grand débit, temporisation, efficacité de la détection (sonde CO2, de présence, etc.).

## 1.2 | CHAUFFAGE ET EAU CHAUTE SANITAIRE

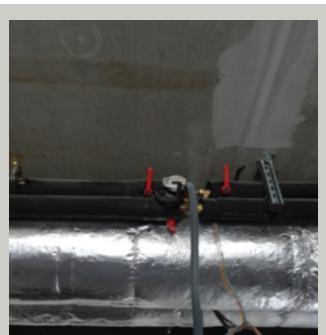
### VÉRIFICATION DE LA MISE EN ŒUVRE CORRECTE ET DU FONCTIONNEMENT DES COMPTAGES ADAPTÉS POUR FACILITER LA PÉRIODE DE RÉGLAGE

Afin de mettre au point la partie comptage, il est nécessaire de prévoir un compteur par départ de chauffage, un compteur de chaleur pour la production d'ECS et un compteur volumétrique pour le puisage ECS. Les compteurs de chaleur et de gaz avec renvoi d'impulsions sont préconisés car ils permettent de mesurer de façon régulière tout au long de l'année et ainsi mieux cerner les éventuels dysfonctionnements. Il faut néanmoins prendre garde à bien régler le poids d'impulsion, c'est-à-dire l'intervalle de quantité d'énergie entre chaque impulsion, en fonction de l'usage du compteur. Par exemple une impulsion tous les 10 Wh (ce qui est assez classique), pour un compteur de chaleur d'un bâtiment de taille moyenne, n'est pas suffisamment précis pour comprendre le comportement du système de chauffage.

Après installation, la vérification du bon fonctionnement de tous les compteurs doit être effectuée.



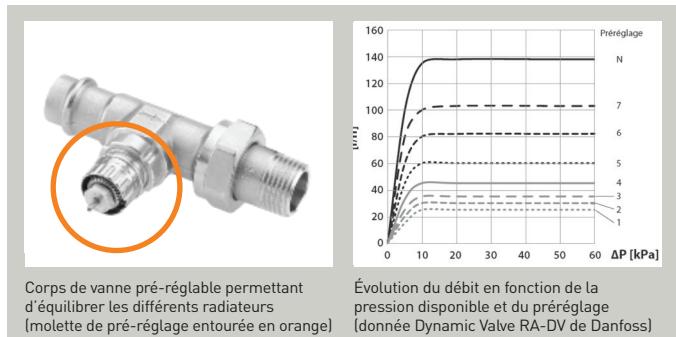
Compteur gaz à impulsions, source COSTIC



Compteur mal placé car difficile d'accès (dans le faux plafond) **Maison du Bâtiment du Loiret à Olivet**

### ÉQUILIBRAGE DU RÉSEAU DE CHAUFFAGE PAR LE RÉGLAGE DES CORPS DE VANNES ET MESURES DES DÉBITS POUR CHAQUE RÉSEAU DE CHAUFFAGE

Tout comme pour la partie ventilation, la répartition adaptée du débit total dans les différents émetteurs est primordiale. Un déséquilibre peut conduire à des problèmes d'inconfort (problèmes de chauffage de certaines pièces). Pour faciliter l'équilibrage du réseau, on préférera des organes d'équilibrage tels que les corps de vannes pré-réglables au niveau des radiateurs qui permettent de faire varier le Kv de la vanne et donc de régler assez facilement le débit tout en lui assurant une bonne autorité (et donc une bonne réactivité du robinet thermostatique). Dernièrement de nouveaux corps de vannes « auto-équilibrant » sont sortis et permettent de simplifier encore plus l'équilibrage du réseau : ils permettent en fait d'assurer un débit constant sur une large plage de pression et faire varier ce débit en fonction du pré-réglage.

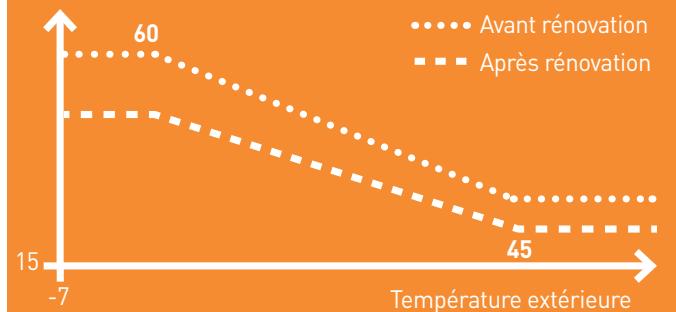


### RÉGLAGE DE L'ÉMISSION DE CHAUFFAGE : TRAVAIL SUR LA LOI D'EAU, ÉQUILIBRAGE DU RÉSEAU

En mettant en route le chauffage, la mise au point de la loi d'eau est indispensable notamment pour les projets où leur enveloppe thermique a été rénovée sans modifier leur émetteur de chaleur. Par exemple, la rénovation de l'**école de Rochecorbon (fiche n°2)** et la rénovation des bâtiments de la **CNAV à Tours (fiche n°4)** étaient basées sur une baisse forte des besoins de chauffage (isolation forte des parois, changement des menuiseries, mise en place d'une ventilation performante) sans toucher de manière conséquente au chauffage. Pour profiter des gains apportés par la rénovation énergétique, il est donc nécessaire de régler la température de départ de chauffage pour que la puissance d'émission soit en corrélation avec les nouveaux besoins du bâtiment. Il est également important d'équilibrer le réseau pour obtenir les débits adaptés à chaque branche et homogénéiser les chutes de températures.

### LA LOI D'EAU DÉFINIT LA TEMPÉRATURE DE DÉPART DE CHAUFFAGE EN FONCTION DE LA TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE

Température de départ de chauffage



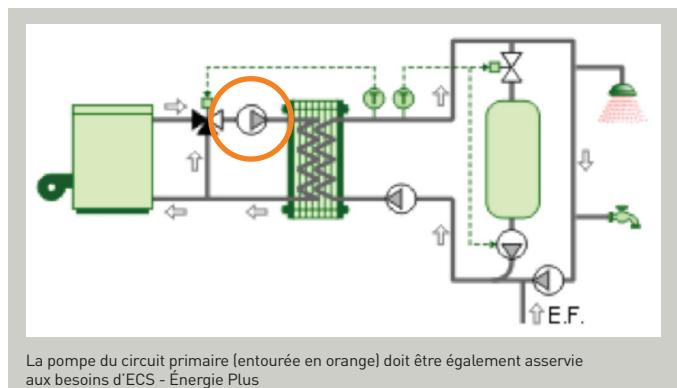
### ASSERVISSEMENT DES POMPES DE DISTRIBUTION DE CHAUFFAGE SUR UNE TEMPÉRATURE EXTÉRIEURE DE NON-CHAUFFAGE



L'intérêt d'un bâtiment bien isolé est de faire fonctionner le chauffage sur une période plus courte. Il est donc essentiel de mettre en

place une régulation qui permettra d'arrêter les pompes de chauffage au-dessus d'une certaine température extérieure « dite de non chauffage » (par exemple 14°C). Cette disposition très simple est hélas peu mise en place : elle permet pourtant de limiter grandement la consommation des pompes et la consommation de chauffage car, même s'il n'y a pas de besoin de chauffage, l'eau refroidit simplement en circulant. Dans des cas encore plus problématiques, c'est la batterie chaude de la CTA (parfois située à l'extérieur) qui est alimentée en permanence alors que la CTA ne fonctionne pas. Le gaspillage d'énergie dans ce cas est donc vraiment important.

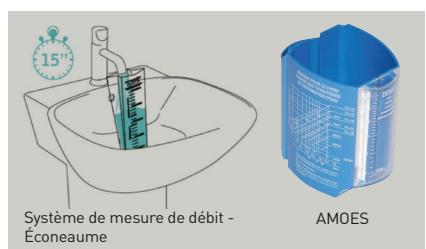
### ASSERVISSEMENT DES POMPES DU CIRCUIT DE PRODUCTION D'ECS À LA DEMANDE D'EAU CHAude SANITAIRE (ECS)



De la même manière que pour le chauffage, l'asservissement des pompes de production d'ECS sur les besoins est une mesure simple et à fort impact sur la réduction des consommations énergétiques des pompes. Par exemple, lorsque l'échangeur de chaleur pour la production d'ECS est un échangeur à plaques externes, il arrive de constater que la pompe sur le réseau primaire fonctionne en permanence. Il est important que son fonctionnement soit asservi à la température de l'eau dans le ballon.

### POSITIONNER CORRECTEMENT LA SONDE DANS LE BALLON ECS

La sonde sert à réguler le départ ECS, elle doit être implantée dans un doigt de gant au niveau de l'échangeur (soit dans la partie 1/3 inférieure du ballon). En effet, si la sonde est placée en haut du ballon, l'appoint va s'enclencher quand il n'y aura plus d'eau chaude disponible. Si il s'en suit un important tirage d'eau chaude, la chaudière ne pourra pas fournir la quantité d'ECS nécessaire.



### CONTRÔLE DES DÉBITS D'EAU AUX POINTS DE PUISAGE

Comme pour les débits de ventilation, il est nécessaire de contrôler les débits d'eau au niveau des points de puisage pour vérifier que les limitateurs de débits ont bien été mis en place.

### ARRÊT DU RÉSEAU DE BOUCLAGE D'ECS

Pour des bâtiments avec de longues périodes d'inoccupation (comme des écoles pendant les vacances scolaires), il est très important pour limiter les consommations énergétiques de prévoir un arrêt du bouclage d'ECS et son redémarrage un jour avant la réouverture de l'établissement.

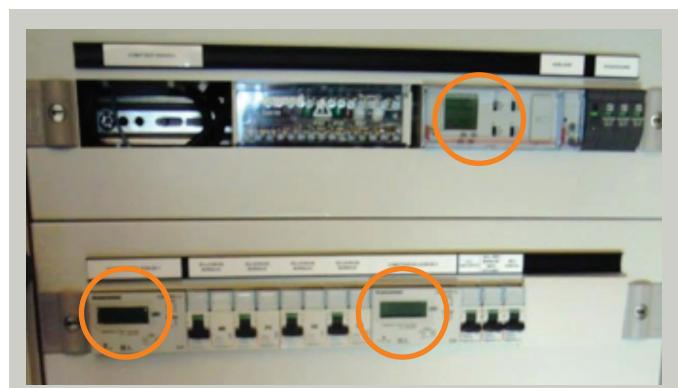
### AJUSTER AU MIEUX LES TEMPÉRATURES DE STOCKAGE D'ECS (ÉVITER QU'ELLES SOIENT TROP ÉLEVÉES)

Plus les températures sont élevées et plus les pertes sont conséquentes. Pour un stockage centralisé, la température doit être maintenue à plus de 55°C en permanence et la température dans le bouclage de distribution toujours supérieure à 50°C. Pour les petites distributions décentralisées (par exemple les petits ballons de 30L électriques utilisés pour les lave-mains qui ne sont pas soumis à la réglementation légionnelle), il est possible d'abaisser la température de stockage à 30°C, limitant ainsi fortement les consommations électriques des ballons et évitant au passage les risques de brûlure.

## 1.3 | AUTRES CONSOMMATIONS ÉLECTRIQUES

### LES GTC SONT TROP SOUVENT MAL PARAMÉTRÉES

Les GTC (Gestion Technique Centralisée) ou GTB (Gestion Technique du Bâtiment) sont installées de plus en plus couramment. Elles permettent d'assurer un bon nombre de régulations et des remontées d'informations. Cependant, elles restent aujourd'hui difficilement à la portée d'un certain nombre d'utilisateurs notamment les petites collectivités. Il faut donc se méfier de la surenchère technologique pour des projets qui demandent une utilisation et une gestion simple. Il est en effet trop courant que la GTC ne fonctionne pas correctement car son utilisation est trop délicate ou bien parce qu'elle n'a jamais été correctement mise au point par l'entreprise. **Sur un projet de construction d'une école dans le Loiret**, le bâtiment a été livré avec une GTC non paramétrée, entraînant une surconsommation énergétique. **Une formation des agents gestionnaires de la GTC est indispensable.**



Compteur divisionnaire avec sous-comptages électriques – **rénovation de bureaux BRGM, Orléans**

### VÉRIFICATION DE LA MISE EN ŒUVRE CORRECTE ET DU FONCTIONNEMENT DES COMPTEURS ÉLECTRIQUES

Des sous-compteurs sont à positionner sur les grands postes électriques tels que la ventilation, la chaufferie, l'ascenseur, l'éclairage des locaux communs et extérieurs. Ils doivent être accessibles afin de faciliter les relevés dans certains cas. Le bon fonctionnement de ces compteurs est à vérifier lors de la mise au point du bâtiment afin de pouvoir l'exploiter correctement. Les consommations mesurées par ces compteurs peuvent être renvoyées à la GTC ou bien doivent être relevées manuellement par l'exploitant à intervalles réguliers.

## VÉRIFICATION DE LA BONNE MISE EN ŒUVRE ET DES RÉGLAGES CONCERNANT LES DÉTECTEURS DE PRÉSENCE

Utilisés pour l'éclairage et dans certains cas pour la ventilation, le paramétrage des détecteurs de présence doit être fait de manière scrupuleuse :

→ Le type et la position du détecteur doivent être correctement mis au point pour que le champ de détection corresponde à la régulation recherchée.

Pour les grands volumes, comme les parkings en sous-sol, des détecteurs acoustiques sont parfois mieux adaptés que les

détecteurs infra-rouge. La consommation de veille du détecteur doit également être prise en considération dans le choix du modèle car il peut arriver que pour certaines pièces très peu occupées, la consommation du détecteur soit plus élevée que la consommation de l'éclairage !

→ La temporisation : la temporisation, suite à la détection notamment de l'éclairage, est souvent mal réglée et pas forcément adaptée. Il est courant que l'éclairage des couloirs reste allumé longtemps après le passage des usagers (parfois plusieurs minutes). Pour chaque détecteur, le réglage de la temporisation doit être ajusté au mieux.

## 2 | EXPLOITATION

### RÉALISATION D'UN GUIDE D'UTILISATEUR REPRENANT, POUR CHAQUE ORGANE, LA MAINTENANCE NÉCESSAIRE

Dans le but de faciliter le travail aux futurs exploitants techniques, un Dossier d'Exploitation Maintenance (DEM) doit être réalisé. Dans certains cas, il est même demandé par la Maîtrise d'Ouvrage. Il contient les éléments nécessaires pour la compréhension du fonctionnement du bâtiment, de ses différents systèmes techniques et de leur maintenance associée. Le futur mainteneur pourra alors s'y référer dans le but de préparer la réalisation des interventions d'exploitation et de maintenance.

### SUIVI DES CONSOMMATIONS DE MANIÈRE MENSUELLE : RELEVÉ DES COMPTEURS ET SOUS COMPTEURS ET IDENTIFICATION

Le suivi énergétique représente une partie primordiale dans l'exploitation du bâtiment. Afin de mieux identifier les éventuelles dérives quand ce n'est pas prévu par la GTC, il est important de relever mensuellement les compteurs et les sous-compteurs puis d'analyser ces informations. Ainsi, les écarts entre consommations réelles et théoriques pourront être étudiés dès le début de l'exploitation (facilitant aussi la mise au point).

### SUIVI QUALITATIF DE LA QUALITÉ DE L'AIR

Il est important de rester vigilant sur la qualité de l'air du bâtiment. Sans forcément réaliser des mesures poussées, se renseigner auprès des utilisateurs sur l'évolution de leur ressenti sur la qualité de l'air (manque d'air, odeurs de renfermé, parfois maux de têtes) est nécessaire, ils sont les signes d'un mauvais fonctionnement du système de ventilation.

### ENTRETIEN DU SYSTÈME DE TRAITEMENT D'AIR : CHANGEMENT DES FILTRES TOUS LES 6 MOIS ET NETTOYAGE DES BOUCHES

Les filtres de CTA sont à changer tous les 6 mois et les bouches sont à nettoyer annuellement. En effet, ils s'encaissent ce qui tend à faire diminuer les débits d'air et peut créer un déséquilibre des réseaux aérauliques.



### ENTRETIEN DES SONDES DE RÉGULATION

Les sondes peuvent être défectueuses et engendrer de graves problèmes de régulation. Il arrive même sur des opérations qu'elles soient déplacées parfois à des endroits inadaptés : par exemple près de bouches d'extraction d'air pour les sondes de températures d'air. Dans ce cas, la mesure est fortement faussée et les chaudières ne fonctionnent plus correctement. Il est donc essentiel de manière régulière de vérifier le fonctionnement de chaque sonde et si elles sont bien positionnées.

### TOUS LES ANS, RÉALISER UNE CHECK-LIST POUR VÉRIFIER QUE LES RÉGLAGES INITIAUX N'ONT PAS ÉTÉ MODIFIÉS

Contrôler si les réglages initiaux n'ont pas été modifiés (Loi d'eau, Température de production d'ECS, débits des corps de vannes pré-réglables).

Enfin, il est fortement recommandé de recourir à une « AMO suivi énergétique » car l'analyse des données de suivi de consommation peut être assez complexe à interpréter.

### 3 | EXEMPLE DE CETTE CHECK-LIST ET CARNET D'ENTRETIEN

(SPÉCIFIQUE À LA PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE)

ACTION D'ENTRETIEN-MAINTENANCE À EFFECTUER	FRÉQUENCE
<input type="checkbox"/> Contrôle de la chaudière	Bimensuel
<input type="checkbox"/> Relevés des différents compteurs	Mensuel
<input type="checkbox"/> Mise en place de sel et nettoyage du filtre pour l'adoucisseur	Trimestriel suivant la consommation d'eau
<input type="checkbox"/> Remplacer les filtres de CTA	Tous les 4 à 6 mois
<input type="checkbox"/> Nettoyer les bouches, grilles intérieures et extérieures	Annuel
<input type="checkbox"/> Nettoyer les aubes des ventilateurs et vérifier les courroies	Annuel
<input type="checkbox"/> Nettoyer et vérifier l'échangeur	Annuel
<input type="checkbox"/> Maintenir l'étanchéité à l'air des menuiseries en nettoyant et vérifiant les joints, vérifier les fermetures et graisser les gonds	Annuel
<input type="checkbox"/> Vérifier l'asservissement à l'occupation pour chauffage et ECS	Annuel
<input type="checkbox"/> Remettre du produit anti-corrosion et filmogène dans le réseau de chauffage	Annuel
<input type="checkbox"/> Vérifier le fonctionnement du ballon ECS en chufferie	Annuel
<input type="checkbox"/> Remplacer le filtre à tamis avant d'entrer en période de chauffe	Annuel
<input type="checkbox"/> Purge de la tuyauterie des radiateurs et batterie à eau chaude	Annuel
<input type="checkbox"/> Nettoyer les luminaires afin de garantir une bonne performance de l'éclairement	Annuel

# GLOSSAIRE

- **AAP** : Appel À Projets
- **EEB** : Efficacité Energétique dans les Bâtiments
- **HQE** : Haute Qualité Environnementale
- **FEDER** : Fonds Européen de Développement Régional
- **BEPOS** : Bâtiment à Énergie Positive
- **APS** : Avant Projet Sommaire
- **APD** : Avant Projet Détailé
- **DCE** : Document de Consultation des Entreprises
- **MOE** : Maître d'Œuvre
- **MOA** : Maître d'Ouvrage
- **SHAB** : Surface HABitable
- **PHPP** : Passive House Planning Package
- **BET** : Bureau d'Étude Thermique
- **BBC** : Bâtiment Basse Consommation
- **PSE** : PolyStyrène Expansé
- **CVC** : Climatisation Ventilation Chauffage
- **VRD** : Voirie et Réseaux Divers
- **RT** : Réglementation Thermique
- **COP** : Coefficient de Performance
- **PAC** : Pompe À Chaleur
- **Tube PER** : Tube PolyEthylène Réticulé

- **Phase EXE** : phase d'Études d'EXécution
- **Règles TH-U** : règles de détermination des paramètres d'entrée du bâti à utiliser pour le calcul des déperditions par transmission à travers les parois déperditives, pour les bâtiments existants achevés après 1948
- **STR-U** : Solution Technique de Référence (ou Universelle) : solution de rénovation massive mise au point par le BET Enertech, fixant des niveaux d'isolation et des moyens techniques à mettre en œuvre
- **ITE** : Isolation Thermique par l'Extérieur
- **ITI** : Isolation Thermique par l'Intérieur
- **WUFI** : Wärme Und Feuchte Instationär (logiciel de calcul de migration d'humidité dans les murs)
- **PMR** : Personne à Mobilité Réduite
- **COV** : Composés Organiques Volatils
- **OQAI** : Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur
- **CTA** : Centrale de Traitement d'Air
- **OSB** : Oriented Strand Board (panneau en bois de particule)
- **BAES** : Blocs Autonome d'Éclairage de Sécurité
- **DIAGVENT** : DIAGnostic des installations de VENTilation
- **GTC** : Gestion technique Centralisée
- **GTB** : Gestion Technique du Bâtiment
- **PUE** : Power Usage Effectiveness
- **STD** : Simulation Thermique Dynamique
- **FLJ** : Facteur de Lumière du Jour

## WEBOGRAPHIE, BIBLIOGRAPHIE

### Sites internet :

- Sites des entreprises pour les exemples de produits
- Energie Plus : <http://www.energieplus-lesite.be/>
  - Enertech : <http://www.enertech.fr/>
  - Le Costic: <http://www.costic.com/>

- Études AMOES (Simulation Thermique Dynamique, études d'éclairage, études des consommations poste par poste, études de ponts thermiques, note technique sur un système de récupération de chaleur sur eaux grises)
- Étude de Physibel

# LISTE ET INTITULÉS DES PROJETS LAURÉATS DE L'AAP EEB DE 2007 À 2014

- WIRECOM - Ecosm - Orléans (45) - Construction de Bureaux - Lauréat 2007
- Commune de Cloyes-sur-le-loir (28) - Espace Michel Blais - Rénovation d'une salle associative - Lauréat 2007
- GESEC - Tours (37) - rénovation de bureaux - Lauréat 2008
- SOLERGIE - ECO'NRJ - Amboise (37) - construction d'un commerce - Lauréat 2008
- Ville de Vendôme (41) - Salle Jules Ferry - Rénovation de locaux associatifs - Lauréat 2009
- Centre d'études et de recherche de l'industrie du béton - EnerGe - Epernon (28) - Construction de bureaux et laboratoires - Lauréat 2009
- Ville d'Orléans (45) - École Olympia Cormier - Rénovation d'une école primaire - Lauréat 2009
- ICF Atlantique - Résidence le petit Plessis - La Riche (37) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2009
- Conseil Départemental du Cher - Centre médico-social - St Amand (18) - Rénovation de bureaux - Lauréat 2009
- Ville de Lamotte Beuvron (41) - Mairie - Rénovation de bureaux - Lauréat 2009
- VALLOGIS - résidence Troussé Barrière - Briare (45) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2009
- VALLOGIS - résidence Les tilleuls - Bellegarde (45) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2009
- Tours Habitat - Résidence Jacques Brel - Tours (37) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2009
- PACT 41 - Résidence Bel Air - Blois (41) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2009
- SCI Oxygène - Oxygène - Chartres (28) - Construction de bureaux - Lauréat 2009
- Val Touraine Habitat - Résidence James Pradier - Joué les Tours (37) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2009
- Commune St Hilaire St Mesmin (45) - Les vergers - Construction d'une école maternelle - Lauréat 2010
- Association services solidaires du Cher - Le petit poucet - Bourges (18) - Construction d'un crèche - Lauréat 2010
- Commune de St Jean le Blanc (45) - Salle des fêtes de Montission - Espace scénique - Lauréat 2010
- Commune de Unverre (28) - Construction/extension d'une école maternelle et élémentaire - Lauréat 2010
- Commune du Magny (36) - École Jean Moulin - Construction/extension d'une école maternelle et élémentaire - Lauréat 2010
- Nouveau Logis Centre Limousin - Résidence Les Magnolias - St Jean de Braye (45) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2010
- Ville de Châteauroux (36) - La petite Garenne - Construction d'ateliers/bureaux municipaux - Lauréat 2010
- Tours Habitat - Résidence Fontaine Potier - Tours (37) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2010
- Commune de Fondettes (37) - École Françoise Dolto - Construction d'un restaurant scolaire - Lauréat 2010
- Commune de Fossé (41) - Construction d'un complexe intergénérationnel - Lauréat 2010
- Artprom - La Nef - Tours (37) - Restructuration d'un ancien centre de tri en logements et bureaux - Lauréat 2010
- Commune de Pernay (37) - Construction d'un centre commercial - Lauréat 2010
- France Loire - Résidence Alena - St Doulchard (18) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2010
- Commune de Chalette-sur-Loing (45) - École du Bourg - Construction d'une école maternelle et élémentaire - Lauréat 2010
- Communauté de Communes du Malesherbois - Maison de l'enfance - Malesherbes (45) - Construction d'un accueil enfance - Lauréat 2010
- Commune de Rochecorbon (37) - Rénovation d'une école primaire - Lauréat 2010
- Syndicat de copropriété de la maison du bâtiment - Maison du bâtiment - Tours (37) - Rénovation de bureaux - Lauréat 2011
- Caisse Nationale d'Assurance Vieillesse - Site de Tours - Tours (37) - Rénovation de bureaux - Lauréat 2011
- SA Jacques Gabriel - Résidence St Marc - Romorantin (41) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2012
- Bureau de Recherche Géologique et Minier - Site d'Orléans la Source bâtiment D4 - Orléans la Source (45) - Rénovation de bureaux - Lauréat 2012
- Fédération Française du bâtiment du Loiret - Maison du bâtiment - Olivet (45) - Construction de bureaux - Lauréat 2012
- Habitat Eurélien - résidence les Béguines - Rénovation de logements sociaux - Lucé (28) - Lauréat 2012
- SA Jacques GABRIEL - Bat P quartier Kennedy - Rénovation de logements sociaux - Blois (41) - Lauréat 2012
- SA Jacques GABRIEL - Bat B1/B2 quartier Croix Chevalier - Blois (41) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2012
- TOURAINE LOGEMENT ESH - résidence du 8 mai 1945 - La riche (45) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2012
- TOURAINE LOGEMENT ESH - résidence les mastabas - St Pierre-des-Corps (37) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2012
- LES RESIDENCES DE L'ORLEANAI - quartier de l'Argonne Tours T - Orléans (45) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2012
- VAL TOURAINE HABITAT - résidence Sainte Radegonde - Chinon (37) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2012
- VAL TOURAINE HABITAT - Quartier la Rabatterie tours de l'Aubrière - St Pierre-des-Corps - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2012
- VALLOGIS - Résidence circuit des roses - Puisieux (45) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2012
- SA Jacques GABRIEL - Bat V10/V13 quartier Croix Chevalier - Blois (41) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2012
- SA Jacques GABRIEL - Bat V10/V13 quartier Croix Chevalier - Blois (41) - Rénovation de logements sociaux - Lauréat 2012
- Copropriété la prairie - résidence la prairie - St Jean de la ruelle (45) - Rénovation de logements privés - Lauréat 2013
- GRAPHIVAL - Ballan-Miré - Rénovation de bureaux/ateliers - Lauréat 2014
- Conseil Départemental du Loir-et-Cher - Collège Marie Curie - rénovation d'un collège - Lauréat 2014
- Conseil Départemental du Loir-et-Cher - Rénovation des archives départementales - Blois - Lauréat 2014

# REMERCIEMENTS

## AUX PERSONNES DU GROUPE DE TRAVAIL AYANT CONTRIBUÉ À LA RÉALISATION DE CE GUIDE

**Vincent Coste (AMOES), Audrey Chesneau (AMOES), Mickael Lajeunesse (ENVIROBAT Centre), Thierry Barras (ADEME), William Palis (Conseil régional du Centre-Val de Loire), Antoine Place (Conseil régional du Centre-Val de Loire), Maud Béraud (ADEME Centre), ...**

Ainsi qu'aux équipes lauréates des Appels à Projets : maîtres d'ouvrage, architectes, bureaux d'études, artisans et entreprises du bâtiment ; pour leur engagement et leur collaboration notamment les équipes des projets suivants :

- Val Touraine Habitat – Résidence James Pradier – Joué les Tours (37) – Construction de logements sociaux - Lauréat 2009
- Commune St Hilaire St Mesmin (45) – Les vergers - Construction d'une école maternelle - Lauréat 2010
- Association services solidaires du Cher – Le petit poucet – Bourges (18) – Construction d'un crèche - Lauréat 2010
- Commune de St Jean le Blanc (45) – Salle des fêtes de Montision – Espace scénique - Lauréat 2010
- Commune de Unverre (28) – Construction/extension d'une école Maternelle & Elémentaire - Lauréat 2010
- Commune du Magny (36) – École Jean Moulin - Construction/extension d'une école maternelle et élémentaire - Lauréat 2010
- Nouveau Logis Centre Limousin - Résidence Les Magnolias – St Jean de Braye (45) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2010
- Ville de Châteauroux (36) – La petite Garenne - Construction d'ateliers/bureaux municipaux - Lauréat 2010
- Tours Habitat – Résidence Fontaine Potier – Tours (37) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2010
- Commune de Fondettes (37) - École Françoise Dolto - Construction d'un restaurant scolaire - Lauréat 2010

- Commune de Fossé (41) - Construction d'un complexe intergénérationnel - Lauréat 2010
- Artprom - La Nef – Tours (37) – Restructuration d'un ancien centre de tri en logements et bureaux - Lauréat 2010
- France Loire – Résidence Alena – St Doulchard (18) - Construction de logements sociaux - Lauréat 2010
- Commune de Chalette-sur-Loing (45) – École du Bourg - Construction d'une école maternelle et élémentaire - Lauréat 2010
- Communauté de Communes du Malesherbois - Maison de l'enfance – Malesherbes (45) - Construction d'un accueil enfance - Lauréat 2010
- Commune de Rochecorbon (37) – Rénovation d'une école primaire - Lauréat 2010
- Syndicat de copropriété de la maison du bâtiment – Maison du bâtiment – Tours (37) – Rénovation de bureaux - Lauréat 2011
- Caisse Nationale d'Assurance Vieillesse – Site de Tours – Tours (37) – Rénovation de bureaux - Lauréat 2011
- SA Jacques Gabriel - Résidence St Marc – Romorantin (41) – Construction de logements sociaux - Lauréat 2012
- Bureau de Recherche Géologique et Minier – Site d'Orléans la Source bâtiment D4 – Orléans la Source (45) – Rénovation de bureaux - Lauréat 2012
- Fédération Française du bâtiment du Loiret – Maison du bâtiment – Olivet (45) – Construction de bureaux - Lauréat 2012



# RETOUR D'EXPÉRIENCE

---

## EFFICACITÉ ENERGÉTIQUE DANS LE BÂTIMENT



SITE INTERNET D'ENVIROBAT

[www.envirobatcentre.com](http://www.envirobatcentre.com)

