climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Financé par :

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité

ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE

Grand Est
ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE
L'Europe s'invente chez nous

RETOUR D'EXPERIENCE

CONSTRUCTION ET RENOVATION DE BATIMENTS EXEMPLAIRES PASSIFS

©Ateliers d-Form

Avec le soutien de
climaxion
anticiper • économiser • valoriser
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité
ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
Grand Est
ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE
L'Europe s'invente chez nous

climaxion
anticiper • économiser • valoriser

Financé par :
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE
Liberté
Égalité
Fraternité
ADEME
AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
Grand Est
ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE
L'Europe s'invente chez nous

Table des matières

Introduction 5

I/ Caractéristiques des bâtiments passifs étudiés 6

II/ Analyse des besoins de chauffage 7

1. L'impact de la variabilité climatique : température extérieure et ensoleillement 7
2. Une consommation énergétique maîtrisée assurant le confort hivernal 8
3. Une température intérieure souvent poussée au-dessus de 20 °C 9
4. Une forte variabilité des apports internes dans les bâtiments de bureaux 10
5. Une bonne gestion des ouvertures en période hivernale 11
6. Une utilisation des brise-soleil orientables (BSO) parfois dévoyée en hiver 11
7. Un rendement de récupération trop théorique pour certaines CTA 11

III/ Analyse des autres postes de consommation 13

1. Eau chaude sanitaire (ECS) : une consommation très variable selon la typologie 13
   1.1. Installer des appareils hydroéconomes et privilégier une production localisée dans les typologies consommant peu d'ECS 13
   1.2. Estimer au plus juste les besoins en ECS dans les bâtiments tertiaires 13
2. Auxiliaires : miser sur la simplicité ! 14
   2.1. Ventilation : une programmation allégée pour un fonctionnement optimal 14
   2.2. Circulateurs de chauffage : la simplicité au service du bon fonctionnement 15
   2.3. Circulateurs d'ECS : un bouclage uniquement pour les typologies consommatrices d'ECS 15
3. Eclairage : un poste clé pour optimiser le confort d'été 16
   3.1. Maîtriser les apports internes en période estivale 16
   3.2. Régler avec précision les détecteurs de lumière 17
   3.3. Optimiser la conception du bâtiment pour valoriser la lumière naturelle 17
   3.4. Trouver le bon compromis au niveau des vitrages 18

IV/ Le confort estival : un défi à relever pour les bâtiments durables 19

1. Le confort estival dans les bâtiments résidentiels 19
2. Le confort estival dans les bâtiments tertiaires 22
   2.1. Limiter les apports solaires en période estivale 22
      2.1.1. Des vitrages bien placés et bien dimensionnés : la base de la conception bioclimatique 23
      2.1.2. Les protections solaires fixes : la valeur sûre pour le confort estival 23
      2.1.3. Les protections extérieures saisonnières : 2 interventions par an pour un confort amplement amélioré 23

Avec le soutien de
climaxion anticiper • économiser • valoriser
RÉPUBLIQUE FRANÇAISE Liberté Égalité Fraternité
ADEME AGENCE DE LA TRANSITION ÉCOLOGIQUE
Grand Est ALSACE CHAMPAGNE-ARDENNE LORRAINE L'Europe s'invente chez nous

2.1.4. Les protections végétales : la nature au service du confort....24
2.1.5. Prise en compte de l'albédo : éviter l'accumulation de chaleur dans les parois du bâtiment 24
2.1.6. Les protections solaires extérieures mobiles : le choix de l'adaptabilité à bien maîtriser 25
2.2. Limiter les apports internes électriques en période estivale....29
2.3. Aérer naturellement le bâtiment au moment opportun....30
3. Les systèmes de rafraichissement non thermodynamiques : un complément optimal à une bonne conception bioclimatique....32
3.1. La surventilation nocturne....32
3.2. Les puits canadiens aérauliques....33
3.3. Le rafraichissement adiabatique....34
3.4. Les ventilateurs ou brasseurs d'air plafonniers....34
4. Hiver/été : le compromis pour une consommation optimisée et un confort en toute saison.35
V/ Coût des bâtiments passifs : quelques chiffres sur les bâtiments étudiés....36
1. Travaux – coût des travaux....36
2. Exploitation du bâtiment....37
3. Approche par coût global....38
VI/ Performances des systèmes dans les bâtiments étudiés....38
1. Bâtiments résidentiels....39
1.1. Chauffage....39
1.1.1. Production....39
1.1.2. Emetteur de chauffage....40
1.2. Eau chaude sanitaire (ECS)....41
1.3. Protection solaire....42
1.4. Système de rafraichissement (non thermodynamiques)....43
2. Bâtiment tertiaire....43
2.1. Chauffage....43
2.1.1. Production....43
2.1.2. Emetteur de chauffage....44
2.2. ECS....45
2.2.1. Besoins faibles ECS : bureaux, écoles....45
2.2.2. Besoins importants ECS : internats, crèches....46
2.3. Protection solaire....47

2.4. Systèmes de rafraichissement (non thermodynamiques) 48
2.5. Remarques générales 48
2.5.1. Ecole 48
2.5.2. Crèche 48
Conclusion **49**

Annexe 1 : Caractéristiques des bâtiments passifs étudiés

Introduction

L'enjeu environnemental est aujourd'hui l'une des priorités mondiales. C'est pourquoi la France s'est récemment engagée dans un objectif de neutralité carbone d'ici 2050. En France, l'impact du secteur du bâtiment sur les émissions de carbone est très important. D'après des chiffres publiés par l'ADEME, 24% des émissions françaises de CO2 proviennent des bâtiments résidentiels et tertiaires. Ces bâtiments sont également à l'origine de 42% des consommations énergétiques françaises. Pour réduire cet impact, le gouvernement met alors en place divers programmes.

Il existe notamment les réglementations thermiques. Elles sont de plus en plus contraignantes et elles ont pour but de diminuer la consommation énergétique des bâtiments (hors électricité spécifique). Actuellement, c'est la RT2012 qui est en vigueur pour les bâtiments neufs. Elle a multiplié par trois les exigences de la précédente réglementation, la RT2005. Cependant, dès sa mise en place, en 2012, elle fut critiquée et souvent jugée comme étant trop permissive.

C'est pourquoi, en 2013, **la Région a mis en place un appel à projets « Bâtiments exemplaires passifs »**. Pour être lauréat, les projets doivent respecter un cahier des charges précis et bien plus ambitieux que la RT2012, inspiré du label allemand « Passivhaus ». Pour inciter l'atteinte de ces exigences, la Région Grand Est alloue une subvention aux différents projets lauréats. L'objectif est de développer la sobriété énergétique dans le milieu du bâtiment. Cet appel à projets permet également la montée en compétence des professionnels grâce au développement de projets de plus en plus ambitieux, qui nécessitent plus de rigueur et un travail de conception accru.

Cette synthèse de retours d'expériences, menée sur les bâtiments passifs accompagnés par la Région Grand Est, a pour but de :

- Détailler les caractéristiques principales des bâtiments passifs étudiés ;
- Analyser les consommations de chauffage de ces projets et souligner les principales sources de dérives ;
- Etudier le confort d'été dans ces bâtiments ;
- Comprendre l'impact des utilisateurs sur la consommation énergétique et le confort d'été de ces bâtiments ;
- Analyser les autres postes de consommation dans ces bâtiments ;
- Evaluer la pertinence des choix techniques opérés dans chaque typologie de bâtiment ;
- Donner un ordre de grandeur du coût global des bâtiments passifs.

Ce rapport commence donc par la présentation des projets étudiés, en énonçant leurs principales caractéristiques. Les parties II à V, exposent les conclusions générales sur les bâtiments étudiés. Enfin, la partie VI permet de définir le niveau d'efficacité des systèmes, dans chaque typologie de bâtiment.

I/ Caractéristiques des bâtiments passifs étudiés

Cette synthèse porte sur **un retour d'expérience de 16 bâtiments passifs** subventionnés dans le cadre de deux dispositifs :

- Appel à projets « Bâtiments exemplaires passifs » 2013 et 2014
- Appel à projets « Bâtiments économes en énergie » de 2009 à 2012

Ce retour d'expérience a été établi grâce aux documents d'études en possession de la Région Grand Est et à des mesures et relevés in-situ. La collaboration des équipes de maîtrise d'œuvre et des maîtres d'ouvrage a également été précieuse et essentielle pour le bon déroulement de cette étude.

Ces bâtiments ont pour typologies :

- 3 bâtiments de bureaux ;
- 3 bâtiments d'habitation ;
- 2 bâtiments mixtes : bureaux et logements ;
- 3 écoles ;
- 1 accueil périscolaire ;
- 2 crèches ;
- 1 foyer d'accueil pour handicapés ;
- 1 institut thérapeutique éducatif et pédagogique (ITEP) avec internat.

Les conclusions de la présente synthèse seront à mettre au regard du nombre limité et de la diversité des projets étudiés. Il sera difficile de faire des généralités à partir de l'échantillon étudié.

Cette synthèse a pour vocation d'établir des conclusions ponctuelles sur les bâtiments étudiés. Elle pourra notamment servir à orienter les choix techniques des futurs bâtiments passifs et à éviter les difficultés rencontrées dans les bâtiments étudiés.

Le tableau disponible en **Annexe 1** recense les principales caractéristiques des bâtiments étudiés. Les valeurs indiquées pourront notamment servir « d'ordre de grandeur » pour de futures conceptions.

II/ Analyse des besoins de chauffage

Comme la très faible consommation de chauffage est l'une des principales caractéristiques de la conception passive, une analyse très détaillée a été consacrée pour ce poste chauffage.

1. L'impact de la variabilité climatique : température extérieure et ensoleillement

Les bâtiments passifs font l'objet d'une conception bioclimatique et sont, de ce fait, particulièrement sensibles aux variations climatiques.

Une étude de l'impact de la variation climatique a été effectuée sur les relevés de consommation afin de s'affranchir de cette source de variation et de pouvoir analyser les autres sources de variation du besoin de chauffage.

Usuellement, cette correction climatique s'effectue au regard de la variation des degré-jours de la base adaptée. Cependant, les bâtiments passifs sont conçus pour valoriser au maximum le flux solaire. Pour certains projets, la quantité d'apports solaires reçus est même plus importante que les besoins de chauffage résiduels.

De plus, il est fréquent que les journées très froides soient également ensoleillées. Il est donc d'autant plus important de déterminer si les degré-jours sont suffisamment corrélés avec les consommations de chauffage.

Nous avons alors fait une analyse statistique sur les consommations mensuelles de chauffage des bâtiments. Cette démarche consiste à **étudier la significativité statistique des degré-jours (base 16) et du rayonnement global horizontal.** Même si ce dernier ne représente pas exactement l'ensemble des apports solaires perçus par le bâtiment, cela constitue une première approche qui pourra être affinée par la suite.

Deux analyses statistiques ont été réalisées sur plusieurs projets. La première consiste en une double régression linéaire sur les consommations mensuelles de chauffage avec comme variables d'influence **le flux solaire global horizontal (noté « solaire » dans le tableau ci-après) et les degré-jours associés (noté « DJ » dans le tableau ci-après).** La deuxième est une régression linéaire mono variable sur les consommations mensuelles de chauffage selon les degré-jours associés.

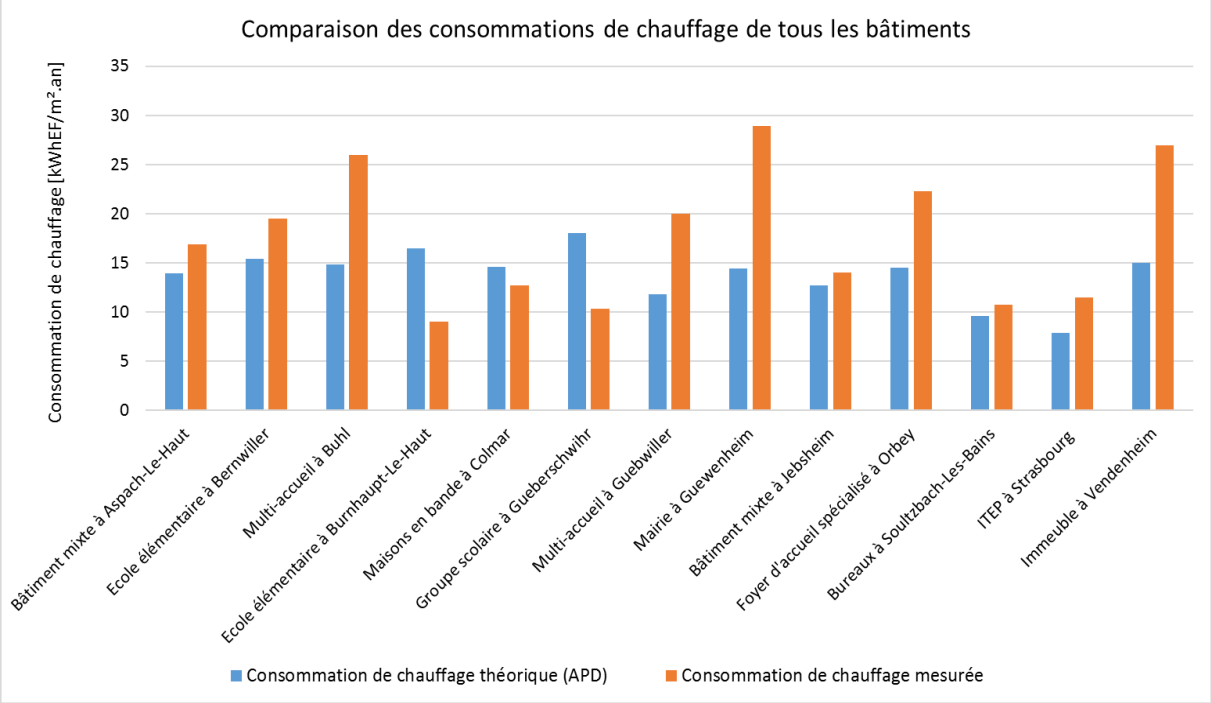
Résultats de l'analyse statistique de l'influence du flux solaire global horizontal (solaire) et des degré-jours associés(DJ)

Nom du projet	Type de régression	Significativité du modèle	Significativité des variables	R^2 (ajusté si régression multiple)
Ecole élémentaire de Burnhaupt-le-Haut	Simple	>95%	DJ : >95%	0,68
	Multiple	>95%	DJ : >95% Solaire : >60%	0,66
Bâtiment tertiaire et résidentiel à Jebsheim	Simple	>95%	DJ : >95%	0,80
	Multiple	>95%	DJ : >95% Solaire : >90%	0,84
Ecole élémentaire de Bernwiller	Simple	>95%	DJ : >95%	0,93
	Multiple	>95%	DJ : >85% Solaire : >20%	0,87
Multi-accueil de Guebwiller	Simple	>95%	DJ : >95%	0,86
	Multiple	>95%	DJ : >95% Solaire : >85%	0,86

En conclusion de cette analyse statistique, il s'avère que l'impact du rayonnement global horizontal est assez mitigé et qu'on ne peut pas définir une tendance globale. Toutefois, **les degré-jours constituent une variable influençant fortement les consommations de chauffage.** L'analyse des consommations de chauffage des bâtiments passifs peut donc se limiter à prendre en considération les degré-jours.

2. Une consommation énergétique maîtrisée assurant le confort hivernal

Le graphique ci-dessous compare les consommations de chauffage (issues des compteurs de chaleur placés en chaufferie) mesurées dans 13 des bâtiments étudiés (avec corrections climatiques sur les degré-jours) avec leur estimatif théorique (estimation en phase APD).



En moyenne, **la consommation mesurée de chauffage est 30% supérieure aux estimatifs APD.** Toutefois, **l'écart constaté en valeur absolue est assez faible.** En moyenne, les bâtiments consomment ainsi 4 kWh/m².an de plus que les estimatifs APD.

Ainsi, **la consommation moyenne réelle des 13 bâtiments concernés est de 17,6 kWh/m².an,** soit une valeur très faible ; notamment comparée aux consommations des bâtiments RT2012.

Les bâtiments répondent donc globalement à l'objectif de très faible consommation d'énergie pour le chauffage, bien que la surconsommation paraisse importante en pourcentage.

Les parties suivantes s'attèlent à détailler les sources de ces écarts de consommation.

3. Une température intérieure souvent poussée au-dessus de 20 °C

Après analyse, ces dérives de consommations semblent généralement dues à des phénomènes liés à l'utilisation réelle du bâtiment au bâtiment. De plus, **une fois pris en compte, le fichier PHPP s'avère être un outil de grande précision pour estimer les besoins de chauffage.**

Parmi ces phénomènes, la surchauffe volontaire de l'air ambiant en hiver est le facteur le plus impactant. En effet, malgré l'absence de surface froide, la température de l'air intérieur est très souvent plus élevée que les 20°C conseillés par le Passivhaus Institut (PHI). La température intérieure réelle des bâtiments étudiés fluctue ainsi sur la période hivernale entre 20 et 24°C avec **une moyenne à 22°C.** De plus, le ratio à retenir pour la surchauffe de l'ambiance est **qu'une hausse de 1°C de la température ambiante équivaut à une surconsommation de chauffage de 20%.** Ainsi, rien qu'en prenant en compte la hausse de la température intérieure, la consommation de chauffage est en

moyenne, près de 40% supérieure aux estimatifs. **La sensibilisation des utilisateurs du bâtiment** est donc une piste importante pour réduire la surconsommation énergétique liée au chauffage.

Bonnes pratiques :

- Laisser une marge de manœuvre aux utilisateurs pour fixer la température intérieure **en proposant une plage de températures raisonnables**, mais ne pas empêcher la modification de la température intérieure pour assurer un confort optimal des utilisateurs ;
- ***Faire s'interroger les utilisateurs sur la température intérieure souhaitée en leur présentant le ratio « + 1°C correspond à +20% de consommation du poste chauffage »*** *pour leur faire prendre conscience de l'impact du choix de température intérieure.*

4. Une forte variabilité des apports internes dans les bâtiments de bureaux

De plus, **pour estimer les consommations de chauffage, les bureaux d'études ont fréquemment recours aux valeurs d'apports internes définies par le Passivhaus Institut.** Ces valeurs sont établies pour chaque typologie de bâtiment et il est possible d'y avoir recours dans l'appel à projets régional.

Toutefois**, les apports internes réels des projets étudiés sont en moyenne 12% supérieurs aux valeurs par défaut** pour leur typologie de bâtiment, réduisant ainsi le besoin réel de chauffage. Les écarts constatés sur les apports internes varient de -26% à +92**%.**

La typologie des bâtiments de bureau est celle qui présente les écarts les plus importants. Ainsi, même s'il sera toujours préférable de calculer les apports internes associés au projet (plutôt que d'utiliser les valeurs par défaut), il est particulièrement recommandé de le faire pour les bâtiments de bureaux.

Cependant, il persistera toujours des écarts entre les prévisions et les données réelles d'occupation et de consommation d'électricité. Par exemple, le programme fourni par le maître d'ouvrage peut sous-évaluer l'utilisation de certains appareils électriques ce qui aboutit à la sous-estimation des apports internes. En cas d'analyse des consommations de chauffage réelles, il conviendra de tenir compte de ces paramètres pour calculer les apports internes réels des bâtiments et ainsi faire apparaitre d'autres causes sous-jacentes de dérive de consommation.

En pratique, les paramètres influençant les apports internes réels sont :

- La consommation effective d'électricité ;
- L'occupation du bâtiment ;
- La concentration des apports internes*.

* Constat : **lorsqu'il y a une trop forte concentration d'apports internes, ces apports localisés ne sont pas valorisés dans le reste du bâtiment.**
Même en plein hiver, les utilisateurs ont tendance à ouvrir les fenêtres afin d'évacuer le surplus de chaleur accumulé et ainsi disposer d'une température acceptable dans le local. Cette quantité importante d'énergie, qui aurait pu chauffer « gratuitement » le bâtiment, n'est donc pas valorisée et présente un fort risque d'inconfort en période estivale.

Bonne pratique :

- *Pour éviter ce type de problème, il est préconisé de* ***réaliser une étude STD des locaux présentant le plus d'apports internes, afin de vérifier que les températures intérieures n'excèdent pas 25°C en période de chauffe.*** *On pourra ainsi s'assurer qu'il y aura une bonne valorisation des apports internes en période hivernale.*
- *Si le BE n'a pas accès à un logiciel STD, il est également possible de simuler au sein du PHPP cet espace seulement (concrètement supprimer tout le reste du bâtiment du fichier de calcul) et de regarder l'ordre de grandeur de la fréquence de surchauffe estivale. Cette approche reste cependant moins précise.*

5. Une bonne gestion des ouvertures en période hivernale

Dans les bâtiments étudiés, **l'utilisation des ouvrants n'a que peu d'impact sur la consommation de chauffage** ; les rares ouvertures de portes, fenêtres, haut-jours… n'engendrent pas de surconsommation notable.

En effet, les occupants sont bien sensibilisés au fait qu'ouvrir les fenêtres en période hivernale engendre une surconsommation importante de chauffage. De plus, la température ressentie par le courant d'air créé accentue ce phénomène et les alerte sur les importantes déperditions aérauliques.

6. Une utilisation des brise-soleil orientables (BSO) parfois dévoyée en hiver

Le seul problème rencontré au niveau des fenêtres et portes fenêtres est **l'utilisation des protections solaires en période hivernale.** Elles sont utilisées en cas d'éblouissement ou pour apporter de l'intimité dans le bâtiment.

Des problèmes d'éblouissement n'ont pas été constatés dans l'échantillon analysé. Par contre, **l'utilisation des protections solaires pour créer de l'intimité est assez fréquente dans les logements.** Il faut donc **sensibiliser les occupants** en leur expliquant qu'une protection solaire n'est pas un système adapté pour cacher l'intérieur d'un bâtiment et qu'en procédant de la sorte, ils limitent les apports solaires et augmentent de manière significative leur consommation de chauffage.

Bonne pratique :

En cas de vis-à-vis sévère ou de risque d'éblouissement, il faut ***préconiser la pose de stores intérieurs*** *(complémentaires à la protection solaire extérieure), permettant ainsi de répondre à ces problématiques tout en laissant pénétrer les rayons solaires dans l'ambiance intérieure.*

7. Un rendement de récupération trop théorique pour certaines CTA

La question sur le rendement de récupération des centrales de traitement de l'air (CTA) non certifiées par le Passivhaus Institut (PHI) est capitale. Son impact sur les consommations de chauffage est très important.

Cependant, sur les projets étudiés, il semble que **les échangeurs non certifiés bénéficient, dans leurs fiches techniques, de valeurs surestimant leur performance.** Toutefois, **la minoration de 12% semble disproportionnée pour certains bâtiments**, surtout si le rendement a été calculé à 5°C de température extérieure et selon la même méthode que le PHI.

Il faudrait une instrumentation plus poussée pour répondre de manière précise à ce problème et déterminer une minoration appropriée. En attendant une éventuelle étude complémentaire sur ce point, **une adaptation de la minoration en fonction du procédé d'évaluation de l'efficacité de l'échangeur semble opportune.**

La règle suivante a été mise en place dans l'appel à projets Bâtiments exemplaires passifs 2020 :

Efficacité de la récupération de chaleur (calculée avec une température extérieure de 5°C)
Si la CTA n'est pas certifiée selon la méthode de test de l'Institut de la Maison Passive/Passivhaus Institut (voir www.passiv.fr) la minoration suivante devra être prise en compte qui dépendra de la détermination du rendement :

- *Pour les CTA de moins de 600 m^3/h : soustraire 12 % de la valeur de rendement de la CTA indiquée sur la fiche technique.*
- *Pour les machines d'un débit supérieur : la minoration sera de 8 % si la valeur de rendement est donnée par un calcul théorique et de 4 % si la valeur de rendement est mesurée avec une température extérieure de 5°C par le fabricant.*

Pour conclure cette partie dédiée aux besoins de chauffage, il apparaît que **le confort hivernal est jugé comme étant excellent** dans la grande majorité des bâtiments visités. Quelques problèmes ont cependant engendré ponctuellement de l'inconfort. Parmi eux, on peut noter :

- La présence des bouches de soufflage dans les zones d'occupation ;
- La gestion du chauffage par zone hétérogène (une seule sonde de température pour gérer le chauffage de deux locaux) ;
- Le temps de relance long, surtout sur un chauffage par l'air (problématique après une panne, des vacances avec réduit…).

Ces incidents peuvent être facilement anticipés en phase de conception. En effet, les deux premiers points sont directement issus des choix techniques de l'équipe de maîtrise d'œuvre. Une étude plus poussée permettra de les éviter à l'avenir. Concernant le 3ème point, le problème engendré n'est que ponctuel et peut être anticipé par une programmation.

Bonne pratique :

En cas de chauffage exclusivement sur l'air, il faut limiter les réduits de température ou de ventilation pendant les périodes d'inoccupation car il faudra ensuite plusieurs heures de soufflage pour remettre le bâtiment à une température optimale. L'installation de quelques radiateurs hydrauliques permet également de réduire ce temps de relance.

III/ Analyse des autres postes de consommation

Remarque générale : **l'entretien des systèmes de ventilation, d'ECS et de chauffage est globalement bien assuré.**

1. Eau chaude sanitaire (ECS) : une consommation très variable selon la typologie

1.1. Installer des appareils hydroéconomes et privilégier une production localisée dans les typologies consommant peu d'ECS

Tout d'abord, **il convient de rationaliser les points d'ECS afin de limiter la consommation au strict nécessaire.**

De manière générale, il faut exiger **la mise en place d'équipements très économes en eau** et dès que possible et selon la typologie de bâtiments**, éviter les bouclages** et le cas échéant réduire les longueurs de distribution.

Ces points permettent respectivement de réduire la consommation en eau (notamment en eau chaude) et de limiter les pertes de chaleur par distribution.

En effet, outre leurs impacts sur la consommation énergétique, ces pertes contribuent aussi à **l'augmentation de la température ambiante en été.** Elles représentent même parfois une valeur aussi importante que le besoin d'ECS lui-même ! C'est pourquoi, à la place d'un bouclage, **si le besoin est assez faible**, il est **préférable** de privilégier des petits **ballons électriques à accumulation, répartis dans tout le bâtiment.**

En cas de bouclage, le **calorifugeage des réseaux** est un point clé pour limiter les déperditions énergétiques et participer au confort estival.

1.2. Estimer au plus juste les besoins en ECS dans les bâtiments tertiaires

Le Passivhaus Institut (PHI) recommande de considérer **25L à 60°C/jour/personne pour les logements.** Cette valeur semble **appropriée** : elle surestime légèrement les consommations réelles mais elle permet d'assurer suffisamment d'eau chaude pour les individus les plus consommateurs.

Toutefois, pour les autres typologies de bâtiment, les consommations sont très variables. Pour les typologies étudiées, nous obtenons les consommations réelles suivantes :

- <1L à 60°C/jour/personne[1] pour les écoles
- 3L à 60°C/jour/personne[1] pour les crèches
- 1 à 3L à 60°C/jour/personne[1] pour les bâtiments de bureau
- 24L à 60°C/jour/personne[1] pour le foyer d'accueil pour handicapés

[1] Personne telle que défini dans les usages du PHPP

- 6L à 60°C/jour/personne[1] pour l'Institut Thérapeutique Educatif et Pédagogique (ITEP) comprenant un internat.

⚠ Le but est de donner des ordres de grandeurs. L'échantillon des bâtiments étudiés est mince. Utiliser les valeurs constatées pourrait induire un sous-dimensionnement.

Le Passivhaus Institut (PHI) recommandait une valeur par défaut de 12L à 60°C/jour/personne pour dimensionner les installations d'eau chaude sanitaire (le PHPP actuel propose à présent un utilitaire pour estimer les besoins en ECS). Les valeurs constatées dans le retour d'expérience sont bien inférieures pour les bâtiments tertiaires, hormis ceux incluant des zones dédiées à l'hébergement (foyer d'accueil pour handicapés, ITEP avec internat)

Par exemple, dans les écoles, les consommations sont si faibles que les pertes de production, de stockage et de distribution sont plus importantes que les besoins effectifs. Un trop grand ballon ECS engendrera des pertes de stockage plus importantes, réduisant de manière drastique la performance du système de production d'ECS.

Bonnes pratiques :

- *Pour les bâtiments résidentiels, la valeur par défaut donnée par le PHI (à savoir 25L à 60°C/jour/personne1) est à considérer.*
- ***Pour les bâtiments tertiaires, il convient d'estimer au plus juste la consommation réelle d'ECS et de ne pas prendre en compte les valeurs par défauts** proposées par le Passivhaus Institut (PHI).*
- *Cas particulier : **pour la conception des bâtiments tertiaires à vocation d'hébergement** (foyer, hôtel, internat, hôpital, etc.), il est préconisé de prendre en compte **les valeurs par défaut proposées pour les bâtiments résidentiels.***

2. Auxiliaires : miser sur la simplicité !

Ce point est assez variable : les conclusions sont très dépendantes des projets étudiés. Dans cette partie, nous allons donc souligner la tendance globale constatée.

2.1. Ventilation : une programmation allégée pour un fonctionnement optimal

Les débits de ventilation ont été calculés à partir des consommations mesurées, de la programmation théorique et des fiches techniques des centrales. Ils sont globalement **proches de ceux préconisés** par le bureau d'études concepteur. En particulier, **la régulation de la ventilation sur sondes CO2 fonctionne bien.** La qualité d'air dans les bâtiments est bonne et le débit correspond bien à l'occupation réelle des locaux.

Toutefois, de manière générale, des écarts entre les programmations conseillées et réelles ont pu être constatés. En particulier, **la bascule entre le mode hiver et le mode été pose fréquemment problème.** Ce réglage, pourtant simple, montre la difficulté à imposer des réglages précis. C'est pourquoi, il est recommandé de **ne pas compliquer la régulation de la CTA, même au détriment d'une optimisation des performances.**

Pour le mode hiver, il serait possible de procéder à un réduit nocturne et pendant les week-ends. **Il est toutefois déconseillé de programmer une coupure totale de la CTA** (exemple : pendant les vacances scolaires). En effet, cela pourrait entrainer des erreurs de programmation sur d'autres points plus importants. Une solution intermédiaire pourrait être de préconiser une coupure des disjoncteurs (hors alarme, système de sécurité incendie …) en cas de congés prolongés, pendant les congés d'été par exemple.

Concernant le mode été, la surventilation nocturne est, à tort, trop fréquemment coupée pendant les week-ends. En effet, même si le bâtiment n'est pas occupé, il est opportun de le rafraichir quand cela est possible. **En période estivale, il est donc essentiel que la surventilation nocturne soit maintenue lorsque le bâtiment est inoccupé sur une courte période.** Il faudra donc insister sur ce point auprès de l'entreprise chargée de la maintenance, afin d'améliorer le confort estival, souvent problématique.

2.2. Circulateurs de chauffage : la simplicité au service du bon fonctionnement

De manière générale, il convient de **réaliser les systèmes les plus simples possibles.** Interconnecter des technologies peut être tentant pour optimiser le fonctionnement du bâtiment, mais cela est souvent sujet à des complications importantes, voire impossibles à résoudre.

Pour les auxiliaires de chauffage, le seul point problématique notable est qu'il arrive que le système soit encore en marche en été. Il est donc recommandé de s'assurer de ce point auprès de l'entreprise chargée de la maintenance.

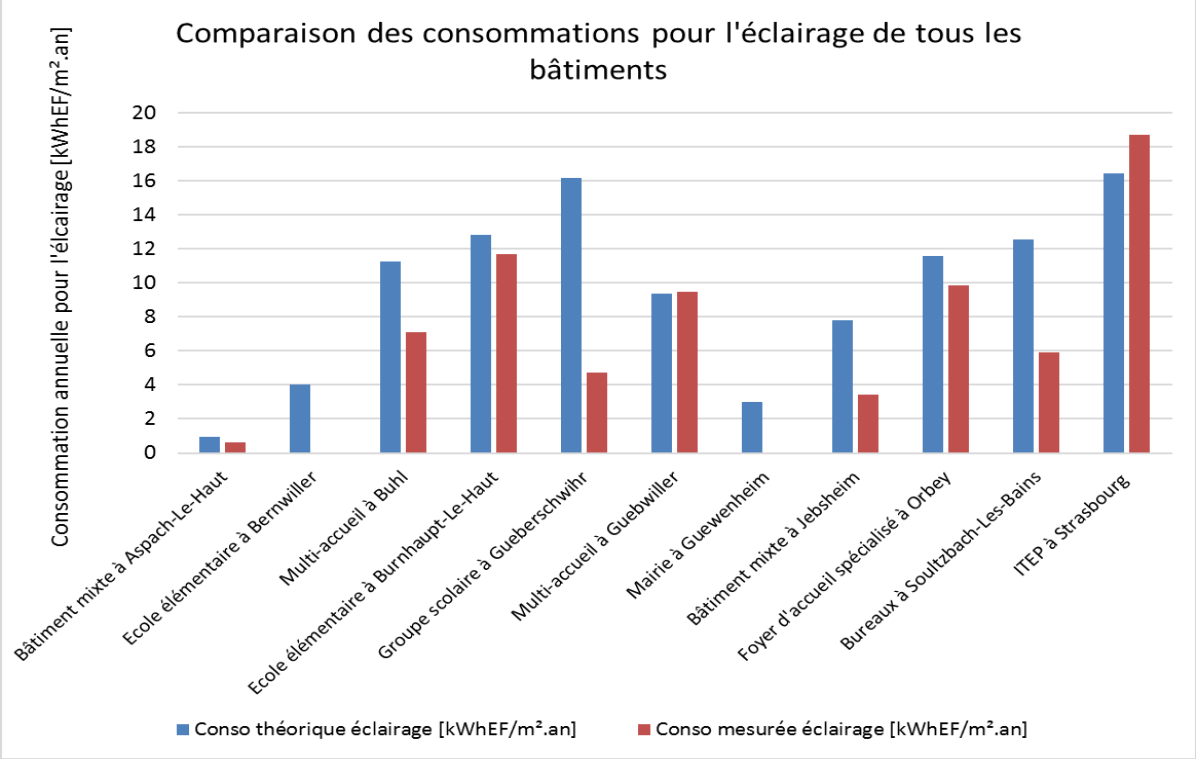
2.3. Circulateurs d'ECS : un bouclage uniquement pour les typologies consommatrices d'ECS

Pour les auxiliaires de l'ECS, en plus des raisons évoquées précédemment, la présence d'un bouclage entraine une consommation d'électricité importante pour le circulateur installé. Si le besoin en eau chaude est faible, cette consommation peut représenter une part importante de l'énergie utile pour l'ECS. Pour le multi-accueil de Buhl, même si le besoin d'ECS n'est pas négligeable, la consommation annuelle d'énergie primaire du circulateur est plus importante que celle utilisée pour produire l'eau chaude sanitaire ! **Il faut donc calculer la consommation des auxiliaires afin de s'assurer qu'elle n'est pas trop importante par rapport à l'énergie utile pour l'ECS.**

En règle générale, **la présence d'un bouclage ne s'avère intéressante que pour les typologies avec des besoins très importants:** logements, internats, résidences assistées, hôtels… Pour les autres, il faut privilégier une production locale, par exemple par des ballons électriques à accumulation répartis dans tout le bâtiment.

3. Eclairage : un poste clé pour optimiser le confort d'été

En moyenne, la consommation de l'éclairage représente **28% de la consommation totale d'électricité des bâtiments. Les estimations du fichier PHPP sont en moyenne 30% supérieures aux consommations réelles.** En particulier, la consommation calculée est quasi systématiquement supérieure à la valeur réelle. Le graphique ci-après permet d'illustrer ce point au travers de 11 bâtiments étudiés sur ce poste :



3.1. Maîtriser les apports internes en période estivale

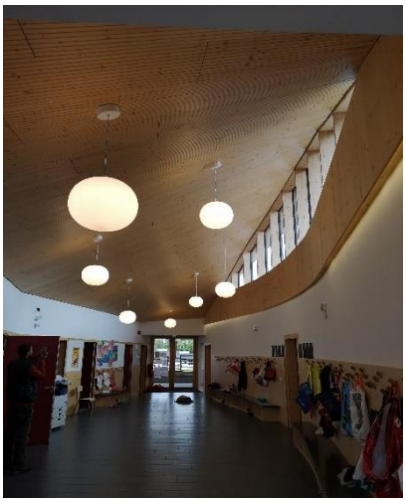
Or, la question de l'éclairage est au centre du fonctionnement des bâtiments passifs. En plus de représenter un poste de consommation très important, l'éclairage apporte beaucoup de chaleur au bâtiment. En hiver, son impact est relativement positif puisqu'il tend à faire diminuer la consommation de chauffage. Par contre, **comme l'éclairage représente une puissance du même ordre de grandeur que celle du chauffage installé dans le bâtiment,** les surchauffes provoquées risquent d'être très importantes en été, si elles ne sont pas maîtrisées.

En effet, il convient de souligner qu'allumer les radiateurs ou la lumière dans un local, revient quasiment au même. Il faut donc le préciser aux utilisateurs et aux entreprises d'installation, pour les sensibiliser sur ce point. **La mauvaise gestion de l'éclairage est fréquemment au cœur des problèmes d'inconfort estival constatés dans les bâtiments.**

C'est pourquoi la maitrise de ce poste de consommation, en particulier en période estivale, est fondamentale pour assurer le bon fonctionnement des bâtiments passifs.

3.2. Régler avec précision les détecteurs de lumière

En effet, même si les consommations réelles sont inférieures aux estimatifs, on constate fréquemment le **mauvais réglage des détecteurs de présence**. D'après les visites réalisées, les détecteurs automatiques sont globalement trop sensibles : il est très courant de constater que les lumières sont allumées alors que la luminosité naturelle de l'ambiance est déjà satisfaisante. Ce phénomène s'illustre bien sur la photo ci-dessous.



Luminaires allumés alors que l'éclairage naturel est suffisant (Ecole de Bernwiller)

Ce problème s'explique par le fait que, **mettre en place un réglage minutieux des détecteurs prend du temps et coûte donc de l'argent**. De plus, si certains utilisateurs nécessitent plus de lumière, les installateurs pourraient subir des plaintes de la part de ces derniers. En réglant de manière permissive ces équipements, elles évitent ainsi ce genre de problèmes.

3.3. Optimiser la conception du bâtiment pour valoriser la lumière naturelle

Les paramètres de conception permettant de réduire la consommation énergétique due à l'éclairage sont :

- **De grandes baies vitrées (à orienter selon l'usage) ***
- **Des pièces peu profondes : ratio $S_{vitrage}/S_{utile}$ à maximiser**
- **Des haut-jours dans les circulations**

* : Par exemple, orienter des vitrages plein sud, permet d'apporter beaucoup de lumière naturelle en journée. Cela coïncide avec un usage de type tertiaire avec une occupation du bâtiment en journée.

Les haut-jours s'avèrent particulièrement efficaces pour apporter de la lumière aux circulations : lorsque les détecteurs de présence sont bien réglés, ce type de local peut alors se passer d'éclairage

artificiel en pleine journée. Or, à cause de la temporisation des détecteurs de présence, il arrive que les luminaires dans les circulations soient allumés en permanence. Ce phénomène augmente significativement l'importance de se passer de l'éclairage artificiel dans les circulations.

3.4. Trouver le bon compromis au niveau des vitrages

Les vitrages sont à la fois :

- Des sources de lumière naturelle améliorant le confort des usagers et permettant de diminuer la consommation énergétique due à l'éclairage ;
- Des parois moins isolantes que des murs extérieurs isolés et donc des sources de déperditions thermiques en hiver ;
- Des vecteurs d'apports solaires opportuns en hiver, mais à limiter en été.

En fonction de la saison et de l'exposition, les vitrages ont donc des impacts positifs et négatifs sur la consommation énergétique et sur le confort des usagers. Il est donc fondamental de déterminer le bon compromis entre ces caractéristiques pour déterminer la surface vitrée optimale de chaque paroi. Au vu du faible nombre de projets, il n'est malheureusement pas possible d'établir les ratios pour une conception optimale mais il est indispensable d'y accorder beaucoup d'importance en phase de conception.

Même si augmenter la surface de vitrage est pertinent pour limiter l'usage des luminaires, il faut être vigilant sur le confort estival et éviter de prévoir trop de vitrages sur les bâtiments.

En complément de cette partie dédiée aux autres postes de consommation, il est rappelé que **l'électricité spécifique** est un poste de consommation très important dans les bâtiments passifs. Une réflexion sur ce poste dès la phase conception permet non seulement d'optimiser le dimensionnement des installations de chauffage en prenant en compte les apports internes générés, mais aussi de maîtriser le confort estival dont il sera question dans la prochaine partie.

IV/ Le confort estival : un défi à relever pour les bâtiments durables

Le retour d'expérience montre que maitriser la consommation de chauffage dans les bâtiments est relativement aisé. Par contre, de manière générale (bâtiment passif et autre), maintenir une température intérieure confortable en été en recourant uniquement à des techniques passives de rafraîchissement est plus difficile, notamment en période de canicule. Ce confort d'été doit faire l'objet d'une attention particulière dans la conception du bâtiment : les modèles climatiques à venir présentent non seulement **une augmentation de la température estivale moyenne, mais également une accélération de la fréquence des canicules et de leur intensité**, au fil des années.

Les fichiers météos utilisés dans les logiciels de conception sont à actualiser dès maintenant. Les bâtiments étant construits pour plusieurs décennies, il faut considérer des scénarios de 2050, voire 2100 pour mieux préparer les enveloppes des bâtiments aux évolutions climatiques à venir (en été et en hiver).

Pour définir le confort dans les bâtiments, nous utiliserons les notions de PPD (Predicted Percentage Dissatisfied) et de PMV (Predicted Mean Vote). Elles permettent d'établir le taux de personnes satisfaites en fonction de la vitesse d'air, de la température opérative, de l'habillement et de l'activité physique des occupants. Dans ce retour d'expérience, nous considérerons les hypothèses et objectifs de confort suivants :

- Moins de 10% de personnes insatisfaites ;
- Vitesse d'air faible (<0.5 m/s) ;
- Habillement estival (0.5 clo) et activité physique modérée (1.2 met) des utilisateurs.

Nous obtenons ainsi une **limite de confort à 26°C.**

Cette limite n'est pas une valeur absolue et il convient de la calculer selon les particularités de chaque projet.

L'analyse présentée dans cette partie de la synthèse est basée sur des relevés de température menés dans les bâtiments étudiés. Les utilisateurs ont également été interrogés pour mieux comprendre leurs habitudes et leur impact sur les consommations.

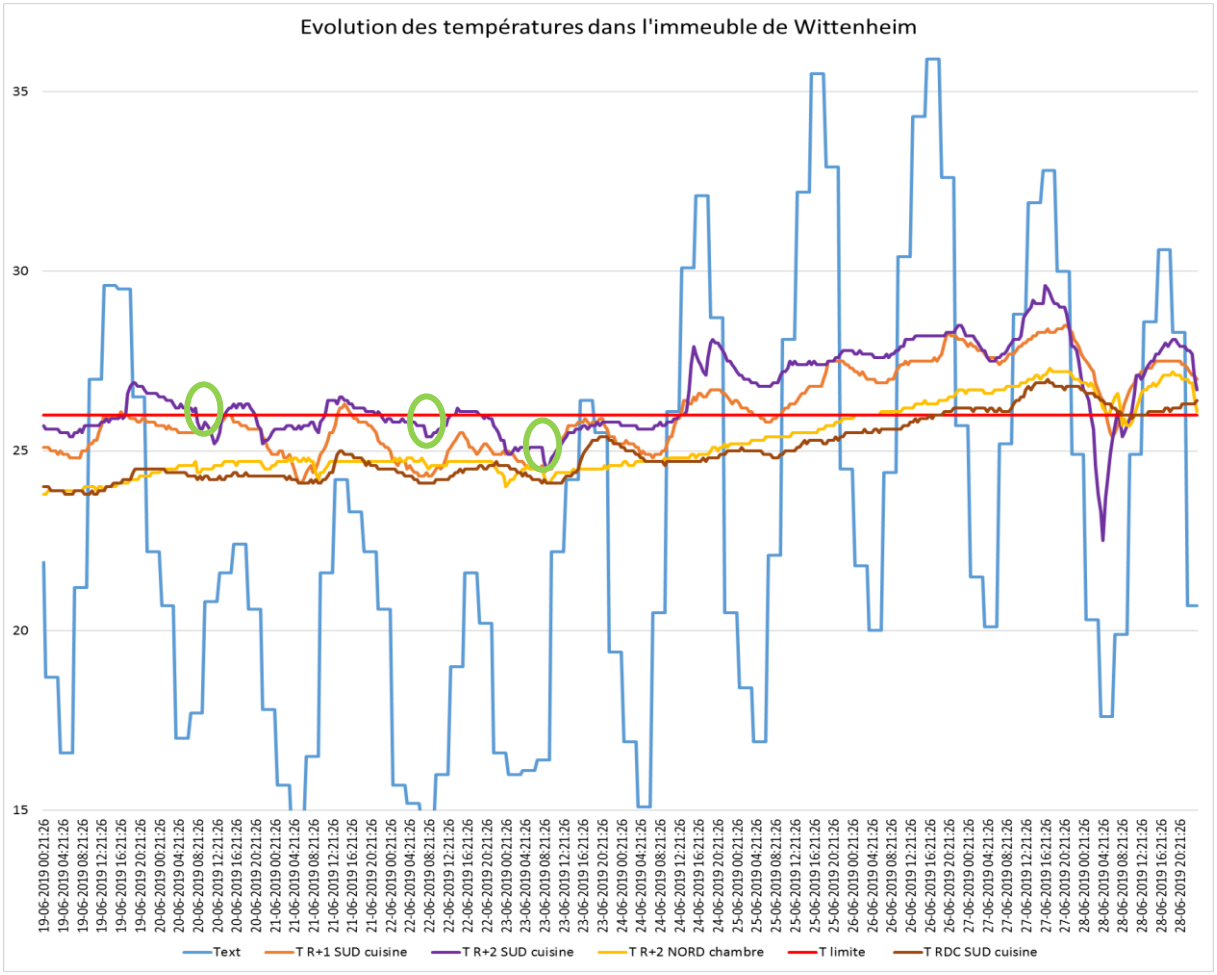
1. Le confort estival dans les bâtiments résidentiels

Dans les bâtiments résidentiels étudiés, **les utilisateurs sont très investis.** Contrairement aux bâtiments tertiaires, ils sont les seuls acteurs permettant d'assurer le confort dans leur logement. On peut ainsi émettre l'hypothèse que **les erreurs d'usage sont plus limitées.** En effet, dans la plupart des cas, en plus d'être investis, ils ont été directement sensibilisés, via des actions d'information, aux bons gestes à adopter pour limiter la température intérieure.

L'analyse du confort d'été dans les logements ne sera **basée** que **sur** un exemple : **un immeuble de 18 logements situé à Wittenheim.** Ce bâtiment possède une structure mixte bois-béton. Sa façade principale est exposée plein sud avec des balcons faisant office de brise-soleil fixes et des BSO (brise-

soleil orientables) permettant de faire une protection complémentaire. Ce bâtiment est aussi équipé de volets coulissants pour se protéger du soleil sur les autres façades.

Ci-après sont présentés les relevés de température réalisés dans trois logements (au RDC, au 1er étage et au 2ème étage).



D'une part, il n'y a pas de hausse particulièrement importante de température pendant la journée. **Les protections solaires semblent donc être bien utilisées.** Pour cette typologie de bâtiments, on peut ainsi en déduire qu'une protection fixe sera préférable mais pas indispensable.

D'autre part, on peut constater que **la température intérieure est relativement conforme à la plage de confort définie en période d'été « standard »**. Les protections solaires et l'ouverture des fenêtres pendant la nuit suffisent à assurer un confort très correct dans les différents appartements.

Enfin, **en période caniculaire, les températures atteignent 29°C** pour le logement au R+2, sous la toiture. Toutefois, **ces températures restent acceptables au vu des extrêmes rencontrés fin juin 2019.** De plus, la température dans la chambre de cet appartement (positionnée au Nord) reste relativement faible et ne dépasse pas les 27°C.

Remarque : à titre de comparaison, une sonde de température a été installée dans un logement neuf BBC (structure béton et isolation polystyrène) exposé plein ouest. Malgré un suivi rigoureux des consignes améliorant le confort d'été, les températures constatées ont atteint 30°C pendant la même période. ***Les températures dans les logements passifs ne semblent donc pas spécialement plus élevées que celles dans les logements BBC.*** *Même s'il faudrait une étude à plus grande échelle pour affiner cette remarque, cela donne une idée sur le confort estival dans cette typologie de bâtiment.*

Cependant, on peut conjecturer que dans l'appartement du dernier étage, la ventilation nocturne est mal réalisée. En effet, pendant « l'été standard », on peut observer des chutes brutales de température à 7h30 du matin (entourées en vert sur le graphique ci-dessus), heure correspondant au petit-déjeuner des occupants. On peut donc supposer que les fenêtres ne sont ouvertes qu'au matin pour aérer et faire venir de l'air frais dans le logement. Ce phénomène disparait dès les premiers jours de canicule, signifiant que les utilisateurs ont fini par **aérer le logement pendant toute la nuit**. Cependant, **les degrés accumulés en été standard impactent le bâtiment en été caniculaire** et la surchauffe s'en retrouve plus importante.

Cette constatation n'est malheureusement pas isolée et il est fréquent de rencontrer ce type de problème : **tant qu'il n'y a pas d'inconfort, les utilisateurs ne prennent pas conscience de l'impact qu'ils ont sur les températures estivales**. Cependant, une fois accumulée, la chaleur a du mal à être évacuée et la surchauffe sera plus importante. Il faut donc **insister sur ce point lors de la sensibilisation des habitants** à l'utilisation de ces bâtiments.

Il serait intéressant de **mener des études complémentaires pour appréhender l'impact de ce phénomène d'accumulation**. Pour cela, il faudrait réaliser une étude STD en considérant qu'il n'y a pas de surventilation nocturne naturelle tant que la température intérieure ne dépasse pas 26°C en journée puis étudier la surchauffe en période caniculaire. Ensuite, il sera possible de comparer ces simulations de température avec un cas présentant une utilisation idéale. La quantification de l'impact de ce phénomène d'accumulation pourrait être présentée aux occupants pour les sensibiliser à ce phénomène.

Bonne pratique :

> ***Lors de la conception du bâtiment, dans les simulations thermiques dynamiques (STD), la prise en compte de ce phénomène d'accumulation permet de placer l'étude dans le cas d'une utilisation imparfaite,*** *assez représentative des erreurs que l'on peut constater dans l'usage réel des bâtiments. Il faudrait une étude plus vaste pour déterminer la part de logements présentant ce problème, mais une première approche à 30% pourrait être considérée.*

Remarque : on constate marginalement des erreurs sur l'utilisation "thermique" des logements. Par exemple, sur le graphique précédent, on peut observer que sur plusieurs journées les fenêtres de certains logements sont ouvertes, dégradant ainsi le confort thermique dans le bâtiment et impactant la température des autres logements. ***La mauvaise gestion des ouvertures en période estivale est approfondie dans la partie tertiaire, dans la suite de ce rapport.***

De plus, d'après ces relevés, il semble que **la température intérieure augmente avec les étages** et que les appartements sous toiture s'avèrent être les plus sujets à la surchauffe. Pour contrer ce problème, il est conseillé de ne **placer au dernier étage que des appartements traversants,**

permettant alors de favoriser la surventilation nocturne (naturelle) et ainsi diminuer la surchauffe dans ces appartements.

A contrario, **les appartements du rez-de-chaussée sont plus frais** que les autres. Cela s'explique par la valorisation de l'inertie et de la fraicheur du sol. De plus, on peut également noter qu'ils sont généralement moins exposés aux apports solaires que les étages supérieurs, qui sont moins ombragés et qui sont soumis à la transmission de la chaleur par la toiture. Ainsi, contrairement au dernier étage, on peut plus aisément **implanter des appartements à simple exposition au rez-de-chaussée** puisque la surchauffe est limitée.

Bonnes pratiques :

- ***Dans les bâtiments résidentiels, les brise-soleils mobiles sont bien utilisés, mais des brise-soleil fixes apportent une fiabilité supplémentaire ;***
- ***Il faut privilégier les appartements traversants ou à défaut, placer les appartements traversants au dernier étage et les appartements à simple exposition en rez-de-chaussée.***

En conclusion, **le bâtiment résidentiel passif étudié présente des températures relativement acceptables, même en période caniculaire.** De légères erreurs d'utilisation ont pu être constatées, notamment avant l'arrivée des fortes chaleurs. **Insister sur l'importance d'une bonne utilisation continue permet de limiter ce problème.**

2. Le confort estival dans les bâtiments tertiaires

De manière générale, **les températures constatées sont au-dessus des limites habituelles de confort.** En effet, les températures intérieures sont globalement plus élevées que dans les logements et il est fréquent de constater des **températures atteignant 30°C.** Même si elles sont relativement acceptables au vu des canicules exceptionnelles de cet été, ce niveau de température peut déjà poser problème pour les personnes les plus fragiles.

2.1. Limiter les apports solaires en période estivale

Les apports solaires sont souhaitables en hiver, mais il faut les éviter au maximum en été pour limiter la surchauffe des bâtiments.

Pour ce faire, il faut travailler sur 2 axes au moment de la conception du bâtiment :

- Placer et dimensionner les vitrages de manière opportune ;
- Protéger ces vitrages des rayons du soleil en période estivale.

Pour mémoire, le rayonnement solaire présente 2 composantes :

- Le rayonnement direct : prévoir des protections distantes (fixes ou végétales) ou proches du vitrage (habituellement mobiles pour ne pas empêcher les apports solaires en hiver) ;
- Le rayonnement diffus : prévoir des protections proches du vitrage.

2.1.1. Des vitrages bien placés et bien dimensionnés : la base de la conception bioclimatique

Comme évoqué dans le point « III.3.4 Trouver le bon compromis au niveau des vitrages » une attention particulière doit être accordée lors de la conception au dimensionnement et à la localisation des surfaces vitrées afin de retirer un maximum de bénéfice de ces éléments (lumière naturel, chauffage gratuit en hiver) tout en limitant leurs impacts négatifs, notamment les apports solaires non souhaités en été.

Il est donc très important de **positionner les locaux et leurs ouvertures en fonction de leur usage et de leur période d'utilisation.** Les protections solaires sont également à adapter à l'orientation des vitrages et à l'usage des locaux, ce point sera détaillé dans les prochaines parties.

2.1.2. Les protections solaires fixes : la valeur sûre pour le confort estival

Les brise-soleils fixes ne demandent **aucune intervention** et ils permettent de protéger efficacement le bâtiment en été : ils fonctionnent indépendamment de l'utilisateur et **empêchent ainsi la majorité des surchauffes.** Toutefois, **il est important que ces protections fixes ne gênent pas les apports solaires nécessaires au chauffage du bâtiment l'hiver.**

Sur la façade sud, il est particulièrement recommandé de recourir à des **brises soleils fixes horizontaux** pour protéger les vitrages en été et de les dimensionner de manière à permettre l'entrée du rayonnement solaire en période hivernal. En complément de cette protection fixe horizontale, il est préconisé de mettre en place également des protections solaires mobiles pour prévenir du rayonnement diffus et de la surchauffe en intersaison, mais leur impact sera amoindri par rapport aux autres orientations.

Exposition estivale des différentes façades et type de protections fixes à prévoir :

- Façade Nord : peu exposée au rayonnement direct – pas de protection fixe à prévoir ;
- Façade Sud : très exposée au rayonnement direct en milieu de journée – soleil au zénith - privilégier des protections solaires horizontales ;
- Façade Est : exposée au rayonnement direct en début de journée – soleil rasant – pas de protection fixe à prévoir ;
- Façade Ouest : exposée au rayonnement direct en fin de journée – soleil rasant – pas de protection fixe à prévoir.

→ **Il est toutefois indispensable de placer des protections extérieures pour chaque exposition (protections mobiles, saisonnières, végétales).**

2.1.3. Les protections extérieures saisonnières : 2 interventions par an pour un confort amplement amélioré

Il faut **absolument éviter les vitrages non protégés.** Il est fréquent de trouver des éléments non protégés et ils sont sources de surchauffe dans les bâtiments étudiés. Parmi ces éléments, on peut

notamment citer **les portes vitrées et les haut-jours.** Pour répondre à ce problème, il est préconisé de mettre en place des protections solaires saisonnières dès le mois de mai sur ces vitrages destinés à apporter de la lumière et de la chaleur en période hivernale (ex : voiles ou stores extérieurs).

2.1.4. Les protections végétales : la nature au service du confort

La végétation permet également de créer un écran protecteur en période estivale. On peut notamment **planter des arbres à feuillage caduque** pour créer un ombrage naturel qui suit les besoins du bâtiment (très faible ombrage en hiver et ombrage important en été). Pour être efficace, il faut toutefois **choisir l'espèce d'arbre adéquate** selon différents critères : taille adulte, durée de vie…

2.1.5. Prise en compte de l'albédo : éviter l'accumulation de chaleur dans les parois du bâtiment

Lorsque le rayonnement solaire atteint une surface, il est plus ou moins réfléchi. **Cette réflexion, qui dépend de la couleur et de la matière de la surface concernée, est nommée « albédo ».** Ce rapport entre l'énergie lumineuse réfléchie et l'énergie lumineuse incidente est comprise entre 0 (corps noir parfait) et 1 (miroir parfait).
Dès lors il s'agit de **prendre en compte dans l'environnement du projet et pour le bâtiment, l'aspect réfléchissant des matériaux à leur surface**, comme c'est le cas dans les régions du Sud et les pays chauds.
Ceci est particulièrement important en milieu urbain dense dépourvu d'aménagement paysager, afin de faire baisser localement de plusieurs degrés la température lors des épisodes de forte chaleur et ainsi **éviter le phénomène des îlots de chaleur.** Pour cela il faut favoriser les matériaux qui empêchent le stockage de la chaleur pendant les durées d'exposition au soleil.

Bonnes pratiques :

- ***Pour réduire les phénomènes de surchauffe pouvant entraîner inconfort et surconsommation d'énergie liée à une climatisation, il est important de choisir en conception, pour les surfaces exposées au soleil (hors vitrages), les teintes les plus claires possible pour réduire le coefficient d'absorption de ces matériaux.***
- ***Dans l'existant il est envisageable d'étudier la possibilité de repeindre ou de revêtir ces surfaces pour corriger les choix initiaux.***
- ***Ne pas oublier qu'en complément du choix de la teinte, l'enveloppe devra être isolée thermiquement et qu'une ventilation adaptée devra être mise en œuvre.***

2.1.6. Les protections solaires extérieures mobiles : le choix de l'adaptabilité à bien maîtriser

Cette technologie permet de limiter les apports solaires reçus dans les bâtiments dans les moments opportuns, tout en permettant des apports solaires valorisables en période hivernale. Leur bon fonctionnement est au cœur du confort d'été dans les bâtiments passifs.

Ces protections mobiles extérieures sont particulièrement efficaces pour protéger le bâtiment du rayonnement diffus et direct sur l'ensemble des façades du bâtiment.

Précision : Il est bien question dans cette partie de protections mobiles extérieures et non de protections mobiles intérieures, ces dernières ayant une efficacité moindre car elles laissent pénétrer les rayons solaires à l'intérieur du bâtiment. Il s'agit plus dans ce cas de protection contre l'éblouissement que d'une protection limitant les apports solaires (chaleur).

- *Une sensibilité au vent à prendre en compte*

Les **protections solaires extérieures mobiles sont très sensibles au vent.** Pour les protéger, une sécurité permet de les remonter en cas de vent fort. Cela peut poser problème si ces protections mobiles remontent en début de week-end ou de vacances sans être redescendus ensuite automatiquement : le bâtiment ne sera alors plus protégé du soleil et aura tendance à surchauffer fortement. **Ce problème impacte lourdement le confort estival et a été constaté dans plusieurs bâtiments de cette étude.**

La vitesse de vent limite est définie par le constructeur **en fonction du type de protection solaire** (BSO, store, volet …), **de leur fixation et de leur taille** (largeur et hauteur). Les deux derniers paramètres sont particulièrement importants.

Concernant la fixation de ces protections mobiles, il est vivement recommandé d'**utiliser des coulisses pour guider les protections solaires extérieures.** Ils permettent d'assurer une bien meilleure tenue au vent, réduisant ainsi le risque de surchauffe évoqué précédemment. Ce type de fixation permet également d'assurer une meilleure pérennité du système.

A gauche, un BSO guidé par un câble et à droite, un BSO guidé par une coulisse

Concernant la taille de ces protections mobiles, il est préférable de choisir **plusieurs petites protections solaires plutôt qu'une seule**, très large ou haute. La tenue au vent sera alors bien meilleure.

L'extrait ci-dessous illustre bien l'impact du mode de fixation et de la taille des protections mobiles sur leur sensibilité au vent :

Largeur [mm]	**Lames ourlées avec coulisse**		**Lames ourlées avec guidage par câble**	
	Force du vent [beaufort]	**Vitesse du vent** [m/s]	**Force du vent** [beaufort]	**Vitesse du vent** [m/s]
≤ 1500	7	(13,5 – 17,4)	7	(13,5 – 17,4)
1501-2000	7	(13,5 – 17,4)	7	(13,5 – 17,4)
2001-2500	7	(13,5 – 17,4)	6	(10,5 – 13,4)
2501-3000	7	(13,5 – 17,4)	6	(10,5 – 13,4)
3001-4000	6	(10,5 – 13,4)	6	(10,5 – 13,4)
4001-5000	6	(10,5 – 13,4)	6	(10,5 – 13,4)

Extrait de la documentation technique d'une gamme de brise-soleil orientables de la marque Harol

Par exemple, on peut constater que pour des baies vitrées de 2 à 3m de long, l'utilisation de câbles diminue la tenue au vent d'un point sur l'échelle de Beaufort, soit 14 km/h. Le choix des coulisses permet donc d'améliorer significativement la tenue au vent des BSO et donc leur action contre les potentielles surchauffes.

De manière générale, il faut sélectionner des équipements permettant de supporter les vents enregistrés sur le territoire du bâtiment. Par exemple, en Alsace, il est recommandé de sélectionner des produits **supportant un vent de force 7 sur l'échelle de Beaufort** (soit une vitesse de 62,6 km/h). Une telle résistance permet de maintenir les protections solaires baissées dans la grande majorité des situations.

Des particularités locales (altitude, structure naturelle, organisation des bâtiments adjacents au projet…) peuvent significativement augmenter la vitesse des rafales perçues par le bâtiment. Il faut donc être particulièrement vigilant sur ce point et étudier l'environnement du bâtiment.

Bonnes pratiques **:**

- *Réduire la largeur des protections mobiles*
- *Employer des coulisses de guidage plutôt que des câbles*
- *S'assurer de la vitesse du vent maximale dans le secteur du bâtiment (station météorologique locale et prise en compte de particularités locales).*

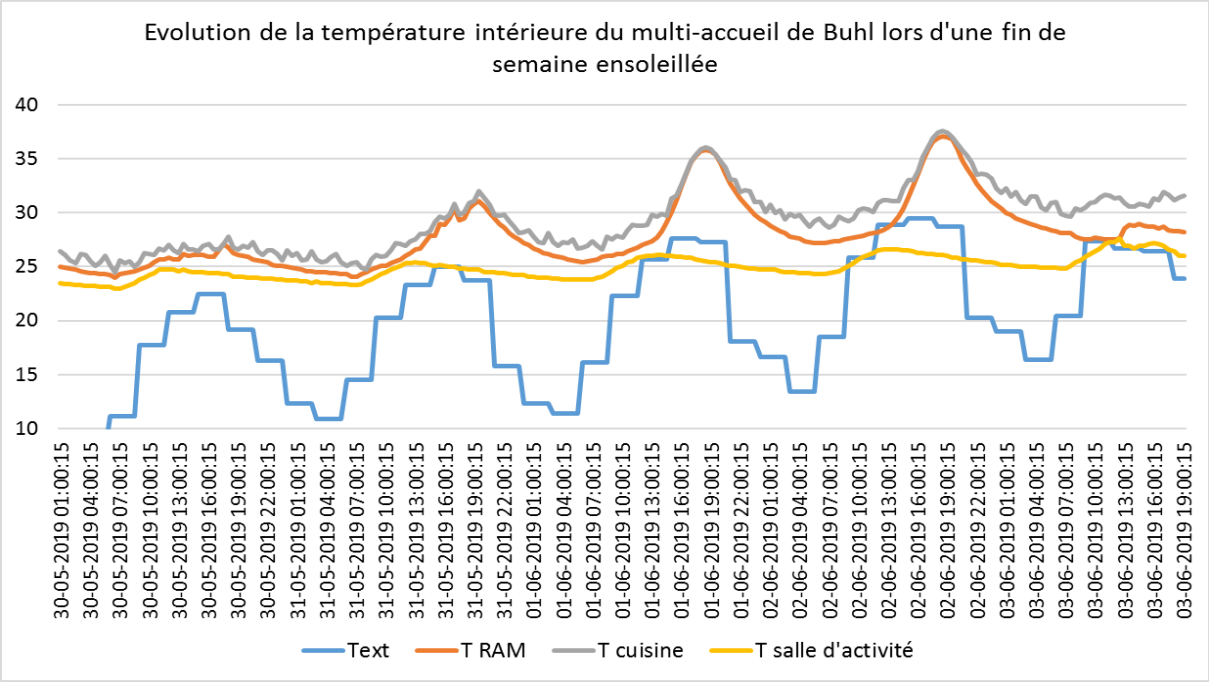
- *Un impact important des défauts d'utilisation*

De manière générale, les bâtiments tertiaires se différencient des logements par le fait que les occupants ne sont pas dans « leur bâtiment », ils ne sont pas les seuls utilisateurs. Or, **le confort estival est la conséquence d'un effort global** ; lorsque certains utilisateurs ne respectent pas les préconisations, le confort de tous peut être impacté et cela peut amener les utilisateurs motivés à se décourager.

De plus, **dans les bâtiments tertiaires, les utilisateurs ont tendance à ne pas faire attention aux équipements techniques et à leur bon usage**, soit par méconnaissance, soit parce qu'ils sont concentrés sur leur travail. Ils sont relativement détachés d'une recherche de confort estival du bâtiment et ne font que subir les périodes d'inconfort.

Ce constat s'observe notamment sur l'usage des protections solaires et il est particulièrement marqué pour des locaux à occupation intermittente (ex : cuisines, salle d'accueil périscolaire) **et des locaux prêtés ou loués à des intervenants extérieurs/occasionnels** (ex : salles de réunion, salles polyvalentes).

Ce constat s'appuie notamment sur l'exemple du multi-accueil de Buhl, dans lequel la température intérieure de 3 locaux a été suivie du jeudi 30/05 au lundi 03/06/2019. Au cours de cette période, la température extérieure est montée à près de 30 °C en journée, mais les nuits ont été relativement douces.



Les locaux suivis présentent les caractéristiques suivantes :

- Local RAM : local à occupation intermittente : quelques jours dans la semaine (vendredi exclu) – orientation ouest
- Cuisine : local à occupation intermittente : non utilisé les après-midis – orientation ouest

- Salle d'activité, **représentant le confort général dans le bâtiment :** occupation régulière toute la semaine – orientation plein sud

Le graphique est très révélateur du fonctionnement du bâtiment. En effet, dès le vendredi 31/05 à 15h, le local RAM et la cuisine ne sont plus occupés. Au vu des températures intérieures, il semble que ces locaux ne soient pas protégés du soleil. La surchauffe atteint alors 31°C dès le vendredi 31/05 vers 19h avant de dépasser 37°C le dimanche 02/06.

Ensuite, dès lundi 03/06 matin, l'ensemble du bâtiment est ventilé par ouverture des fenêtres afin d'évacuer le surplus de chaleur accumulé. (Cela se voit sur le graphique par le fait que tous les relevés tendent subitement vers la température extérieure.) Toutefois, en fin de journée, la température y reste très élevée.

A contrario, la température de la salle d'activité reste stable et n'augmente pas particulièrement pendant le week-end. Les BSO sont certainement descendus par les occupants lors de leur présence et reste en position descendus pendant tout le week-end (sauf en cas de vent violent). Ce local, à occupation régulière, montre le contraste que l'on retrouve sur **l'utilisation des protections solaires en fonction de la régularité de l'occupation des locaux. Dans cette pièce, le confort estival est globalement assuré et maîtrisé.**

De plus, on observe que **les pics de chaleur des différents locaux sont décalés dans le temps en fonction de l'orientation des locaux :** une façade plein sud (salle d'activité) tend à surchauffer vers 12h tandis que la façade ouest (local RAM + cuisine) surchauffe vers 18-20h. Cette surchauffe de fin de journée sur la façade ouest peut conduire à un défaut d'utilisation des protections solaires mobiles puisqu'elle intervient parfois après le départ des occupants. Aucun utilisateur n'aura alors été dérangé par l'ensoleillement direct et les protections mobiles n'auront pas été employées. **L'orientation ouest augmente donc le risque de la mauvaise utilisation des protections solaires mobiles.**

Remarque : Il est également difficile de protéger cette façade ouest avec des protections solaires fixes. En effet, les protections fixes devraient être verticales sur la façade ouest pour remplir ce rôle, mais une telle disposition limiterait également les apports solaires hivernaux et augmenterait alors le besoin de chauffage. Une protection végétale de la façade ouest avec un feuillage caduc pourrait être un bon compromis, lorsque celui-ci est envisageable au niveau des espaces extérieurs.

Bonnes pratiques :

- *Pour les bâtiments tertiaires,* ***éviter une orientation ouest ;*** *a minima, il faut veiller à ne placer sur la façade ouest que* ***des utilisateurs réguliers sensibilisés à l'usage des BSO ;***
- ***Placer des locaux dans lesquels une utilisation manuelle des protections solaires risque d'être défaillante (occupation intermittente : locaux loués ou prêtés à des occupants non sensibilisés à l'usage des protections mobiles) en façade nord ou façade sud avec protection solaire fixe.***
- *En cas d'occupation irrégulière des locaux, employer des protections fixes en complément des protections solaires mobiles*

- *Une gestion semi-automatisée pour un confort optimal*

Pour pallier les éventuels défauts d'utilisation, il est recommandé d'automatiser en partie la gestion des protections solaires mobiles. Cette automatisation peut être **régulée en fonction de plages horaires ou commandée par des sondes d'ensoleillement.**

Bonne pratique :

> ***Pour les locaux à occupation régulière, il est opportun d'automatiser une à deux fois la descente des BSO à des moments fixes (pour éviter de gêner les utilisateurs) et de laisser ensuite la possibilité aux utilisateurs de gérer ces protections manuellement.***

En plus d'être simple et économique, une telle régulation réduit l'intervention des utilisateurs et permet de limiter l'impact de la sensibilité au vent et des erreurs d'usage sur la surchauffe : si une forte bourrasque survient le matin, les BSO remontés automatiquement seront à nouveau descendus pour protéger le vitrage pendant l'après-midi.

Pour les locaux à occupation intermittente (ex : cuisines, salle d'accueil périscolaire) **et les locaux prêtés ou loués à des intervenants extérieurs/occasionnels**, sans protection solaire fixe, il est presque **indispensable d'opter pour une régulation basée sur l'ensoleillement perçu par paroi**, rendant l'utilisation manuelle facultative. En phase étude, il est préférable de déterminer si ces locaux ne peuvent pas être positionnés plutôt sur la façade nord (moins exposée aux apports solaires) ou sur la façade sud avec une protection solaire fixe ne nécessitant pas d'intervention manuelle ou automatique.

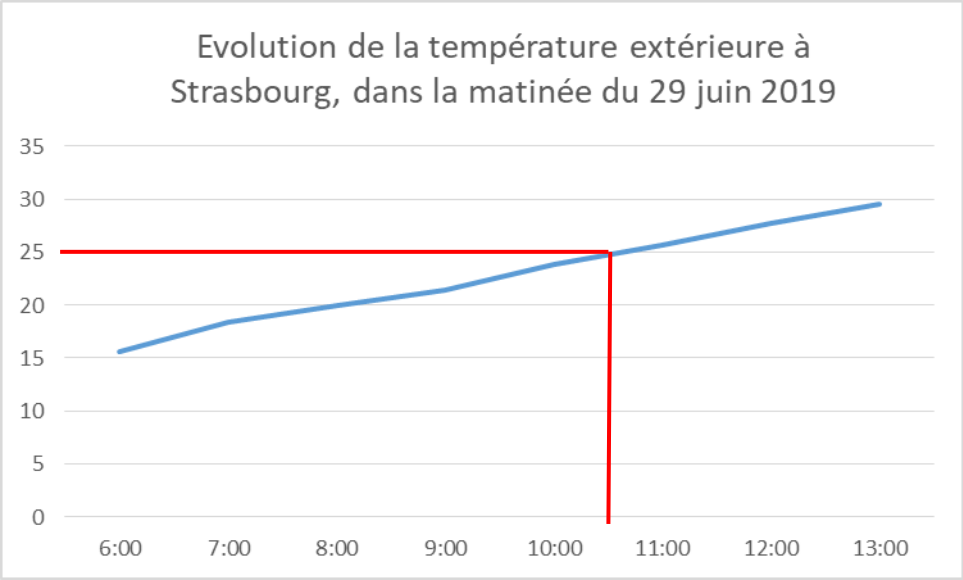
2.2. Limiter les apports internes électriques en période estivale

Comme évoqué précédemment, **l'éclairage automatique constitue une cause fréquente de surchauffe** dans les bâtiments tertiaires. Assurer un **réglage adéquat est fondamental** pour garantir un confort estival correct. L'équipe de maitrise d'œuvre doit donc être particulièrement vigilante sur ce point.

Enfin, **les équipements techniques** sont également une **cause de surchauffe** constatée dans les bâtiments tertiaires. Ces équipements doivent être si possible cloisonnés dans des locaux techniques (en dehors du volume isolé) pour ne pas diffuser la chaleur dans bâtiment. Toutefois, localement, les températures générées peuvent être très élevées et constituent une source d'inconfort très importante. Pour solutionner ce problème, il est recommandé d'utiliser un **système de rafraîchissement et de prévoir une ouverture sur l'extérieur.** En effet, si les apports internes sont trop importants, la température intérieure peut dépasser la température extérieure. L'ouverture du local technique vers l'extérieur permettra de ventiler naturellement le matin et le soir – voire en journée – pour diminuer la température intérieure.

2.3. Aérer naturellement le bâtiment au moment opportun

La gestion de la ventilation naturelle est un problème récurrent fortement liée au comportement des utilisateurs. En effet, il est recommandé d'ouvrir les fenêtres dès que la température extérieure descend en-dessous de la température intérieure des locaux. Dans la majorité des cas, cela revient à ouvrir les fenêtres tôt le matin, à l'arrivée des occupants. Cependant, comme l'illustre la figure ci-dessous, la température extérieure augmente rapidement dans la matinée.

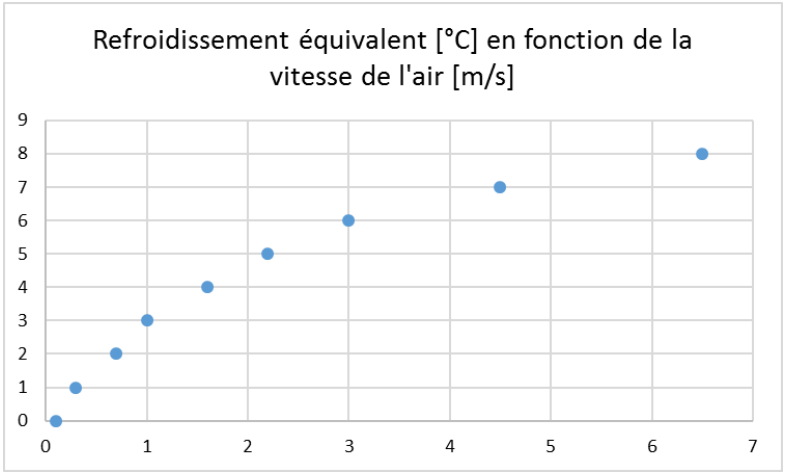


Dans cet exemple, il faut fermer les fenêtres dès 10h30, si la température à l'intérieur du bâtiment est de 25°C. Il est cependant **très fréquent que les utilisateurs oublient de fermer les fenêtres à temps** et les laissent ouvertes plus tard, jusqu'à midi par exemple. Ce problème s'explique de plusieurs manières.

Premièrement, il est courant de rencontrer **des personnes ayant pour habitude d'ouvrir les fenêtres en permanence en période estivale.** En effet, la fréquence des canicules ne s'est accélérée que récemment et les « bons gestes » ne sont donc pas encore bien assimilés par la majorité des utilisateurs.

Deuxièmement, comme la différence de température entre l'ambiance et l'extérieur est plus faible en été qu'en hiver, **les utilisateurs perçoivent difficilement la chaleur qui s'engouffre dans l'air ambiant.**

Enfin, le **léger courant d'air créé par l'ouverture des fenêtres diminue la température ressentie** par le corps humain. Le graphique ci-après montre la relation entre la diminution de la température ressentie et la vitesse de l'air :



Même s'il est difficile (sans mesure) d'établir la vitesse du courant d'air, engendré par le vent et le tirage thermique, le refroidissement ressenti peut s'avérer non négligeable, même avec de faibles vitesses d'air. **Les utilisateurs pourraient alors avoir la sensation d'avoir plus chaud en fermant les fenêtres qu'en les laissant ouvertes. Toutefois, c'est bien de l'air chaud qui entre dans le bâtiment à ce moment-là et qui va amplifier l'inconfort thermique sur le long terme.**

Pour répondre à cette problématique, il y a plusieurs possibilités complémentaires :

- **Encourager les utilisateurs à fermer les fenêtres dès 10h du matin** (horaire à adapter, cf. bonne pratique ci-dessous).
  Cette solution est « simple » à mettre en œuvre mais les résultats s'avèrent mitigés.
- **Placer quelques voyants lumineux - dans des endroits « stratégiques » - qui s'allument lorsque la ventilation par les fenêtres s'avère positive** (T ext < T int et T int > Tmini souhaitée).
  De cette manière, on intervient sur la perception de l'utilisateur et on lui indique quand ouvrir ou fermer la fenêtre. Ce système est toutefois invasif et plus coûteux.
- **Mettre à disposition des ventilateurs ou brasseurs d'air** pour que les utilisateurs puissent reproduire le courant d'air recherché par l'ouverture des fenêtres.

Bonne pratique :

> ***Pour limiter les erreurs d'utilisation, il est recommandé de faire coïncider l'heure à laquelle les fenêtres doivent être ouvertes/fermées avec le fonctionnement du bâtiment. En période caniculaire, cette pratique devra toutefois être adaptée en fonction de l'évolution de la température extérieure.*** *Par exemple, si les utilisateurs commencent à 8h et prennent leur pause à 11h, on peut les inciter à ouvrir les fenêtres entre 8 et 11h, en rythme avec leur quotidien. Même si pendant quelques minutes la température extérieure risque d'être supérieure à la température intérieure, le résultat global reste positif. En période caniculaire, il pourrait être demandé d'anticiper la fermeture des fenêtres.*

Pour solutionner ce point, fréquemment problématique, il n'y a donc pas de solution idéale. Il faut donc essayer d'insister pour que les utilisateurs adoptent les bons gestes et leur expliquer que leur ressenti peut parfois s'avérer trompeur.

Remarques :

- *Les problèmes de surchauffe estivale liée à l'ouverture des fenêtres sont moins fréquents dans les bâtiments résidentiels car les logements sont principalement occupés le soir et le matin. Comme ces horaires sont plus propices à la ventilation naturelle estivale, les erreurs sur l'ouverture des fenêtres sont moins problématiques.*
- ***En intersaison ou en été « standard »,** on constate les mêmes problèmes que dans les logements. **Les utilisateurs font très peu attention à l'utilisation du bâtiment et la chaleur accumulée a des répercussions sur le confort estival.** Il faut insister sur ce point auprès des utilisateurs pour limiter les erreurs d'usage.*

3. Les systèmes de rafraichissement non thermodynamiques : un complément optimal à une bonne conception bioclimatique

Pour répondre aux problématiques soulignées précédemment, il est recommandé d'avoir recours à des systèmes de rafraichissement non thermodynamiques. Dans ce retour d'expérience, **ils ont montré leur efficacité et leur intérêt.**

Jusqu'en 2019, l'appel à projets Bâtiments exemplaires passifs n'autorisait pas le recours à des systèmes de rafraichissement thermodynamique. Ils ne seront donc pas étudiés dans ce retour d'expérience.

3.1. La surventilation nocturne

La surventilation nocturne est un moyen efficace de rafraîchir le bâtiment en faisant rentrer l'air extérieur lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure.

Pour ce faire, il est possible de recourir à **une aération naturelle au moyen de l'ouverture de certaines menuiseries extérieures. Pour être efficace, le tirage naturel et l'aspect traversant des locaux sont essentiels.** Bien que très efficace et peu énergivore, cette solution passive n'est pas toujours mise en œuvre, notamment pour des problèmes de sécurité du bâtiment. Toutefois, si la disposition du bâtiment le permet, des ouvertures peuvent être apposées dans une partie sécurisée du bâtiment (cours intérieure, puit de lumière …) permettant ainsi de répondre au problème de sécurité. Il faudra toutefois veiller au bon emploi de ce principe auprès des utilisateurs.

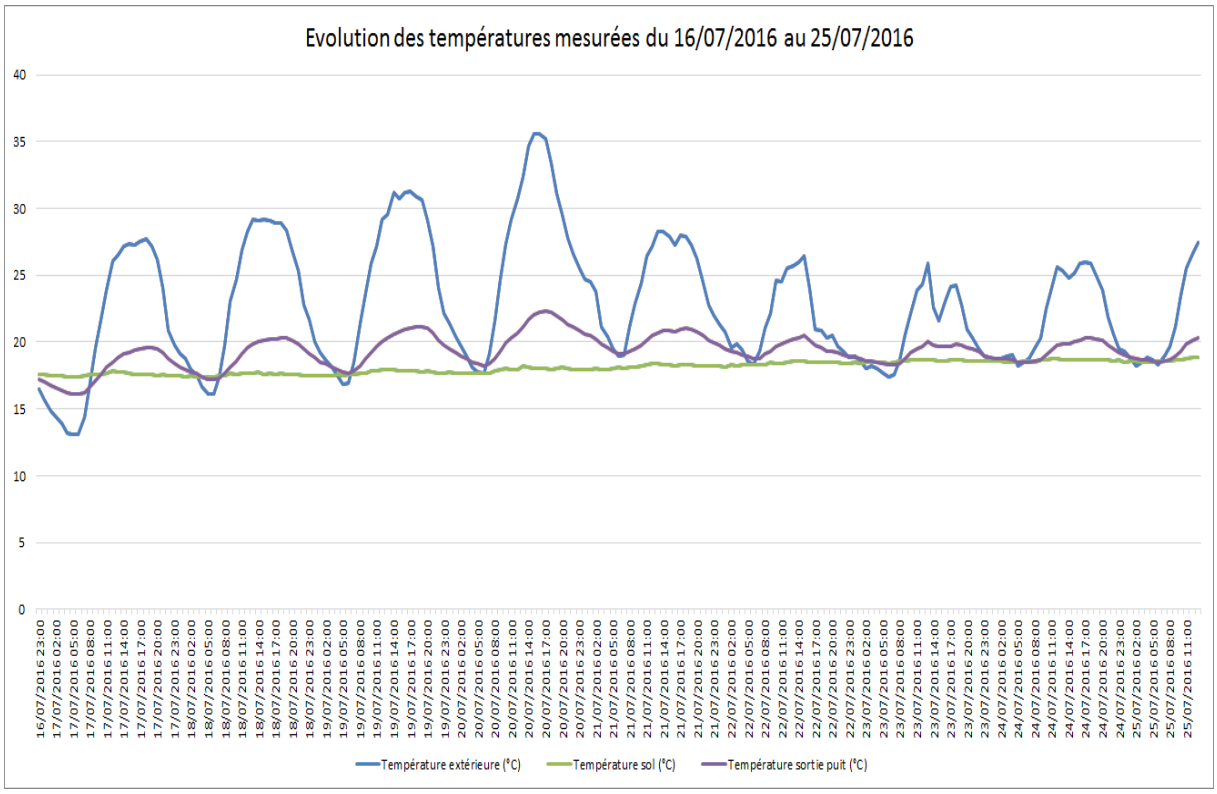
Bonne pratique :

> ***Préconiser toute solution architecturale qui permet l'adaptation de l'ouverture nocturne des baies y compris en rez-de-chaussée** (doubles parois, retraits, grilles fixes ou mobiles permettant l'ouverture des fenêtres, …)*

L'aération nocturne au travers d'une **surventilation via le système de ventilation double flux** permet également de bénéficier d'une diminution de température en profitant d'un système déjà présent dans le bâtiment. Cette solution déjà reconnue, très « standard », n'a pas fait l'objet d'une analyse particulière dans le cadre de ce retour d'expérience.

3.2. Les puits canadiens aérauliques

Le bâtiment mixte de Jebsheim est équipé d'un puit canadien aéraulique. L'entreprise Elixair, le fabriquant et l'installateur du puit, a effectué un suivi instrumenté pour mesurer les performances de ce système, peu expérimenté à l'époque. Suite à des problèmes de comptage, l'entreprise a eu quelques difficultés à obtenir un suivi continu des performances. Seules les courbes présentées ci-dessous ont pu être obtenues.

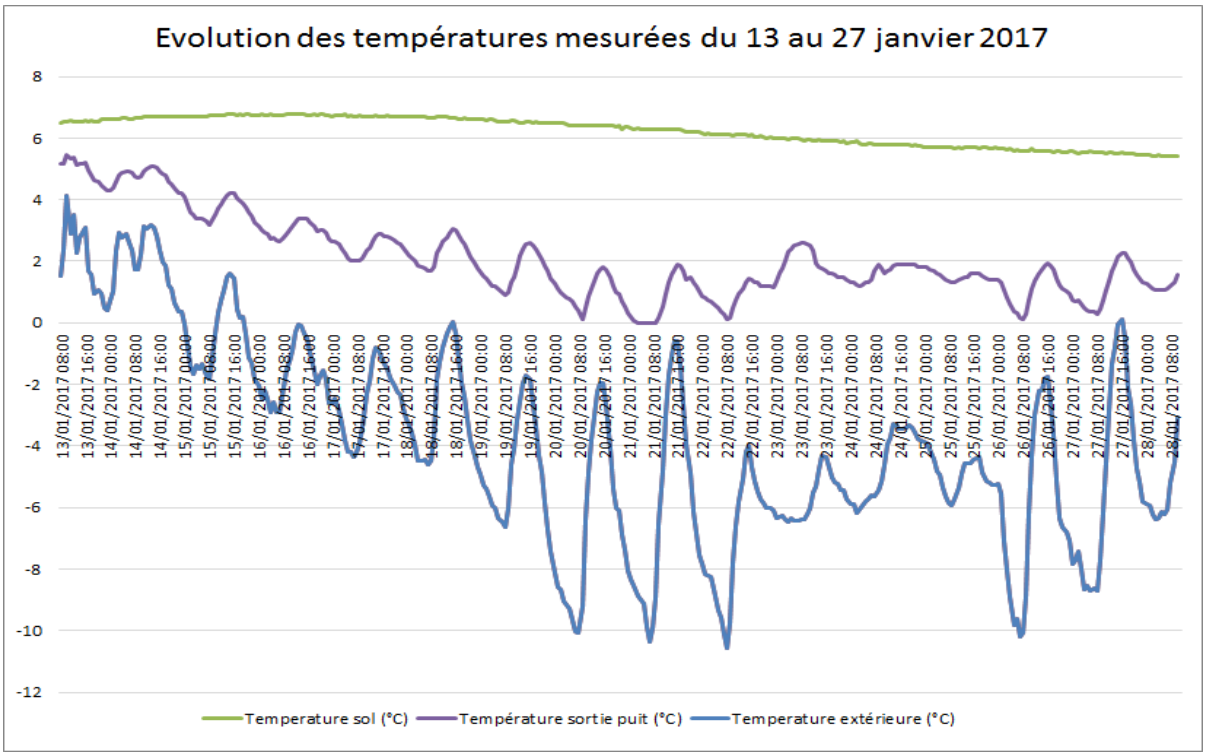


<u>Remarque</u> : lorsque la température en sortie du puit est supérieure à la température extérieure, l'air neuf transite en réalité par un by-pass. Cela n'est pas visible sur ce graphique.

En période estivale, on constate que le puit canadien permet de refroidir l'air neuf jusqu'à un maximum de 22°C (à l'heure la plus chaude de la journée), soit une valeur inférieure à celle que l'on peut obtenir via l'échangeur de la VMC double flux. Ainsi, en moyenne, sur la journée la plus chaude, le puit canadien refroidit à hauteur de 770W **de plus que s'il n'y avait qu'une ventilation double flux**, soit **2,2 W/m²** de rafraîchissement. C'est une valeur non négligeable pour ce type de bâtiment : elle correspond à plus de la moitié des apports internes !

<u>Remarque</u> : Le relevé ci-dessous a permis de déterminer l'efficacité du puit canadien en hiver : 57%. La valeur de rendement géothermique saisie dans le fichier PHPP était initialement de 15%, ce qui sous-estimait fortement l'efficacité de ce système. Pour autant, l'écart des besoins de chauffage après correction n'était que de - 5%. Cela souligne le faible impact de ce système sur la consommation de

chauffage des bâtiments passifs, qui sont systématiquement équipées de ventilations double flux à excellents rendements.



3.3. Le rafraichissement adiabatique

Cette technologie a été employée dans le multi-accueil de Buhl. N'ayant pas fait l'objet d'un suivi sur les températures de soufflage, **il n'est pas possible d'établir avec exactitude la capacité de ce système à rafraichir le bâtiment.** Toutefois, les températures constatées dans le bâtiment sont faibles et au vu des charges du bâtiment, on peut donc supposer **que ce système contribue fortement à la limitation de la température intérieure.**

3.4. Les ventilateurs ou brasseurs d'air plafonniers

Ce type de système n'a pas été rencontré dans les bâtiments étudiés. Toutefois, il constitue une solution simple et efficace pour diminuer la température ressentie à l'intérieur des bâtiments.

En effet, comme nous l'avons vu précédemment, **une légère brise peut diminuer la température ressentie de quelques degrés. Cette technologie permet donc d'améliorer significativement le confort estival.**

Les intégrer dès la conception permet d'augmenter leur efficacité et d'améliorer leur intégration dans l'esthétique du bâtiment.

4. Hiver/été : le compromis pour une consommation optimisée et un confort en toute saison

Cette partie n'est pas issue de constats du retour d'expérience mais est un rappel des bases de conception pour les bâtiments passifs. Ces bases sont générales et le bureau d'études thermiques doit systématiquement s'assurer de leur applicabilité pour le projet.

La limite du besoin de chauffage à 15 kWh/m².an semble être une valeur optimale. Rechercher un besoin de chauffage plus faible risque d'avoir des conséquences sur le confort estival des occupants et aboutir à une consommation plus importante liée au rafraîchissement estival.

Il est important de toujours peser les conséquences d'un choix de conception sur toutes les saisons.

Ainsi, il convient **de ne pas trop vitrer les bâtiments. La valorisation des apports solaires est importante en hiver** mais elle **contribue activement à la surchauffe estivale**. Cependant, favoriser les apports solaires **revient à augmenter la lumière naturelle** dans les bâtiments. On diminue ainsi la consommation de l'éclairage artificiel et donc les charges internes des bâtiments. Il serait donc pertinent d'estimer la consommation d'éclairage en fonction de la lumière naturelle du bâtiment et de **trouver le meilleur compromis entre ces trois points.**

Remarque : au vu du faible nombre de projets étudiés, il est difficile d'établir des valeurs conseillées sur les ratios de vitrage par orientations.

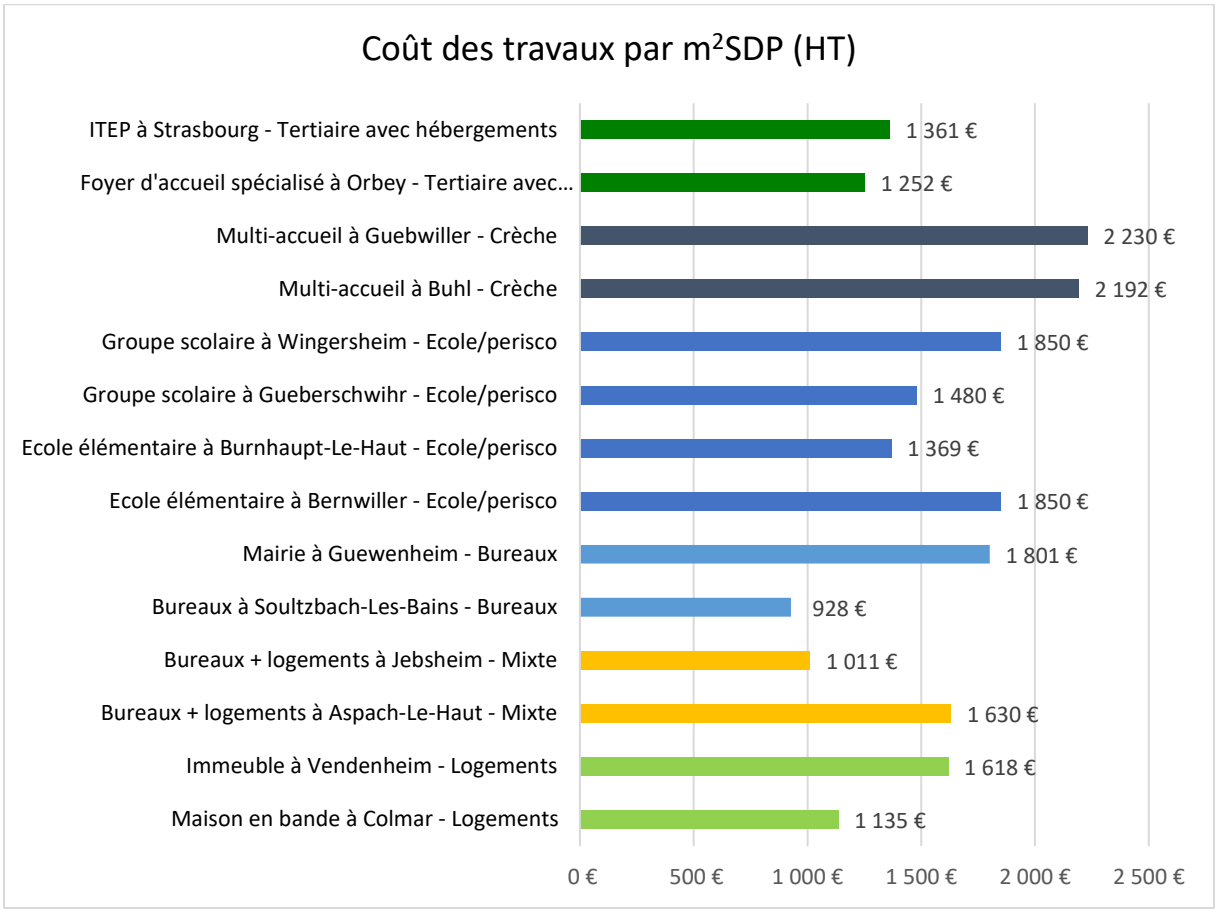
Selon la même logique, **l'épaisseur de l'isolation doit tendre à être optimisée afin d'éviter l'effet thermos**, qui s'avère contreproductif une fois la chaleur accumulée dans le bâtiment. La diminution des épaisseurs d'isolant présente donc un intérêt financier et sur le confort estival. Cependant, comme pour le point précédent, il faut trouver la valeur limite pour ne pas trop augmenter les besoins de chauffage tout en assurant un confort d'été optimal. Il semble **particulièrement intéressant de minimiser l'épaisseur de l'isolation de la dalle basse**, surtout pour les bâtiments de plain-pied. On peut ainsi mieux profiter de l'inertie et de la fraicheur du sol en été, réduisant alors la température intérieure.

V/ Coût des bâtiments passifs : quelques chiffres sur les bâtiments étudiés

Cette partie a pour objectif de présenter les coûts moyens constatés dans les bâtiments étudiés. Ces données sont issues soit des pièces de marchés notifiées, soit d'un retour d'expérience sur les bâtiments BBC effectué précédemment pour le compte de la Région Alsace, soit d'informations données directement par le maître d'ouvrage. **Elle ne constitue pas une analyse économique du modèle des bâtiments passifs.** On ne cherche à montrer ici que le résultat global des différents choix opérés. Les données énoncées pourront notamment donner des ordres de grandeur de coût pour les futurs projets.

1. Travaux – coût des travaux

Le coût moyen des travaux (hors étude) de chaque bâtiment étudié est indiqué ci-après :



Moyenne par typologie des coûts de travaux par m²SDP (HT)

Tertiaire avec hébergements	Crèche	Ecole et/ou périscolaire	Bureaux	Mixte (bureaux + logements)	Logements
1 307 €	2 211 €	1 637 €	1 365 €	1 321 €	1 377 €

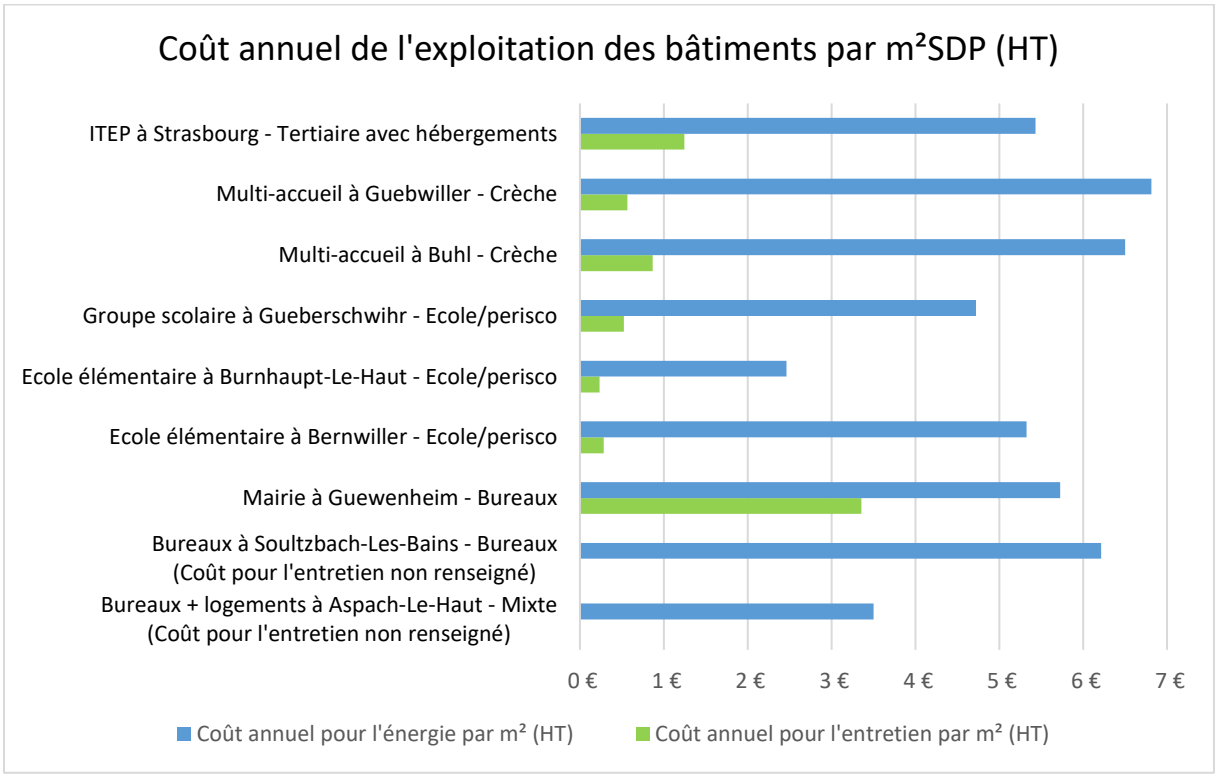
Ce coût varie entre **930 et 2 200 € HT par m² de surface de plancher**. On peut observer une forte disparité à cause de particularités propres aux projets. Parmi celles qui engendrent un surcoût, on peut noter les ossatures bois et l'isolation biosourcée. Ces matériaux représentent toutefois un gain réel dans le cycle de vie du bâtiment et améliorent la qualité d'air intérieure.

La moyenne est de 1 550 € HT par m² de surface de plancher, soit une valeur relativement comparable à celle rencontrée pour les bâtiments BBC.

Les coûts de maîtrise d'œuvre sont par contre plus importants que sur des projets réglementaires. En effet, il est nécessaire de réaliser des études complémentaires pour assurer une conception bioclimatique du bâtiment. Le chantier nécessite également un suivi plus régulier pour atteindre le niveau d'étanchéité à l'air requis. Les subventions de l'appel à projets porté par la Région Grand Est ont permis de limiter le surcoût de la maitrise d'œuvre, ce qui accentue la pertinence de cette typologie de bâtiment.

2. Exploitation du bâtiment

Le coût annuel d'exploitation du bâtiment pour l'énergie consommée (tous postes confondus) et pour l'entretien des systèmes climatiques des bâtiments étudiés est indiqué ci-après :



<u>Remarque</u> : certains projets n'ont pas pu être présentés ici. Premièrement, toutes les données n'ont pas pu être récoltées. ***Il a notamment été impossible d'obtenir la facture d'électricité des locataires***

dans les logements. *Ensuite, certains maîtres d'ouvrage assurent l'entretien (voire même la production d'énergie) et il n'est donc pas possible d'indiquer un coût annuel.*

Sur les bâtiments étudiés, **le coût moyen alloué à l'énergie est de 5,2 € HT/m²SDP.**

Le coût moyen de la maintenance est de 1 € HT/m²SDP. Il varie entre 0,25 € et 3,4 € HT/m²SDP. Cette forte amplitude est directement reliée à la taille du bâtiment. **Le coût de la maintenance est souvent établi par forfait** et des bâtiments de 200 et 500m² vont donc payer le même tarif pour l'entretien des systèmes CVC. Le prix par m² sera donc plus important pour les petits bâtiments. **Toutefois, la maintenance représente un enjeu fondamental pour assurer la pérennité du bâtiment (maintien des réglages, durée de vie des systèmes…).**

3. Approche par coût global

Enfin, cette partie présente l'impact économique réel du bâtiment par une approche en coût global. Pour mener cette étude, la démarche recommandée dans l'appel à projets de la Région Grand Est a été utilisée, à savoir : considérer un taux d'inflation de 6% pour le coût de l'énergie, de 2% pour le coût de la maintenance et un taux d'actualisation de 4% pour les deux postes de dépenses.

L'approche en coût global permet de visualiser que sur 20 ans, en moyenne :

- **9% du coût du bâtiment passif est engendré par son exploitation** (hors consommation d'eau, abonnement internet, changement luminaire …) ;
- **91% des dépenses sont allouées à la construction du bâtiment.**

En conclusion, le coût de construction représente de loin le poste de dépense le plus important et d'après les projets étudiés, il n'y a pas de surcoût notable par rapport aux constructions BBC.

VI/ Performances des systèmes dans les bâtiments étudiés

Cette partie a pour but de présenter les systèmes techniques rencontrés dans le cadre du retour d'expérience et de les qualifier vis-à-vis de leur performance dans chaque typologie de bâtiment. **Ils seront évalués selon leur intérêt technique et leur adéquation avec l'usage réel dans les bâtiments.**

Remarque : plusieurs équipements ont la même analyse dans des typologies différentes, il y a donc plusieurs répétitions. C'est pourquoi, **cette partie doit être appréhendée comme un « catalogue » de solutions techniques triées par typologie de bâtiments.**

Le code couleur utilisé pour indiquer les performances de chaque système est le suivant :

- Système fortement recommandé
- Système plutôt efficace et adapté
- Système peu recommandé, comportant de multiples défauts
- Système à proscrire

1. Bâtiments résidentiels

1.1. Chauffage

1.1.1. Production

Type de générateur	Performance	Remarques
Chaudière à granulés de bois		+ Régime de température élevé* + Très bon ratio énergie finale/énergie primaire + Energie renouvelable + Prix du kWh + Bonnes performances - Encombrement - Investissement et entretien importants (silo, ballon tampon …) - Entretien et logistique lourds
Chaudière gaz à condensation		+ Facilité d'installation + Bon marché + Bonnes performances - Energie fossile (sauf biogaz)
Chaudière cogénération gaz (type stirling)		+ Production d'électricité + Bonnes performances mais doit être sous-dimensionnée - Energie fossile - Investissement très important - Cycle court à proscrire: utilisation d'un ballon tampon et d'une deuxième chaudière
Pompe à chaleur eau/eau		+ Bonnes performances + Rapport COP/coefficient de conversion d'énergie finale/primaire < 1 - Régime d'eau très basse température* - Investissement important
Electrique		+ Bon marché - Consommation très importante d'énergie primaire

** : les régimes d'eau très basse température ne permettent pas la production d'ECS par le même vecteur et sont peu appréciés par les occupants et. Comme les radiateurs sont froids, les utilisateurs peuvent avoir l'impression qu'ils ne sont pas fonctionnels. Ce phénomène va alors entrainer de gros problèmes d'usage ; notamment une augmentation de la température intérieure et des plaintes. (En cas de plancher chauffant, il n'y a pas de problème.)*

1.1.2. Emetteur de chauffage

Type d'émetteur	Performance	Remarques
Radiateur		+ Système traditionnel : les occupants savent s'en servir + Bon marché + Efficace + Réglage localisé - Encombrant et visible - Attention au régime de température (CF remarque précédente*)
Batterie chaude hydraulique		+ Très bon marché + Non visible + Facilité d'entretien - Une programmation par zone - Faible puissance
Plancher chauffant		+ Non visible + Confortable - Cher - Régulation difficile : forte inertie - Une programmation par zone

1.2. Eau chaude sanitaire (ECS)

Type de générateur	Performance	Remarques
Chaudière gaz à condensation		+ Facilité d'installation + Bon marché + Bonnes performances - Energie fossile - Auxiliaire d'ECS
Chaudière à granulés de bois		+ Très bon ratio énergie finale/énergie primaire : permet plus de flexibilité sur d'autres points + Energie renouvelable + Prix du kWh - Maintien en température du ballon tampon - Encombrement - Investissement important (silo, ballon tampon …) - Auxiliaire d'ECS - Entretien et logistique lourds
Chaudière cogénération gaz		+ Production d'électricité + Bonnes performances mais doit être sous-dimensionnée - Energie fossile - Investissement très important - Maintien en température d'un ballon tampon - Cycle court à proscrire : utilisation d'un ballon tampon et d'une deuxième chaudière - Auxiliaire d'ECS
Ballons électriques à accumulation répartis dans le bâtiment		+ Bon marché + Aucun auxiliaire d'ECS - Consommation très importante d'énergie primaire

Il existe également des systèmes de type tour compacte et les ballons thermodynamiques qui permettent également d'assurer la production d'ECS. Toutefois, ces technologies n'ont pas été rencontrées pendant cette étude et nous n'avons par conséquent pas approfondi ces systèmes.

1.3. Protection solaire

Type de protection	Performance	Remarques
Brise-soleil orientable		+ Permet de concilier l'éclairage naturel et la protection solaire + Esthétisme - Opacité perfectible : à utiliser dans les pièces de vie - Résistance au vent
Volet roulant électrique		+ Bon marché + Sécurité accrue + Facilité d'entretien et d'utilisation + Opacité totale : à utiliser dans les chambres - Aucun éclairage naturel si utilisé*
Brise-soleil fixe (horizontal ou vertical)		+ Ne nécessite aucune intervention + Protège efficacement en été + Permet de concilier l'éclairage naturel et la protection solaire - Peu efficace en intersaison (dimensionnement difficile)
Volet battant		+ Très bon marché + Sécurité accrue - Opacité perfectible - Utilisation contraignante, par l'extérieur - Aucun éclairage naturel si utilisé*
Arbre		+ Ne nécessite aucune intervention pour protéger du soleil + Permet de concilier l'éclairage naturel et la protection solaire + Esthétique + Evapotranspiration - Délai nécessaire pour la croissance de l'arbre - Entretien - Peu efficace pour les immeubles de grande hauteur
Store intérieur		+ Permet d'apporter de l'intimité dans le logement - Réduit l'éclairage naturel - Diminue la diffusion des apports solaires - Très peu efficace pour se protéger du soleil : **risque de confusion dans l'usage réel**

**** : Dans le retour d'expérience, nous avons constaté qu'une partie des utilisateurs avait tendance à ouvrir les volets pour avoir un peu de lumière naturelle, réduisant ainsi la protection solaire des vitrages.***

Remarque : comme nous l'avons vu précédemment, les protections solaires sont bien utilisées dans les logements. Leur automatisation n'est donc pas nécessaire.

Système de rafraichissement (non thermodynamiques)

D'après les relevés de température, les systèmes de rafraichissement ne sont pas nécessaires dans les logements.

2. Bâtiment tertiaire

2.1. Chauffage

2.1.1. Production

Type de générateur	Performance	Remarques
Chaudière à granulés de bois		+ Régime de température élevé* + Très bon ratio énergie finale/énergie primaire + Energie renouvelable + Prix du kWh + Bonnes performances - Encombrement - Investissement important (silo, ballon tampon …) - Entretien et logistique lourds
Chaudière gaz à condensation		+ Facilité d'installation + Bon marché + Bonnes performances - Energie fossile
Chaudière cogénération gaz		+ Production d'électricité + Bonnes performances mais doit être sous-dimensionnée - Energie fossile - Investissement très important - Cycle court à proscrire: utilisation d'un ballon tampon et d'une deuxième chaudière
Pompe à chaleur eau/eau		+ Bonnes performances + Rapport COP/coefficient de conversion d'énergie finale/primaire < 1 - Régime d'eau très basse température* - Investissement important
Electrique		+ Bon marché - Consommation très importante d'énergie primaire

** : **les régimes d'eau très basse température sont peu appréciés par les occupants.** Comme les radiateurs sont froids, les utilisateurs ont l'impression qu'ils ne sont pas fonctionnels. Ce phénomène va souvent entrainer de gros problèmes d'usage ; notamment une augmentation de la température intérieure et des plaintes.*

2.1.2. Emetteur de chauffage

Type d'émetteur	Performance	Remarques
Radiateur		+ Système traditionnel : les occupants savent s'en servir + Bon marché + Efficace + Réglage localisé - Encombrant et visible
Batterie chaude hydraulique		+ Très bon marché + Non visible + Facilité d'entretien - Une programmation par zone - Faible puissance
Plancher chauffant		+ Non visible + Confortable - Cher - Régulation difficile : forte inertie - Une programmation par zone

<u>Remarque</u> : les planchers chauffants s'avèrent non nécessaires pour les crèches. Le multi-accueil de Guebwiller n'en est pas équipé et selon les utilisateurs, la température au niveau du sol est très satisfaisante.

2.2. ECS

2.2.1. Besoins faibles ECS : bureaux, écoles …

Type de générateur	Performance	Remarques
Ballons électriques à accumulation répartis dans le bâtiment		+ Bon marché + Aucun auxiliaire d'ECS - Consommation très importante d'énergie primaire
Chaudière gaz à condensation		+ Facilité d'installation + Bonnes performances - Energie fossile - Attention à la consommation des auxiliaires
Chaudière à granulés de bois		+ Très bon ratio énergie finale/énergie primaire + Energie renouvelable + Prix du kWh - Maintien en température du ballon tampon - Encombrement - Investissement important (silo, ballon tampon …) - Attention à la consommation des auxiliaires - Entretien et logistique lourds
Chauffe-eau instantané électrique		+ Bon marché + Aucun auxiliaire d'ECS - Consommation très importante d'énergie primaire - Efficacité moyenne - Temps de préchauffage non négligeable - Très forte puissance électrique : impacte le dimensionnement des câbles et du tableau électrique

Il existe également des systèmes de type tour compacte et les ballons thermodynamiques qui permettent également d'assurer la production d'ECS. Toutefois, ces technologies n'ont pas été rencontrées pendant cette étude et nous n'avons par conséquent pas approfondi ces systèmes.

2.2.2. Besoins importants ECS : internats, crèches …

Type de générateur	Performance	Remarques
Chaudière gaz à condensation		+ Facilité d'installation + Bon marché + Bonnes performances - Energie fossile
Chaudière à granulés de bois		+ Très bon ratio énergie finale/énergie primaire + Energie renouvelable + Prix du kWh - Maintien en température du ballon tampon - Encombrement - Investissement important (silo, ballon tampon …)
Chaudière cogénération gaz		+ Production d'électricité + Bonnes performances mais doit être sous-dimensionnée - Energie fossile - Investissement très important - Maintien en température d'un ballon tampon - Cycle court à proscrire: utilisation d'un ballon tampon et d'une deuxième chaudière
Ballons électriques à accumulation répartis dans le bâtiment		+ Bon marché + Aucun auxiliaire d'ECS - Consommation très importante d'énergie primaire
Chauffe-eau instantané électrique		+ Bon marché + Aucun auxiliaire d'ECS - Consommation très importante d'énergie primaire - Efficacité moyenne - Temps de préchauffage non négligeable - Très forte puissance électrique : impacte le dimensionnement des câbles et du tableau électrique

Il existe également des systèmes de type tour compacte et les ballons thermodynamiques qui permettent également d'assurer la production d'ECS. Toutefois, ces technologies n'ont pas été rencontrées pendant cette étude et nous n'avons par conséquent pas approfondi ces systèmes.

2.3. Protection solaire

Type de protection	Performance	Remarques
Brise-soleil orientable		+ Permet de concilier l'éclairage naturel et la protection solaire + Esthétisme - Résistance au vent
Brise-soleil fixe (horizontal ou vertical)		+ Ne nécessite aucune intervention + Protège efficacement en été + Permet de concilier l'éclairage naturel et la protection solaire - Peu efficace en intersaison (dimensionnement difficile)
Arbre		+ Ne nécessite aucune intervention pour protéger du soleil + Permet de concilier l'éclairage naturel et la protection solaire + Esthétique + Particulièrement adapté pour les bâtiments plain-pied (de faible hauteur) - Délai nécessaire pour la croissance de l'arbre - Entretien
Volet roulant électrique		+ Bon marché + Sécurité accrue + Facilité d'entretien et d'utilisation + Opacité totale - Aucun éclairage naturel si utilisé
Store intérieur		+ Permet d'apporter de l'intimité dans le local - Réduit l'éclairage naturel - Diminue la diffusion des apports solaires - Très peu efficace pour se protéger du soleil : **risque de confusion dans l'usage réel**

Rappel :

- ***Pour les locaux à occupation intermittente, il faut automatiser les brise-soleils ou utiliser des protections fixes.***
- ***Il faut absolument protéger les portes vitrées et les haut-jours ! Une solution consiste à voiler manuellement les haut-jours et les portes vitrées entre avril et septembre inclus. Cette solution nécessite toutefois une implication du maître d'ouvrage qu'il convient de lui faire valider en amont.***

2.4. Systèmes de rafraichissement (non thermodynamiques)

Type de système	Performance	Remarques
Rafraichissement adiabatique		+ Peu encombrant + Bon marché - Consommation d'eau - Ne convient pas aux milieux humides
Ventilateur plafonnier		+ Simple + Très bon marché - Consommation électrique - Esthétique - Inhabituel dans nos régions
Puit canadien (aéraulique)		+ Peu d'entretien (changement filtre) + Dispense d'une batterie de dégivrage + Pas de consommation électrique - Mise en œuvre difficile - Investissement élevé

2.5. Remarques générales

2.5.1. Ecole

Ci-après, sont indiquées les remarques d'ordre général qui ont pu être obtenues après la visite des bâtiments étudiés :

- Les portes vitrées sont trop lourdes pour les enfants. Il est préférable de les proscrire dans les circulations principales.
- Les tableaux blancs sont souvent allumés en permanence et chaque appareil dégage environ 400W ! Il faut intégrer ce phénomène aux calculs STD et aux estimations de consommation d'électricité spécifique.
- Les arbres sont appréciés dans les cours de récréation. Ils permettent de créer de l'ombre et apportent un côté « naturel » au bâtiment, en lien avec l'aspect écologique du projet.

2.5.2. Crèche

Ci-après, sont indiquées les remarques d'ordre général qui ont pu être obtenues après la visite des bâtiments étudiés :

- Il faut protéger entièrement les espaces extérieurs. Les bébés ne supportent pas les sols trop chauds et l'ensoleillement direct est difficile à gérer pour le personnel encadrant (crème solaire, hydratation …), surtout en été.

- Il faut veiller à avoir des seuils de porte dans un matériau avec une effusivité faible (le bois par exemple). Les seuils de porte en métal sont source de brûlures pour les bébés.
- Les arbres sont appréciés dans les espaces extérieurs. Ils permettent de créer de l'ombre et apportent un côté « naturel » au bâtiment, en lien avec l'aspect écologique du projet.
- Les planchers chauffants ne sont pas nécessaires pour assurer le confort au niveau du sol. L'isolation de la dalle suffit pour maintenir une température acceptable.

Conclusion

Cette synthèse a permis d'apporter un retour et une analyse sur de multiples points en lien avec les bâtiments passifs. De manière générale, **les bâtiments passifs étudiés présentent de bonnes performances et ils répondent à la majorité des estimations calculées dans les études.**

En particulier, **la consommation de chauffage** s'avère plutôt bien **maitrisée** et les éventuelles difficultés des bâtiments passifs ne résident pas sur ce point. En effet, **les consommations réelles sont légèrement supérieures aux estimatifs (en valeur absolue) ; les causes identifiées sont généralement dues à l'utilisation réelle du bâtiment qui diverge de l'utilisation prévisionnelle** et il est difficile de répondre à toutes les problématiques sans altérer le confort. Parmi elles, on peut notamment citer **la température intérieure**, qui constitue **le facteur de dérive le plus important.** La sensibilisation sur l'importance de ce point est fondamentale pour assurer une maîtrise des consommations.

A contrario, **la gestion du confort estival et de l'éclairage naturel** semblent être des thématiques plus **difficiles à maitriser.** Des points de vigilance et des recommandations ont été établis pour améliorer ces deux critères dans les futures réalisations. En particulier, **le confort estival semble être la prochaine problématique majeure** dans les bâtiments et il est fondamental de la maitriser pour **assurer le maintien du confort optimal vis-à-vis du réchauffement climatique actuel.**

En parallèle des analyses réalisées, **la question de l'utilisateur et de son rapport au bâtiment** a été abordée. Après analyse, plusieurs pistes d'amélioration ont été émises pour limiter son impact et améliorer les performances globales des bâtiments.

Enfin, l'approche en coût global a permis de montrer que **le coût de construction est prépondérant** par rapport au coût d'exploitation. Ce coût de construction est du même ordre de grandeur que pour des bâtiments BBC, plus « traditionnels ». **Le seul surcoût notable concerne la maitrise d'œuvre** (faible au vu du coût de l'ensemble du projet) mais qui est **justifié au vu du travail nécessaire** pour la conception des bâtiments passifs.

Lieu du projet	Type de travaux	Type de bâtiment	Surface de plancher (m^2)	Expositions principales du bâtiment	% vitrage par exposition *(vitrage pur, chassis non compris)*	Compacité (Sp/SRE)	Nombre de niveau(x)	Composition structure	Epaisseurs et isolants utilisés	Générateur de chauffage	Distribution de chaleur	Protections solaires	Système de production d'ECS	Rendement échangeur CTA avec méthode certification	Gestion de l'éclairage
Aspach-le-haut	Neuf	Bureau	111,4 m2	SO/NE	NE : 17 % E : 0 % O : 0 % SO : 38 %	3,98	1	Béton	Dalle: 500 mm granulat de verre Murs: 280 mm de polystyrène expansé Toiture: 200mm polyuréthane	Batterie électrique (2 kW)	Réseaux de ventilation	BSO	Ballon électrique 30L	85% certifié PHI (PassivHaus Institut)	Détecteurs de présence pour principaux locaux + interrupteurs dans locaux à faible utilisation
Aspach-le-haut	Neuf	Logement	159,2 m2	SO/NE	NE : 13,5 % E : 0 % NO : 4 % SO : 37%	3,45	1	Béton	Dalle: 500 mm granulat de verre Murs: 200 mm laine de verre Toiture: 200mm polyuréthane	Poêle à buche + sèche serviette électrique	Poêle à buche + sèche serviette électrique	BSO	Ballon solaire thermique 381L avec résistance électrique	85% certifié PHI	Interrupteurs + variateurs de luminosité
Bernwiller	Neuf	Ecole élémentaire	535 m2	N/S	N : 0 % NE : 5 % O : 8 % S : 66 %	3,50	1	Ossature bois + radier béton	Dalle: 320 mm de polystyrène extrudé Mur ext: 360 mm de paille Toiture: 400 mm de ouate de cellulose + 140 mm de laine de bois (extérieur)	Réseau de chaleur communal (90% de plaquettes et 10% de fioul)	Radiateurs	Débords toiture + BSO	Chauffe-eau électrique 50L	90,9% certifié Eurovent	Détecteurs de présence pour principaux locaux + interrupteurs dans locaux à faible utilisation
Buhl	Neuf	Multi-accueil	705 m2	Bâtiment carré mais vitrages O/S	N : 7 % E : 7 % O : 24 % S : 27 %	3,25	1	Béton	Dalle: 160mm polystyrène extrudé // Si plancher chauffant : 120 mm polystyrène extrudé et 60mm polyuréthane Mur ext: 300mm polystyrène Toiture: 350mm polystyrène	Chaudière gaz à condensation	Plancher chauffant et radiateurs	Stores extérieurs	Chauffe eau électrique instantanné et chaudière gaz (sans bouclage)	82,8% calculé selon certification EN13053	Manuel + détecteurs dans couloirs
Burnhaupt-le-haut	Neuf	Ecole élémentaire	934 m2	N/S	N : 8 % E : 3 % O : 3 % S : 40 %	3,49	1	Ossature bois + radier béton	Dalle: 600mm granulat de verre Mur ext: 100 mm laine de bois (intérieur) + 220mm ouate de cellulose + 40mm de laine de bois (extérieur) Toiture: 400mm de ouate de cellulose + 160mm de laine de bois (extérieur)	Chaudière à granulés + ballon tampon	Batterie chaude hydraulique	Débord toiture + BSO	Chauffe-eau électrique 10L	83% certifié PHI	Interrupteurs + détecteurs de présence + variateur de luminosité
Colmar	Neuf	7 maisons en bande	918 m2	N/S	N : 30 % E : 0 % O : 0 % S : 26 %	2,18	2	Ossature bois + radier béton	Dalle: 500mm granulat de verre Mur ext: 240mm ouate de cellulose + 80mm fibre de bois (extérieur) Toiture: 360mm ouate de cellulose	Réseau de chaleur + panneaux solaires + ballon tampon de 2500L (pour 27 lgts, dont 20 non passifs)	Radiateurs	Volets roulants	Réseau de chaleur + panneaux solaires + ballon tampon de 2500L (pour 27 lgts, donc 20 non passifs)	84% certifié PHI	Interrupteurs

Lieu du projet	Type de travaux	Type de bâtiment	Surface de plancher (m^2)	Expositions principales du bâtiment	% vitrage par exposition *(vitrage pur, chassis non compris)*	Compacité (Sp/SRE)	Nombre de niveau(x)	Composition structure	Epaisseurs et isolants utilisés	Générateur de chauffage	Distribution de chaleur	Protections solaires	Système de production d'ECS	Rendement échangeur CTA avec méthode certification	Gestion de l'éclairage
Gueberschwihr	Neuf	Groupe scolaire	812 m2	N/S	NE : 4 % SE : 31 % NO : 7,3 % SO : 31 %	2,34	2	Ossature bois + radier béton	Dalle: 320mm polystyrène extrudé Mur ext : 300mm de ouate de cellulose + 100mm de laine de bois (extérieur) Toiture: 400mm ouate de cellulose + 120mm laine de bois (extérieur)	Chaudière à granulés bois + ballon tampon 400L	Radiateurs	BSO	Chauffe eau électrique 50L + chauffe eau électrique semi instanné 15L	86% certifié PHI	Gradable + détection de présence
Guebwiller	Neuf	Multi-accueil	947,6 m2	N/S	S : 41 % *non connu pour les autres expositions*	3,01	1	Ossature bois + radier béton	Dalle: 320mm polystyrène Mur ext: 360mm ouate de cellulose + 80mm fibre de bois (extérieur) Toiture: 400mm ouate de cellulose + 200mm laine de bois (extérieur)	Chaudière granulés bois + ballon tampon 380L	Radiateurs	Débord toiture + BSO	3 chauffe-eaux électrique : 15L + 2x50L	86% certifié Eurovent	Gradable + détection de présence
Guewenheim	Neuf	Mairie	422 m2	Bâtiment carré	*non connu*	2,62	1 + SS	Béton	Dalle: sur vide sanitaire: 160mm de laine de roche; sur terre plein: 160mm de polyuréthane Mur ext: enterré: 180mm de polyuréthane; 240mm de panneau en mousse polyisocyanurate Toiture: 240mm de polyuréthane	Chaudière granulés bois	Radiateurs + batterie hydraulique pour préchauffage	BSO	Chauffe eau électrique: 2x15L + 30L	82,8% certifié eurovent	Interrupteurs + détecteurs de présence
Jebsheim	Rénovation	2 logements (étage) + bureaux (rdc)	363 m2	E/O	N : 6 % E : 20 % O : 0 % S : 0 %	2,77	2	Dalle + 1 mur béton (existants) + ossature bois	Dalle: 140mm polyuréthane Murs ext: façade Est: 200mm de laine de verre + 100mm de polystyrène (extérieur); autre: 200mm de laine de verre Toiture: 360mm de laine de verre	Chaudière gaz cogénération	3x batteries hydrauliques (1 par zone)	Volets roulants	Chaudière cogénération + ballon ECS de 300L	84% certifié PHI + puit canadien	Domotique: détecteur de présence + gradateur
Monswiller	Neuf	Hotêl d'entreprises	542 m2 (SRE)	NE/SO	NE : 26 % SE : 16 % NO : 16 % SO: 31 %	3,90	1	Ossature bois	Dalle: 820mm ouate de cellulose Murs: 260mm ouate de cellulose + 120mm fibre de bois (extérieur) Toiture: 260mm polyuréthane	Batterie électrique	Réseaux de ventilation	BSO	Ballon thermodynamique	82% certifié PHI	Interrupteurs + détecteurs de présence

Lieu du projet	Type de travaux	Type de bâtiment	Surface de plancher (m^2)	Expositions principales du bâtiment	% vitrage par exposition *(vitrage pur, chassis non compris)*	Compacité (Sp/SRE)	Nombre de niveau(x)	Composition structure	Epaisseurs et isolants utilisés	Générateur de chauffage	Distribution de chaleur	Protections solaires	Système de production d'ECS	Rendement échangeur CTA avec méthode certification	Gestion de l'éclairage
Orbey	Neuf	Foyer d'accueil spécialisé	1562 m2	N/S	*non connu*	1,75	3	Béton (dalle + murs enterrés) + ossature bois (murs extérieurs + toiture)	Dalle: 320mm polystyrène extrudé Murs enterrés: 260mm polystyrène expansé Mur ext: préfabriqué de 380mm paille + 60mm de fibre de bois (extérieur) Toiture: 300mm ouate de cellulose + 100mm fibre de bois (extérieur)	Réseau de chaleur (bois plaquettes)	Radiateurs dans grandes pièces + batterie hydraulique pour le reste	BSO	Réseau de chaleur (bois plaquettes) + ballon de stockage	3 CTA différentes: toutes certifiées PHI à 82%	Détection de présence commun + sanitaire + circulation sinon interrupteurs
Soultzbach	Neuf	Bureaux	456 m2	NE/NO + S	*non connu*	2,60	1 + SS	Béton + ossature bois	Dalle: 500mm de granulat de verre cellulaire Murs enterrés: 200mm polystyrène Murs extérieurs: 220 mm polystyrène expansé (rdc) / 320mm ouate de cellulose + 80mm plume de canard (étage) Toiture: 320mm ouate de cellulose	Chaudière à granulés + ballon tampon 100L	Radiateurs + batterie hydraulique	BSO	2x ballon électrique 50L	83% certifié PHI	Interrupteurs + détecteurs de présence
Strasbourg	Neuf	ITEP (école spécialisée avec internat)	2101 m2	Forme ronde mais vitrages principaux au sud	*non connu*	1,52	3	Parois int béton + ext ossature bois	Dalle: 600mm granulat de verre (sur terre plein) / 300mm polystyrène extrudé (sur air extérieur) Mur ext (RdC): 300mm polystyrène expansé (R+1): 240mm ouate de cellulose + 200mm laine de bois (extérieur) Toiture: (R+1) 250mm de ouate de cellulose + 120mm laine de bois (extérieur) (R+2) 320mm de ouate de cellulose + 120mm de polystyrène extrudé (extérieur)	Chaudière à granulés et chaudière gaz en parallèles + ballon tampon 750L	Radiateurs hydrauliques + batterie électrique dans CTA + quelques radiateurs et séches serviettes électriques	BSO	Raccordement sur ballon tampon + bouclage	82% certifié PHI	Système de programmation KNX
Vendenheim	Neuf	Logements collectifs	1354 m2	N/S	*non connu*	-	3	Béton + mur en ossature bois	Dalle: 120mm polyuréthane Mur ext: 350mm laine de verre Toiture: 280mm polyuréthane	Chaudière gaz condensation	Radiateurs	Volets roulants	Préchauffage PAC + appoint chaudière gaz + ballon tampon + ballon stockage ECS	80,4% non certifié PHI	Interrupteurs + détecteurs dans circulation commune

Lieu du projet	**Type de travaux**	**Type de bâtiment**	**Surface de plancher (m^2)**	**Expositions principales du bâtiment**	**% vitrage par exposition** *(vitrage pur, chassis non compris)*	**Compacité (Sp/SRE)**	**Nombre de niveau(x)**	**Composition structure**	**Epaisseurs et isolants utilisés**	**Générateur de chauffage**	**Distribution de chaleur**	**Protections solaires**	**Système de production d'ECS**	**Rendement échangeur CTA avec méthode certification**	**Gestion de l'éclairage**
Wingersheim	Neuf	Ecole et périscolaire	2919,7 m2	N/S	N : 10 % E : 13 % O : 10 % S : 40 %	2,30	2	Béton	Dalle: 240mm polystyrène extrudé (terre plain) / 300mm polystyrène expansé (air extérieur) Murs: 300mm polystyrène expansé Toiture: 260mm polyuréthane	Chaudière à granulés + ballon tampon 600L (pour chauff + ECS)	Batterie hydraulique	BSO + fixe	Chaudière à granulés + solaire + ballon ECS 450L	plusieurs CTA 82 à 96% non certifiés	Système de programmation KNX
Wittenheim	Neuf	Logement	1172 m2	N/S	N : 8 % E : 3 % O : 2 % S : 19 %	1,83	3	Béton/ossature bois	Dalle : 550mm granulats de verre Mur : 220mm laine minérale ou 240mm ouate de cellulose avec 45mm de laine de verre (extérieur) Toiture : 280mm de ouate de cellulose avec 60mm de polystyrène expansé (extérieur)	Chaudière pellets + ballon tampon 500L	1 batterie hydraulique par logement	BSO + balcons (plein sud)	Chaudière pellets + ballon tampon 500L + ballon semi instantané 316L	2 CTA certifiées PHI à 85%	Détecteurs de présence + interrupteurs logements