



## Guide de bonnes pratiques pour la réalisation de STD

---

Septembre 2018

## Table des matières

1. Introduction.....	4
2. Hypothèses de simulation .....	5
2.1. Données météorologiques, situation géographique et emplacement .....	6
2.2. Géométrie, échantillonnage et zonage du bâtiment .....	6
2.3. Enveloppe et étanchéité à l'air.....	7
2.3.1. Matériaux .....	7
2.3.2. Ponts thermiques .....	8
2.3.3. Parois vitrées .....	8
2.3.4. Volets et protections solaires.....	8
2.3.5. Etanchéité à l'air.....	9
2.4. Fonctionnement du bâtiment .....	11
2.4.1. Consignes de températures.....	11
2.4.2. Ventilation hygiénique .....	13
2.4.3. Transferts aérauliques entre zones thermiques .....	13
2.4.4. Surventilation naturelle et/ou mécanique .....	13
2.4.5. Usage et Occupation .....	15
• Le cas du logement.....	15
• Le cas du tertiaire .....	17
• Occupation .....	17
• Eclairage .....	19
• Autres gains internes.....	21
2.4.6. Confort thermique.....	22
3. Résultats, indicateurs et objectifs .....	24
3.1. Présentation des hypothèses de modélisation .....	24
3.2. Présentation des résultats et indicateurs.....	25
3.2.1. Performance énergétique .....	25
3.2.2. Confort thermique.....	32
4. Méthodologie de modélisation .....	37
4.1. Phasage.....	37
4.2. Simulation de variantes d'optimisation .....	39
4.3. Simulation de cas extrêmes.....	40
5. Sources .....	42
6. Annexes .....	43

Annexe 1 : Surface de plancher nette par personne selon différentes sources .....	43
Annexe 2 : Charge interne liée à l'occupation en fonction du niveau d'activité .....	45
Annexe 3 : Niveau d'éclairage par type de local suivant la norme EN15251 .....	46
Annexe 4 : Débit de ventilation hygiénique par type de local et par catégorie de bâtiments .....	47
Annexe 5 : Plage de température pour le chauffage et le rafraîchissement par type de local et par catégorie de bâtiments .....	52
Annexe 6 : Densité de puissance d'éclairage pour des locaux spécifiques (ASHRAE 2009) .....	53
Annexe 7 : Résistance thermique de différentes pièces de vêtements.....	54
Annexe 8 : Métabolisme d'activité en W/m <sup>2</sup> (1 met = 58 W/m <sup>2</sup> ) .....	55
Annexe 9 : Extrait de la norme EN12464 relative à l'éclairage en milieu non résidentiel .....	57

## 1. Introduction

---

La Simulation Thermique Dynamique est un outil au service de la conception performante des bâtiments.

Le thermicien doit définir de manière judicieuse et réaliste les hypothèses de simulation, modéliser le projet sur un logiciel, définir différents scénarios et analyser les résultats obtenus afin de proposer des modifications et optimisations structurelles ou techniques.

Les deux principales approches sont de limiter les surchauffes estivales et d'estimer les consommations énergétiques globales, notamment les besoins de chauffage et de climatisation.

Le présent document, réalisé par Surya Consultants, est un guide de bonnes pratiques pour la réalisation de simulations thermiques dynamiques. Un document complémentaire synthétisera les attentes pour la réalisation de STD dans le cadre de la démarche BDM.

Il traitera :

- Des hypothèses à prendre en compte pour la réalisation de ces études
- Des résultats, indicateurs et sorties graphiques à fournir
- De la méthodologie de modélisation

Il est important de noter que le choix du logiciel de Simulation Thermique Dynamique n'est pas imposé dans le présent guide. Cependant, tous les logiciels actuels ne permettent pas forcément de modéliser aisément le contenu de ce guide ou d'obtenir les résultats demandés. Il revient au prestataire d'être correctement équipé et formé à l'utilisation des outils, ainsi que de posséder les compétences suffisantes pour réaliser ce type d'études.

## 2. Hypothèses de simulation

---

Une étude de simulation thermique dynamique consiste en une modélisation avec un pas de temps réduit (horaire ou plus faible) permettant de rendre compte du comportement thermique dynamique d'un bâtiment, généralement sur une année. L'objectif étant de pouvoir appréhender ses consommations d'énergie et son niveau de confort. La réalisation de ce genre d'études nécessite un grand nombre d'informations ayant attrait :

- A l'emplacement géographique du bâtiment (situation et orientation) ainsi que dans son environnement immédiat,
- A sa géométrie,
- A son enveloppe et à son niveau d'étanchéité à l'air,
- A l'usage et l'occupation réelle ou prévisionnelle des locaux.

Cette partie du présent guide a pour but de lister et définir les hypothèses à prendre en compte pour l'ensemble de ces éléments lors de la réalisation de simulations thermiques dynamiques. **Cette étape est donc essentielle car elle est garante de la pertinence des résultats des études.**

## 2.1. Données météorologiques, situation géographique et emplacement

Le choix des données météorologiques pour la réalisation de simulation thermique dynamique peut impacter considérablement les résultats.

Le prestataire devra réaliser pour chaque variante :

- Une Simulation Thermique Dynamique sur base d'un fichier météorologique horaire décadaire (données moyennes sur 10 dernières années). Ce fichier devra correspondre à l'emplacement exact du bâtiment.
- Une Simulation Thermique Dynamique sur base d'un fichier météorologique caniculaire, l'année 2003 faisant référence. L'objectif est de pouvoir évaluer le comportement moyen du bâtiment et notamment sa réaction en termes de confort hors de la période de chauffage et/ou de besoins de climatisation face à un épisode caniculaire ou au réchauffement climatique.

L'étude devra nécessairement intégrer la topographie du site d'implantation du bâtiment afin de corriger les données d'ensoleillement selon les masques lointains présents.

Les fichiers météorologiques utilisés devront nécessairement correspondre à l'emplacement exact du bâtiment. Il devra donc être généré par un logiciel spécialisé (Meteonorm par exemple) ou devra faire l'objet d'une acquisition auprès d'un organisme reconnu (Meteofrance par exemple).

Si le bâtiment faisant l'objet de l'étude se trouve dans un environnement avec des masques proches (bâtiments adjacents, végétation, ...) et/ou lointains (topographie), ces derniers devront nécessairement être évalués par un relevé de masques sur place afin de pouvoir corriger les données d'ensoleillement par façade. Le prestataire devra fournir un visuel 3D tenant compte de ces masques.

## 2.2. Géométrie, échantillonnage et zonage du bâtiment

Le zonage thermique du bâtiment consiste en un découpage en zones thermiquement homogènes du bâtiment. Il permet de définir les mêmes hypothèses d'occupation, d'utilisation et de fonctionnement communs à différents locaux du bâtiment. Les résultats sont alors disponibles pour ces regroupements de locaux, ou par zone thermique.

La précision du modèle de STD dépend du zonage thermique réalisé.

Suivant l'état d'avancement du projet, il sera attendu différents niveaux de détails de la part des prestataires :

- En phase Esquisse, il sera accepté un calcul statique de besoins de chauffage (par exemple selon la norme EN13790) afin de dégager les grandes tendances de performance de l'enveloppe. Une simulation thermique dynamique pourra cependant être réalisée soit en modélisant le bâtiment comme une unique zone thermique soit en définissant un échantillon représentatif de zones, c'est-à-dire par typologie de pièces. Le but de cette étape est de fixer les grandes lignes en termes de choix constructif, et d'approche bioclimatique. Les indicateurs attendus sont listés dans le paragraphe « Les résultats, indicateurs et objectifs ».

- En phase APS, il sera attendu un modèle complet du bâtiment pour lequel le découpage en zones thermiques pourra regrouper des locaux thermiquement homogènes et adjacents.

Note : Il est ici entendu que le zonage du bâtiment en phase APS pourra être simplifié afin de faciliter la saisie par le prestataire, notamment selon la complexité du projet. Il faudra cependant être vigilant au regroupement réalisé et définir les justifications qu'il devra fournir pour valider le zonage réalisé. Toutefois, et en anticipation des phases suivantes, cette simplification n'est pas indispensable.

- Dès la phase APD, il sera attendu un modèle complet du bâtiment pour lequel le découpage en zones thermiques correspondra à autant de zones thermiques que de locaux distincts.<sup>1</sup> Ceci afin de pouvoir disposer d'une meilleure précision de calcul et de sorties logicielles pour un maximum de locaux présent dans le bâtiment (puissance de chauffage et/ou de climatisation, évolutions de température, indicateurs de confort, ...). Une analyse globale des résultats sera attendue et le prestataire sélectionnera les zones qu'il jugera les plus représentatives (zones particulièrement sensibles, à occupation majoritaire, ...) pour une analyse par zone. (voir partie 3. Résultats, indicateurs et objectifs)

Note :

Dans le cas du logement collectif, il sera accepté une zone thermique par logement.

Des logements pourront être regroupés s'ils présentent la même orientation, la même surface vitrée, les mêmes protections solaires, la même typologie et la même localisation dans le bâtiment (RDC/intermédiaire/dernier étage)

Pour le niveau OR, concernant les logements, un découpage en au moins 2 zones par logement est demandé : Une zone nuit comprenant les chambres, et une zone jour comprenant les autres pièces.

Dans le tertiaire, et suivant les projets, des regroupements seront acceptés sur justifications.

## 2.3. Enveloppe et étanchéité à l'air

### 2.3.1. Matériaux

Le prestataire devra utiliser les matériaux disponibles dans les bibliothèques de la réglementation thermique en vigueur et/ou des matériaux faisant l'objet d'avis techniques certifiés ACERMI, CSTB ou autres. Les règles Th-K pourront aider le prestataire à déterminer les coefficients de transmissions thermiques de certains cas particuliers. Les parois à ossature devront bien évidemment tenir compte des ponts thermiques intégrés.

La très grande majorité des matériaux ont une certification ou un calcul de conductivité thermique par un laboratoire (Cofrac par exemple). Dans le cas d'un matériau qui n'a aucune justification précédemment citée, il est à fournir un justificatif des hypothèses techniques prises en considération.

---

<sup>1</sup> Selon les bâtiments et la complexité des études, il pourra être accepté des regroupements de locaux pour la définition des zones thermiques. Par exemple, une zone thermique par appartement en logement collectif et une zone par usage/orientation/niveau en tertiaire.

### 2.3.2. Ponts thermiques

Dans le cas d'une modélisation en dimensions intérieures, le prestataire devra utiliser les bibliothèques de ponts thermiques disponibles dans les bibliothèques de la réglementation thermique en vigueur.

Dans le cas d'une modélisation en dimensions extérieures, le prestataire pourra utiliser les bibliothèques SIA<sup>2</sup> (Suisse) ou en lien avec les différents organismes de promotion du passif (PHI en Allemagne, PMP en Belgique, ...).

Un catalogue illustré des ponts thermiques précisant les valeurs des coefficients de transmission linéique est attendu.

Note : Pour des liaisons spécifiques ou des techniques innovantes, le prestataire devra fournir une justification sur base d'un calcul détaillé (logiciels spécialisés, tels que Conducteo, Therm, Ulysse...) ou d'une fiche technique certifiée de constructeurs (rupteurs de ponts thermiques par exemple).

### 2.3.3. Parois vitrées

Les parois vitrées constituent un élément sensible de la thermique du bâtiment car ils participent grandement aux déperditions de chaleur tout en contribuant fortement aux apports solaires et donc éventuellement à la surchauffe et à l'inconfort d'été. Dans le cadre de conception de bâtiments très performants, ces parois vitrées sont de véritables équipements techniques et doivent être traitées comme tels lors des études.

Le prestataire devra donc justifier de la performance de chaque paroi vitrée dont la géométrie et/ou la performance globale est différente. Selon l'avancement du projet/chantier, les modélisations devront tenir compte du niveau de précision connu.

Il est attendu un catalogue détaillant pour chaque paroi vitrée :

- Ses caractéristiques géométriques illustrées par le coefficient de clair de vitrage
- Ses caractéristiques déperditives illustrées par les coefficients  $U_f$ ,  $U_g$  et  $U_w$  (exprimés en  $W/m^2.K$ )
- Ses caractéristiques thermiques illustrées par les coefficients  $g$  (facteur solaire du vitrage) et  $Sw$  (facteur solaire global)
- Ses caractéristiques lumineuses illustrées par les coefficients  $TL$  (transmission lumineuse du vitrage) et  $TLw$  (transmission lumineuse globale)

### 2.3.4. Volets et protections solaires

Volets et protections solaires ont des objectifs distincts mais constituent souvent un élément architectural incontournable pour lutter contre les déperditions de chaleur nocturne et les apports solaires.

Cependant leur efficacité est grandement dépendante de l'usage et de la régulation qu'il en est fait.

Ce paragraphe vise à cadrer l'utilisation des volets et protections solaires.

---

<sup>2</sup> [http://www.lesosai.com/download/warmebruckenatalog\\_f.pdf](http://www.lesosai.com/download/warmebruckenatalog_f.pdf)

- Volets/protections nocturnes :

Les valeurs de résistance thermique additionnelle,  $\Delta R$  [ $m^2.K/W$ ], devront être précisées ainsi que les plannings d'utilisation. Elles seront justifiées sur présentation d'une fiche technique ou d'un avis technique. Aucune simulation ne sera acceptée sans justification de la part du prestataire.

Dans le cas où les systèmes du projet n'ont pas encore été choisis, les valeurs renseignées sont à justifier avec des fiches techniques de produits réalistes pouvant être mis en place sur ce projet. L'étude sera à modifier en fonction de ce qui a réellement été mis en place (pour le niveau OR ou ARGENT).

- Protections solaires :

Les protections solaires fixes (casquettes, brise soleil, ...) pourront être modélisées directement sur les modèles 3D. Des images pourront être fournies à certains moments caractéristiques de l'année pour permettre la visualisation des ombres portées. Les valeurs de facteur d'ombrage (moyennes mensuelles, ou horaires par exemple) de ces protections solaires sont exigées.

Les protections solaires mobiles (stores à lamelles, BSO, auvents ...) devront faire l'objet d'une modélisation avec un scénario d'utilisation en cohérence avec l'occupation du bâtiment et le type même de protections (manuelle, motorisée, ...). Les facteurs d'ombrage de ces protections seront justifiés sur présentation de fiches techniques constructeurs et/ou bibliothèque ad-hoc.

Dans les deux cas (protections nocturnes, protections solaires), il est fortement conseillé de fournir des résultats de simulation afin d'évaluer la réponse du bâtiment avec un mauvais usage. L'usage standard conseillé sera également modélisé et devra être fourni par le prestataire. Pour les protections solaires, une évaluation croisée sur la consommation en éclairage artificiel est demandée ainsi que sur l'autonomie en éclairage naturel.

Par ailleurs, certains logiciels de simulation thermique dynamique ne permettent pas une modélisation fine des protections solaires mobiles, aussi il pourra être envisagé de réaliser 2 simulations distinctes et de regarder les impacts sur les besoins de chauffage dans une première simulation sans protections solaires et sur la surchauffe estivale dans une deuxième simulation avec protections solaires.

Dans le cas où les systèmes du projet n'ont pas encore été choisis, les valeurs renseignées sont à justifier avec des fiches techniques de produits réalistes pouvant être mis en place sur ce projet. L'étude sera à modifier en fonction de ce qui a réellement été mis en place (pour le niveau OR ou ARGENT).

### 2.3.5. Etanchéité à l'air

La simulation thermique dynamique devra nécessairement tenir compte des déperditions par infiltrations.

A ce titre, le niveau de perméabilité à l'air (coefficient n50 en vol/h) doit être évalué.

- Bâtiment en conception
  - Les niveaux d'exigence en lien avec le niveau de performance visé ou les valeurs par défaut fixées par la réglementation thermique en vigueur seront pris en compte

jusqu'au test d'étanchéité à l'air. A ce moment-là, la valeur mesurée lors du test sera considérée.

- Bâtiment en rénovation pour renseigner la perméabilité l'air de l'état initial
  - Si un test d'étanchéité à l'air a été réalisé sur le bâtiment, la valeur mesurée lors du test sera considérée.
  - Dans le cas où aucun test d'étanchéité à l'air n'a été réalisé sur le bâtiment, le prestataire devra tenir compte des valeurs par défaut fixés dans le présent guide, issus des travaux de CETE de Lyon.
- Bâtiment en rénovation après travaux
  - La valeur de la perméabilité à l'air sera corrigée suite au test in-situ (niveau OR) s'il a lieu
  - La valeur de perméabilité à l'air sera corrigée suivant les objectifs visés si aucun test n'est prévu

Note : La Figure 1 ci-dessous est extraite des travaux du CETE de Lyon et donne des valeurs moyennes à prendre en compte pour les bâtiments existants, avant travaux de rénovation.

Afin de tenir compte de l'amélioration de la perméabilité à l'air après travaux de rénovation, le prestataire devra justifier les nouvelles valeurs d'étanchéité à l'air sur base d'une démarche explicite et d'objectifs clairement établis en phase projet.

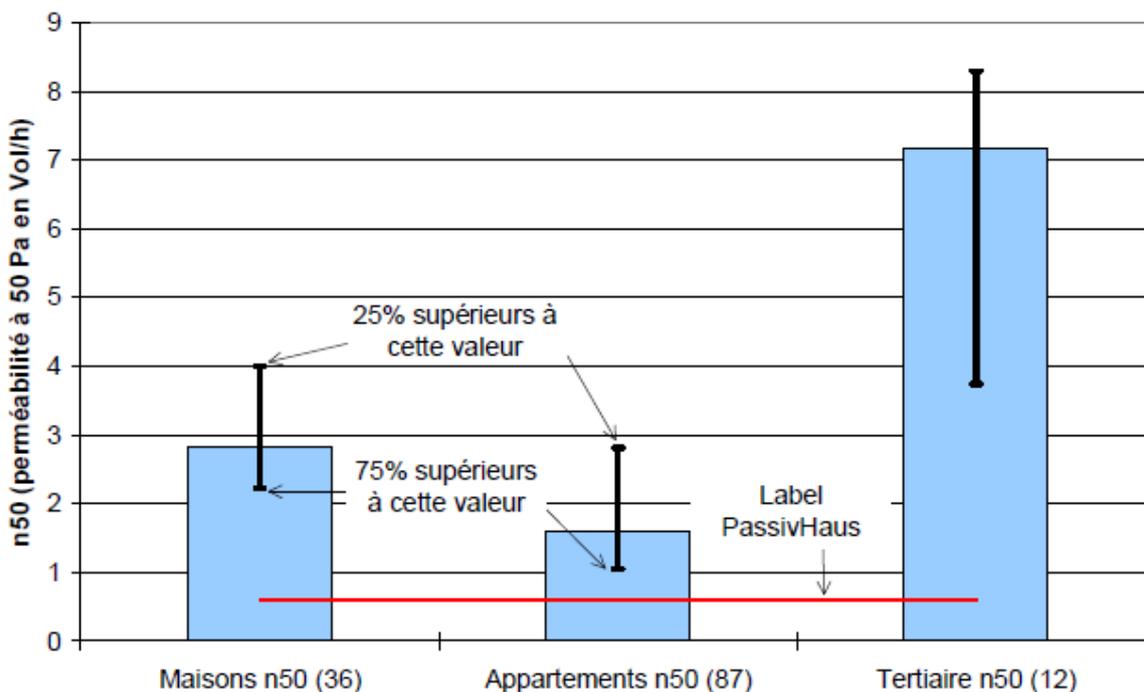


Figure 1: n50 mesuré sur site (taille de l'échantillon entre parenthèses). Source : Perméabilité à l'air de l'enveloppe des bâtiments - Généralités et sensibilisation - CETE de Lyon

La valeur de perméabilité à l'air (sous 50 Pa) couplée aux données météorologiques, de vent notamment, doit permettre l'évaluation des débits d'infiltration en conditions réelles. Cette évaluation peut être réalisée par le logiciel de simulation thermique s'il dispose des modules de calcul aérodynamique suffisant.

De manière dégradée, un calcul simplifié selon la norme EN13790 pourra être considérée. Un débit d'infiltration moyen constant est alors modélisé.

## 2.4.Fonctionnement du bâtiment

Pour tout ce qui attrait à la qualité des ambiances, et notamment la qualité de l'air, les températures de consigne et les niveaux d'éclairage, le présent guide oriente vivement les prestataires à définir les niveaux de confort sur base de la norme EN15251.

Cette dernière définit pour 3 catégories de bâtiments et pour une multitude de type de bâtiment les niveaux à atteindre. Ce sont ces catégories qui permettront de définir les zones de confort (voir partie 3.2.2). Ces catégories sont les suivantes :

- Catégorie I : Niveau élevé attendu qui est recommandé pour les espaces **occupés par des personnes très sensibles et fragiles avec des exigences spécifiques** comme des personnes handicapées, malades, de très jeunes enfants et des personnes âgées (bâtiments neufs)
- Catégorie II : **Niveau normal attendu** qu'il convient d'utiliser pour les bâtiments neufs et les rénovations lourdes (**après travaux**)
- Catégorie III : **Niveau modéré acceptable** qui peut être utilisé dans les bâtiments existants avant travaux, ou après rénovation sous réserve de justifications techniques et architecturales ne permettant pas de suivre la catégorie II.

### 2.4.1. Consignes de températures

Le choix des températures de consigne influence grandement les résultats de la STD.

L'objectif, ici, est de définir une température de consigne pour le chauffage et/ou la climatisation qui soit le plus proche des conditions réelles d'utilisation du bâtiment ceci afin de disposer de résultats proches de la réalité, c'est-à-dire en tenant compte du comportement des occupants.

De fait, par exemple, il semble qu'en logement, une température de consigne de chauffage de 19°C ne soit pas adaptée.

L'Annexe 5 du présent guide fournit par typologie de bâtiments des plages de consignes de température de confort issues de la norme EN15251 recommandées pour les calculs énergétiques. Le prestataire pourra s'en servir pour sélectionner les températures de consigne adaptées à son projet et ainsi traiter le confort thermique de manière engagée ou évaluer la robustesse de sa modélisation.

Pour les bâtiments chauffés en permanence, tels que bâtiments résidentiels, aucun réduit de chauffage ne sera modélisé.

Pour les bâtiments neufs qui ont des espaces occupés par des personnes très sensibles et fragiles avec des exigences spécifiques comme des personnes handicapées, malades, de très jeunes enfants et des personnes âgées, (EHPAD, crèche, école maternelle, etc.), il est à appliquer les plages de températures de consigne de la Catégorie I : Niveau élevé, de la norme EN15251.

Pour les autres bâtiments, un réduit de chauffage pourra être modélisé par le prestataire. En phase EXE (donc pour le niveau Or et Argent), le choix du différentiel de température devra faire l'objet d'une optimisation en comparant l'impact sur la puissance maximale appelée et le gain sur le besoin

énergétique. Ce réduit pourra être réalisé lors des périodes d'inoccupation du bâtiment en cohérence avec le paragraphe « Usage et occupation » du présent guide.

Note : Le cas de la rénovation.

Dans le cadre de bâtiments existants, les températures de consigne observées sur base de mesures ou d'enquêtes pourront être prises en compte pour la construction du modèle de STD. Sans données particulières la plage de valeurs de la catégorie II de la norme EN15251 sera prise en considération en cas de rénovation lourde. Dans le cas d'impossibilité technique et architecturale, sous réserve de justification, il sera possible de suivre la catégorie III.

### 2.4.2. Ventilation hygiénique

La ventilation hygiénique doit permettre une très bonne qualité de l'air intérieur.

Les débits pris en compte dans le cadre des simulations thermiques dynamiques devront satisfaire **au minimum** la réglementation en la matière (règlement sanitaire et départemental, règles de l'art, code du travail, arrêté du 24/03/82 relatif à l'aération des logements modifié le 28/10/83).

Cependant, les recommandations en matière de qualité de l'air ont fortement évolué entraînant une augmentation des débits de ventilation préconisés.

L'annexe 4.2 reprend les débits de ventilation recommandée par la norme européenne EN13779. Cette norme fournit un débit volumique par personne à respecter selon différentes catégories de performance de qualité de l'air ainsi qu'une densité d'occupation associée à tenir compte en l'absence de données spécifiques au projet. L'annexe 4.1 reprend les débits de ventilation par type de bâtiment ou d'espace et par catégorie de bâtiments fournis dans la norme EN15251. Le prestataire pourra s'en inspirer pour son projet afin de traiter la qualité de l'air de manière engagée.

Dans les bâtiments non résidentiels, **en dehors des périodes d'occupation**, une valeur minimale de 0.15 à 0.3 vol/h sera prise en compte si aucune autre exigence n'existe.

Note : En tertiaire, les périodes d'inoccupation seront basées sur les scénarios d'usage et d'occupation du présent document.

La présence d'un récupérateur de chaleur peut et doit être modélisée en tenant compte d'un rendement d'échange en conditions réelles, et non le rendement dont la valeur est celle spécifiée par le constructeur, en condition d'essai (qui serait beaucoup trop optimiste). Les différences d'environ 10% constatées induisent des consommations énergétiques différentes. Il est donc usuellement conseillé de tenir compte soit d'un certificat du Passiv Haus Institut lorsqu'il existe, soit retirer forfaitairement 12% au rendement annoncé par le fabricant, s'il ne fait pas l'objet d'une certification.<sup>3</sup>

Les conditions de bypass du récupérateur de chaleur devront être fournies par le prestataire et être cohérentes avec les possibilités techniques du matériel.

### 2.4.3. Transferts aérauliques entre zones thermiques

Certains logiciels de simulation thermique permettent une modélisation des transferts aérauliques entre zones dues à une différence de température et/ou de pression. Dans ce cas, les prestataires sont invités à tenir compte de ce phénomène.

Dans le cas où le logiciel de simulation ne permet pas une modélisation aussi fine, le prestataire devra toutefois tenir compte du balayage imposé par la ventilation mécanique : soufflages/reprises d'air, transferts entre zones, extractions.

### 2.4.4. Surventilation naturelle et/ou mécanique

On entend ici par surventilation un moyen de rafraîchir le bâtiment par introduction d'air à température extérieure lorsque les conditions sont favorables.

<sup>3</sup> Source Fiabibat

Cette surventilation peut s’effectuer naturellement par les ouvrants ou bien mécaniquement via le système de ventilation hygiénique. Dans ce deuxième cas, les consommations d’électricité et le surdimensionnement du réseau aéraulique sont importants.

En termes de modélisation, la stratégie est également différente :

- **Surventilation naturelle**

Il faudra avant tout s’assurer que les contraintes du bâtiment permettent cette surventilation naturelle qui peut avoir un impact sur le niveau de sécurité et d’intrusion ainsi que sur l’inconfort acoustique.

Ainsi, dans le cas du recours à la surventilation naturelle, le rapport doit présenter une note qui spécifie la possibilité de la réaliser sur le projet et liste la présence ou l’absence de contraintes afférentes (voir tableau ci-dessous). Elle présentera également de quelle façon la surventilation est réalisée notamment les horaires d’ouvertures, les ouvrants concernés et leur pourcentage d’ouverture.

La note indiquera également les résultats de la simulation sur l’impact du confort dans le cas où la surventilation n’est pas réalisée. (voir partie 4.3 Simulation extrêmes )

Le prestataire peut s’aider du tableau suivant :

	Contraintes présentes et impactant l’usage de la surventilation		Remarques, proposition de solutions
	oui	non	
Contrainte acoustique			
Risque d’intrusion			
Présence notable de moustiques			
Nuisance olfactive			
Contrainte visuelle (éclairage urbain)			
Autres :			

En phase RECEPTION (niveau OR) cette note sera complétée pour indiquer à la maîtrise d’ouvrage et plus spécifiquement à l’utilisateur comment réaliser cette surventilation et insistera sur son importance. Cette note devra être synthétique et pédagogique.

En termes de modélisation, certains logiciels permettent un calcul aérodynamique qui en fonction des dimensions et de la position des ouvertures et des données météorologiques déterminent les débits d'air dans le bâtiment. Dans ce cas-là, cette solution est à privilégier.

Dans le cas contraire, la stratégie consistera à regarder la sensibilité du bâtiment sous différents niveaux de débits de surventilation (1, 2, 4, 6, 8 vol/h) afin de déterminer quelle valeur est nécessaire pour atteindre le niveau de confort requis et de conclure sur le réalisme d'une telle valeur<sup>4</sup>.

La régulation modélisée devra tenir compte du type de surventilation réellement mise en place (manuelle ou motorisée). Dans le cas d'une régulation manuelle, elle devra être cohérente avec les scénarios d'utilisation et d'occupation du bâtiment. La régulation choisie par le prestataire devra être présentée et justifiée dans son rapport de simulation.

- **Surventilation mécanique**

Là, l'intérêt de la simulation thermique dynamique réside à évaluer le débit de surventilation nécessaire pour atteindre les niveaux de confort requis, à affiner la loi de régulation de cette surventilation et la consommation d'électricité associée au fonctionnement des ventilateurs. L'ensemble des hypothèses de ce poste devront être détaillées dans le rapport de simulation.

#### 2.4.5. Usage et Occupation

Les scénarios d'usage et d'occupation sont des données d'entrée qui influencent grandement les résultats de la simulation thermique dynamique.

Une prise en compte qui se rapproche le plus de la réalité est le meilleur moyen d'obtenir des résultats en termes de performance énergétique et de confort fiables.

Les campagnes de mesures réalisées dans différentes typologies de bâtiment, et notamment dans les bâtiments à basse consommation, montrent que les scénarios conventionnels de la réglementation thermique surestiment généralement les apports internes dans les bâtiments.

Note : Dans les cas où les scénarios d'usage et d'occupation sont connus, le prestataire devra les préciser dans sa note de calcul et les prendre en compte pour les simulations. Ces scénarios peuvent par exemple résulter de campagnes de mesures dans les bâtiments existants (cas de la rénovation ou cas de la construction d'opérations similaires connues) ou définis en phase programmation par la maîtrise d'ouvrage.

- **Le cas du logement**

A cause du caractère aléatoire et diversifié de l'utilisation et de l'occupation d'un logement, il est proposé au prestataire d'utiliser une charge interne constante correspondant à la chaleur métabolique (occupation) ainsi qu'aux équipements électriques (éclairage compris) présents dans le

---

<sup>4</sup> Par exemple pour un local mono-orienté le débit ne dépasse généralement pas 2 vol/h. Pour un local bi-orienté ça ne dépasse généralement pas 3 vol/h et si le local est traversant on atteint généralement 4 vol/h. Lorsque l'on est au-dessus c'est qu'il y a de grandes ouvertures, que c'est traversant et que l'on est bien positionné en fonction des vents dominants.

logement. Ces hypothèses s'inspirent directement des hypothèses prises pour calculer les besoins de chauffage en bâtiment passif.

Des données sont disponibles en fonction de la surface énergétique du logement :

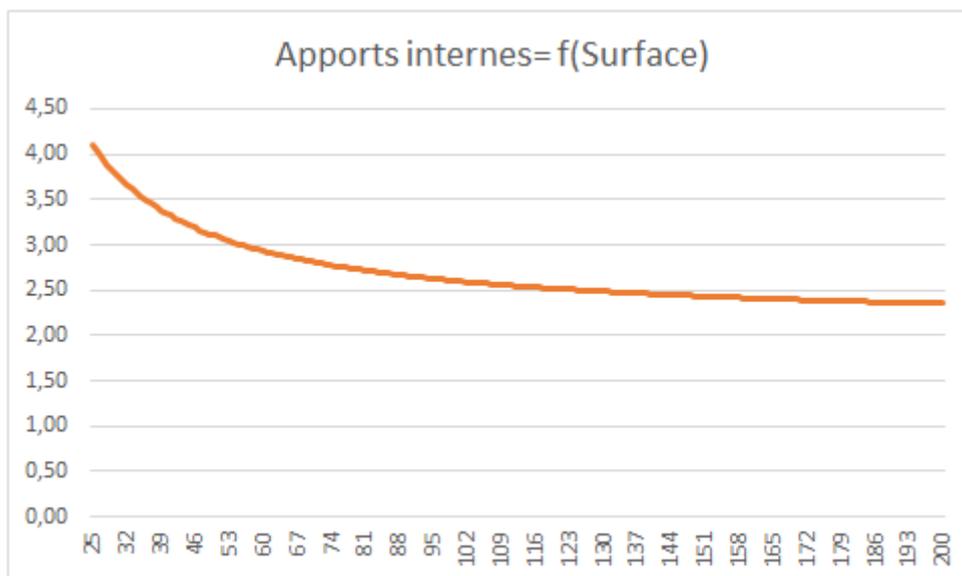


Figure 2: Gains internes de chaleur, exprimé en W/m<sup>2</sup>, incluant le métabolisme et tout équipement électrique, y compris l'éclairage en fonction de la surface énergétique de référence du logement

Note : Surya-consultants incite vivement les prestataires à utiliser les éléments fournis en Figure 2 issus du référentiel phpp (charge interne constante fonction de la surface énergétique du logement).

Toutefois ces données correspondent à de l'appareillage électrique très performant et de la sobriété. Ces apports sont donc faibles ce qui induit une marge de sécurité vis-à-vis des besoins de chauffage. Une simulation de sensibilité à ce paramètre est demandée en paragraphe 4 vis-à-vis du confort d'été.

Le prestataire peut utiliser en variantes, sur base de justifications, d'autres scénarios en s'assurant de leur pertinence et du respect des ordres de grandeur fournis dans le présent document. Des profils horaires, hebdomadaires ou annuels peuvent être créés par le prestataire en distinguant les charges internes par typologie (occupation, éclairage, puissance dissipée, ...).

Les valeurs fournies dans ce guide sont des valeurs forfaitaires. Surya-consultants incite à faire un vrai calcul quand les éléments sont connus.

- **Le cas du tertiaire**

Note : Surya-consultants incite vivement les prestataires à utiliser les éléments fournis dans ce paragraphe, ceux définis en phase programmation ou fournis par la maîtrise d'ouvrage. Par manque d'exhaustivité, le prestataire devra parfois construire ses propres hypothèses de fonctionnement.

Ainsi, le prestataire pourra utiliser en variantes, sur base de justifications, d'autres scénarios en s'assurant de leur pertinence et du respect des ordres de grandeur fournis dans le présent document. Des profils horaires, hebdomadaires ou annuels peuvent être créés par le prestataire en distinguant les charges internes par typologie (occupation, éclairage, puissance dissipée, ...).

Les valeurs fournies dans ce guide sont des valeurs forfaitaires. Surya-consultants incite à faire un vrai calcul quand les éléments sont connus.

Le cas échéant et en l'absence de données fiables, les scénarios conventionnels pourront être utilisés.

- **Occupation**

La stratégie consiste ici à définir une densité d'occupation par typologie de bâtiments et par pièce et d'y appliquer un profil d'utilisation.

Si le prestataire connaît le nombre de personnes et/ou la densité d'occupation par local, c'est cette valeur qui devra être utilisée.

Dans le cas contraire, le prestataire est invité à utiliser les valeurs du présent guide de densité d'occupation, en fonction du type de bâtiment.

Les normes EN15251, EN15232, EN13790 et ISO 52016 fournissent des densités d'occupation par type de local. Des extraits sont fournis dans les **Tableau 1** et **Tableau 2**.

**Tableau 1 : Densité d'occupation par type de local**

Densité d'occupation par type de local	m <sup>2</sup> /personne
Bureaux (fermé)	6 - 15
Bureau paysager	7 - 20 (plus généralement 12 - 15)
Petit bureau	8 - 12
Bureau de direction	33
Locaux de réception, salles de réunion, salle de conférence, ...	2 - 5
Commerce	2.5 - 10 (jusqu'à 20)
Locaux réservés à l'enseignement	2 - 4
Amphithéâtre - Auditorium	0.75 - 1
Restaurant	1.2 - 5

Les bâtiments incluent généralement des zones à occupation intermittente, telles que des circulations, des sanitaires, ... De ce fait, le nombre de personnes par m<sup>2</sup> de bâtiments sont au total

plus faibles. Le prestataire pourra s'assurer des densités d'occupation moyennes du **Tableau 2**, données par type de bâtiments :

**Tableau 2: Densité d'occupation par typologie de bâtiment**

Densité d'occupation par type de bâtiments	m <sup>2</sup> /personne
Bureaux	20
Etablissement d'enseignement	10
Restaurants	5
Commerce	10
Installations sportives	20
Bâtiments industriels	20
Entrepôts	100
Piscines couvertes	20

Il est fourni, en Annexe 1, plus de détails de densité d'occupation par local/bâtiments issus de différentes normes. Ce document est issu d'un travail de recherche bibliographique réalisé par l'UCL.

NB : en l'absence de données, le prestataire devra estimer par ses propres moyens le nombre d'occupants par local et fournir une justification.

Les puissances par occupants, en fonction de leur niveau d'activités, sont reprises en Annexe 2.

En ce qui concerne les plannings d'occupation des locaux, en l'absence de données fiables, le prestataire pourra utiliser les plannings journaliers de la **Figure 3**, fournis par type de local.

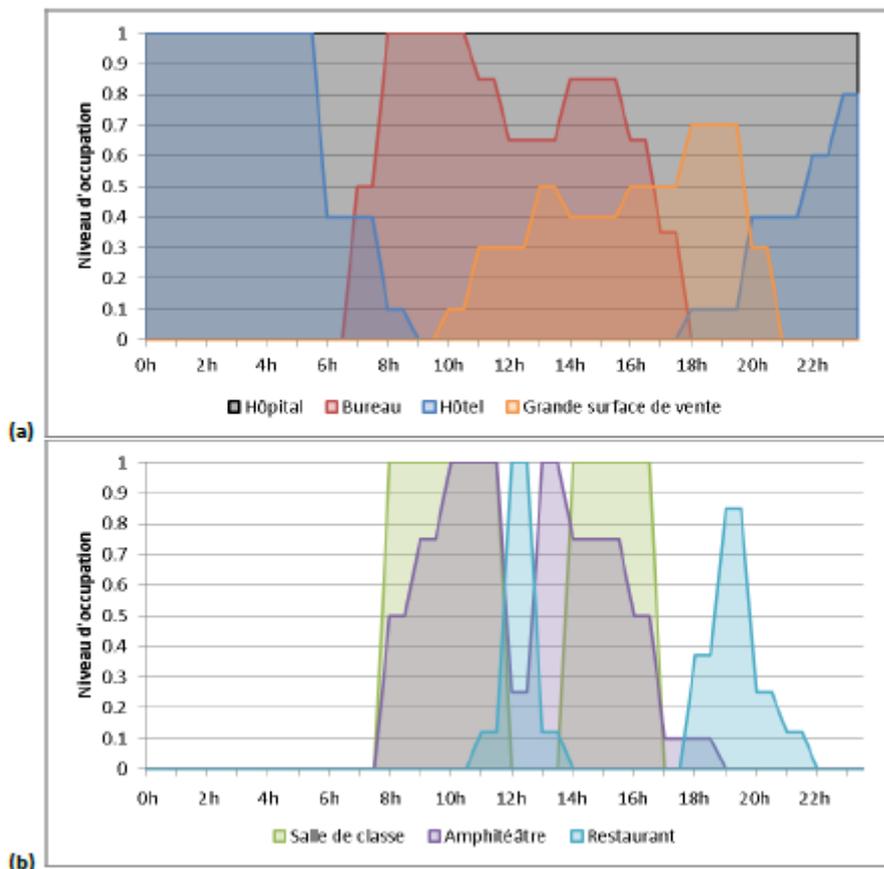


Figure 3 : Profils d'utilisation pour certains types de locaux, liste non exhaustive. Source : NBN EN 15232

- **Eclairage**

L'éclairage en secteur tertiaire est un poste de consommation loin d'être négligeable. C'est un poste qui influence les conditions de confort thermique et qui est lui-même influencé par certains dispositifs, notamment les protections solaires.

De plus, une multitude de types de régulation existent sur le marché permettant l'optimisation du fonctionnement de l'éclairage.

Le niveau d'éclairement en lux devra à minima respecter la réglementation (par exemple le code du travail en tertiaire).

L'Annexe 3 fournit les niveaux d'éclairement définis dans la norme EN15251 relative à la qualité des ambiances intérieures par type de bâtiment. Le prestataire pourra s'en inspirer pour traiter cette cible de manière engagée.

La norme EN12464 « lumière et éclairage des lieux de travail » fournit également un certain nombre de données relative au niveau d'éclairement à respecter. Des extraits figurent en Annexe 9.

En fonction des possibilités offertes par les logiciels de simulation thermique dynamique, 2 stratégies de modélisation sont envisageables :

- Le logiciel utilisé permet un calcul d'éclairage naturel

Après avoir sélectionné le niveau d'éclairage par zone, le prestataire devra définir le matériel installé ainsi que son mode de gestion et de régulation/gradation ; le logiciel détermine alors par calcul la consommation d'éclairage nécessaire et le gain interne associé pour atteindre le niveau d'éclairage requis.

Le profil associé à l'utilisation de l'éclairage sera en corrélation avec les profils d'occupation modélisés.

Le prestataire devra fournir les hypothèses de régulation ainsi que les caractéristiques du matériel d'éclairage modélisé, et notamment la densité d'éclairage, exprimée en  $W/m^2$  et en  $W/m^2 \cdot 100lux$ . Si toutes ces données sont connues, leur utilisation sera privilégiée.

- Mode dégradé : le logiciel utilisé ne permet pas un calcul d'éclairage naturel

Après sélection de la performance du matériel d'éclairage, exprimée en  $W/m^2$  pour 100lux et du niveau d'éclairage requis, le prestataire définira un profil d'éclairage en corrélation avec les profils d'occupation modélisés. Une modulation en fonction de la saison et/ou de l'heure de la journée est envisageable sur base de justifications de la part du prestataire. Si toutes ces données sont connues, leur utilisation sera privilégiée.

Dans tous les cas, le prestataire devra préciser et modéliser les règles de bonne pratique et réaliser une simulation de mauvais usage.

Les consommations d'éclairage dans le tertiaire et donc les gains internes qui y sont liés dépendent grandement du matériel installé (lampe fluocompacte, LED, ...) et de la performance de sa régulation (fractionnement, gradation, ...)

Le **Tableau 3** suivant est un extrait de la norme EN15232 et donne des valeurs forfaitaires de puissance d'éclairage installé par type de local. Elles ne sont à utiliser qu'en l'absence de données fiables. En effet, le niveau d'éclairage exigé permettra d'obtenir la puissance installée justifiée par des documentations techniques et des logiciels spécifiques adaptés (DIALUX ou équivalent).

**Tableau 3: Puissance d'éclairage installée par type de local (valeur forfaitaire)**

Type de local	Puissance installée de l'éclairage $W/m^2$
Bureau	10 - 15 (jusqu'à 20)
Hôtel - hébergement	10 - 12
Enseignement	12- 20
Amphithéâtre	11 - 36
Restaurant	10 - 18
Magasin	15 - 18
Aire de circulations, sanitaires	5 - 7

Il est fourni en Annexe 6 des densités de puissance d'éclairage pour des locaux plus spécifiques, issus de l'ASHRAE 2009.

- **Autres gains internes**

« Les sondages indiquent que, pour la plupart des bâtiments de bureaux polyvalents, la demande de puissance du matériel informatique est de l'ordre de 5-30 W/m<sup>2</sup> ou 100-200 W/pers (8m<sup>2</sup>/pers). Des valeurs plus faibles sont possibles lorsque les organisations appliquent des politiques efficaces en matière d'efficacité énergétique. Cependant, pour les utilisateurs intensifs, la charge peut atteindre jusqu'à 50 W/m<sup>2</sup>.<sup>5</sup> »

Dans la mesure où la liste des équipements est connue, elle devra faire l'objet d'une synthèse de la part du prestataire qui la présentera sous forme de tableaux par zones afin de pouvoir connaître la densité de puissance installée, exprimée en W/m<sup>2</sup>. Un profil d'utilisation, en corrélation avec les profils d'occupation, sera défini.

Dans le cas où elle n'est pas connue des valeurs forfaitaires pourront être utilisées. Deux stratégies peuvent alors être adoptées :

- Soit en la réalisation d'un inventaire du matériel installé avec les puissances en mode de fonctionnement et en mode veille et application d'un profil associé, en corrélation avec les profils d'occupation
- Soit en définissant une valeur forfaitaire de densité de puissance installée par typologie de bâtiments et application d'un profil associé, en corrélation avec les profils d'occupation

Le **Tableau 4** ci-dessous donne des valeurs forfaitaires :

**Tableau 4: Apports dus aux équipements hors éclairage durant l'occupation (compilation de sources diverses, Rapport de recherche compilation de gains internes, valeurs globales et forfaitaires, UCL)**

Type de local	Production de chaleur des équipements en période d'occupation (W/m <sup>2</sup> )
Bureau	7 - 16
Salle de réunion	5
Salle bureautique	35
Salle ordinateurs	350
Local réservé à l'enseignement	4 - 5
Amphithéâtre - Auditorium	4 - 5
Restaurant	2 - 10
Surface de vente	3.5 - 10
Hébergement (hôtel, hôpital, cellule pénitentiaire...)	4
Soins de santé	8 - 15

<sup>5</sup> Rapport de recherche compilation de gains internes, valeurs globales et forfaitaires, UCL

En dehors des périodes d'occupation, le prestataire pourra évaluer un talon de consommations en bonne intelligence (ordinateurs laissés en veille, serveurs, ...)

Le cas échéant, les scénarios conventionnels pourront être utilisés.

### 2.4.6. Confort thermique

L'évaluation des principaux indicateurs de confort thermique passe par la définition des données d'entrée suivante et qu'il faut prendre en considération :

- Résistance thermique vestimentaire des occupants, exprimée en clo
- Métabolisme d'activité des occupants, exprimé en met
- Vitesse de l'air dans le bâtiment, exprimé en m/s

Pour définir ces hypothèses, il conviendra de définir des profils quotidiens, hebdomadaires et annuels. Ces profils seront adaptés aux profils d'occupation décrits précédemment.

La norme ISO7730 fournit les résistances thermiques vestimentaires ainsi que les métabolismes d'activité qu'il conviendra d'appliquer.

**Tableau 5 : Résistance thermique vestimentaire pour différentes combinaisons de vêtements (l'Annexe 7 fournit des résistances additionnelles)**

Vêtements de travail	$I_{cl}$		Vêtements d'usage courant	$I_{cl}$	
	clo	m <sup>2</sup> ·K/W		clo	m <sup>2</sup> ·K/W
Caleçon, combinaison, chaussettes, chaussures	0,70	0,110	Slip, T-shirt, shorts, chaussettes fines, sandales	0,30	0,050
Caleçon, chemise, combinaison, chaussettes, chaussures	0,80	0,125	Caleçon, chemise à manches courtes, pantalon léger, chaussettes fines, chaussures	0,50	0,080
Caleçon, chemise, pantalon, blouse, chaussettes, chaussures	0,90	0,140	Slip, jupon, bas, robe, chaussures	0,70	0,105
Sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, pantalon, veste, chaussettes, chaussures	1,00	0,155	Sous-vêtements, chemise, pantalon, chaussettes, chaussures	0,70	0,110
Sous-vêtements à manches et jambes longues, veste isolante, chaussettes, chaussures	1,20	0,185	Slip, chemise, pantalon, veste, chaussettes, chaussures	1,00	0,155
Sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, pantalon, veste, veste et pantalon isolants, chaussettes, chaussures, casquette, gants	1,40	0,220	Slip, bas, corsage, jupe longue, veste, chaussures	1,10	0,170
Sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, pantalon, veste, veste et pantalon isolants, chaussettes, chaussures	2,00	0,310	Sous-vêtements à manches et jambes longues, chemise, pantalon, tricot col en V, veste, chaussettes, chaussures	1,30	0,200
Sous-vêtements à manches et jambes longues, veste et pantalon isolant, Parka ouatinée, salopette ouatinée, chaussettes, chaussures, casquette, gants	2,55	0,395	Sous-vêtements à manches et jambes courtes, chemise, pantalon, gilet, veste, manteau, chaussettes, chaussures	1,50	0,230

Généralement, la tenue standard d'hiver avoisine les 1 clo alors que les tenues standards d'été varient entre 0,3 et 0,5 clo. 0,7 clo correspond généralement à une tenue légère de mi-saison. Des

valeurs supérieures à 1 clo peuvent être envisagées à certains moments de l'année pour certains types de bâtiments (commerce en hiver, tenues de travail,...). Le protocole vestimentaire peut influencer grandement les données ainsi que les résultats en terme de confort thermique et donc du choix des températures de consigne de chauffage et/ou de refroidissement.

**Tableau 6: Métabolisme énergétique pour différentes type d'activité (l'Annexe 8 fournit des informations complémentaires) selon la norme ISO7730**

Activité	Métabolisme énergétique	
	W/m <sup>2</sup>	met
Repos, couché	46	0,8
Repos, assis	58	1,0
Activité sédentaire (bureau, domicile, école, laboratoire)	70	1,2
Activité légère, debout (achats, laboratoire, industrie légère)	93	1,6
Activité moyenne, debout (vendeur, travail ménager, travail sur machine)	116	2,0
Marche à plat:		
2 km/h	110	1,9
3 km/h	140	2,4
4 km/h	165	2,8
5 km/h	200	3,4

En ce qui concerne les vitesses de l'air dans les bâtiments, il est important de noter que sans équipements spécifiques et/ou dysfonctionnements, les vitesses de l'air dans les bâtiments sont généralement faibles, de l'ordre de 0,1m/s.

Toutefois, lors d'ouvertures de fenêtres, en présence de courants d'air, ou lors d'un brassage de l'air important (ventilateur, soufflage d'air, ...) les vitesses d'air peuvent atteindre jusqu'à 1m/s.

**Tableau 7 : Vitesses d'air dans les bâtiments, ordres de grandeur et effets, source [www.energieplus-lesite.be](http://www.energieplus-lesite.be)**

Ordre de grandeur de vitesses d'air	Effets	Refroidissement équivalent à 24°C
0 à 0.08m/s	Stagnation de l'air	0°C
0.08 à 0.13 m/s	Situation standard	
0.13 à 0.25 m/s	Léger déplacement d'air	
0.25 à 0.38 m/s	Léger courant d'air. Les papiers légers bougent sur un bureau	1°C à 0.3 m/s
0.38 à 0.5 m/s	Déplacement d'air important	
Au-delà de 0.5m/s	Courant d'air plus ou moins important	2°C à 0.7 m/s 3°C à 1m/s 4°C à 1.6 m/s

### 3. Résultats, indicateurs et objectifs

---

Ce paragraphe liste le type de livrables, résultats et sorties graphiques attendus de la part des prestataires dans leur rapport de simulation thermique dynamique. Cela concerne non seulement la présentation des hypothèses de calcul mais également les résultats minimums à fournir tout au long de l'étude.

Il est important de noter que les résultats globaux pour le bâtiment entier sont attendus, mais que pour certains types de résultats, plus particulièrement toutes les sorties « Confort », des résultats devront être fournies pour un échantillon représentatif de zones thermiques.

Qu'est une zone thermique représentative ?

Ce peut être :

- Une zone particulièrement soumise au rayonnement solaire ou particulièrement déperditive,
- Une zone occupée majoritairement
- Une zone occupée par une population sensible, fragile (enfants en bas âge, personnes âgées, ...)
- Une zone pouvant « résumer » le comportement thermique du bâtiment ou d'une majorité de zones thermiques

Il est à noter que ces informations ne doivent pas être nécessairement fournies pour toutes les variantes réalisées par le prestataire mais à minima pour les simulations de référence et les simulations de fin de phase (ESQ, APS, APD, PRO, EXE et réception).

#### 3.1. Présentation des hypothèses de modélisation

Il est attendu que les prestataires fournissent à EnvirobotBDM un document récapitulant les principales hypothèses de simulation qui ont été prises pour réaliser les calculs. Sans fourniture et validation de ce document, EnvirobotBDM pourra demander la réalisation de simulation corrigée.

Ce document compilera à minima les informations suivantes :

- Fichiers météorologiques utilisés et extraction de données représentatives, telles qu'évolution de températures et humidités extérieures, températures et humidités moyennes, minimales et maximales mensuelles, rayonnement solaire horizontal mensuel, dans ses composantes directes et diffuses, roses des vents, ...
- Image 3D du bâtiment et visualisation des différentes façades et ombres portées des masques solaires à différents moments significatifs de l'année. Une analyse d'ensoleillement par façade sera également attendu afin de valider le caractère bioclimatique du bâtiment en termes d'apports solaires et donc de choix de protections solaires.
- Le découpage en zones de façon visuelle à l'aide du modèle 3D, à défaut sur les plans architecte.
- Catalogue détaillé de compositions de parois opaques avec résistance thermique totale associée et commentaires. Les matériaux constitutifs des parois seront présentés dans ce tableau avec leurs épaisseurs, conductivité thermique, densité et capacité calorifique.

- Catalogue de menuiseries avec coefficients  $U_w$ ,  $U_g$  et  $U_f$ , ainsi que transmission lumineuse, facteur solaire et transmission lumineuse
- Catalogue de ponts thermiques avec coefficients  $\psi$  associés
- Tableaux de surface, répartition des surfaces déperditives et répartition des surfaces vitrées par orientation. Pourcentage de surface vitrée par  $m^2$  de façade et par  $m^2$  de surface utile
- Catalogue de protections solaires et facteurs d'ombrage associés. Profils d'utilisation.
- Catalogue de protections nocturnes et résistance thermique additionnelle associée. Profils d'utilisation.
- Valeur de perméabilité à l'air,  $n_{50}$  et commentaires associés
- Débits de ventilation hygiénique maximum par zone thermique en  $m^3/h$  et profils associés et débit de ventilation hygiénique maximum et moyen global en  $vol/h$ .
- Densité d'occupation par zone thermique en  $m^2/personne$  et profils associés.
- Puissance d'éclairage installée en  $W/m^2$  et en  $W/m^2 \cdot 100lux$  par zone thermique et profils associés.
- Puissance installée des équipements, autre qu'éclairage, par zone thermique en  $W/m^2$  et profils associés.
- Charge interne moyenne annuelle en  $W/m^2$  pour la globalité du bâtiment, incluant métabolisme, éclairage et autre équipement. Celle-ci est obtenue en divisant la quantité d'énergie interne annuelle (en  $Wh/an$ ) par le nombre d'heure annuel (8760h) et la surface totale du bâtiment.

### **3.2. Présentation des résultats et indicateurs**

Le rapport de simulation devra présenter à minimum les résultats suivants pour les simulations de référence et les simulations de fin de phase.

#### **3.2.1. Performance énergétique**

- **Répartitions détaillées des déperditions de chaleur**

La simulation thermique dynamique doit pouvoir apporter des éléments afin d'évaluer la part de chaque poste de déperditions dans le bilan thermique du bâtiment.

Des exemples de répartitions de déperditions sont fournis ci-après. La forme attendue n'est pas exigée, cependant les graphiques choisis par les prestataires doivent répondre au niveau de détail présenté ci-après.

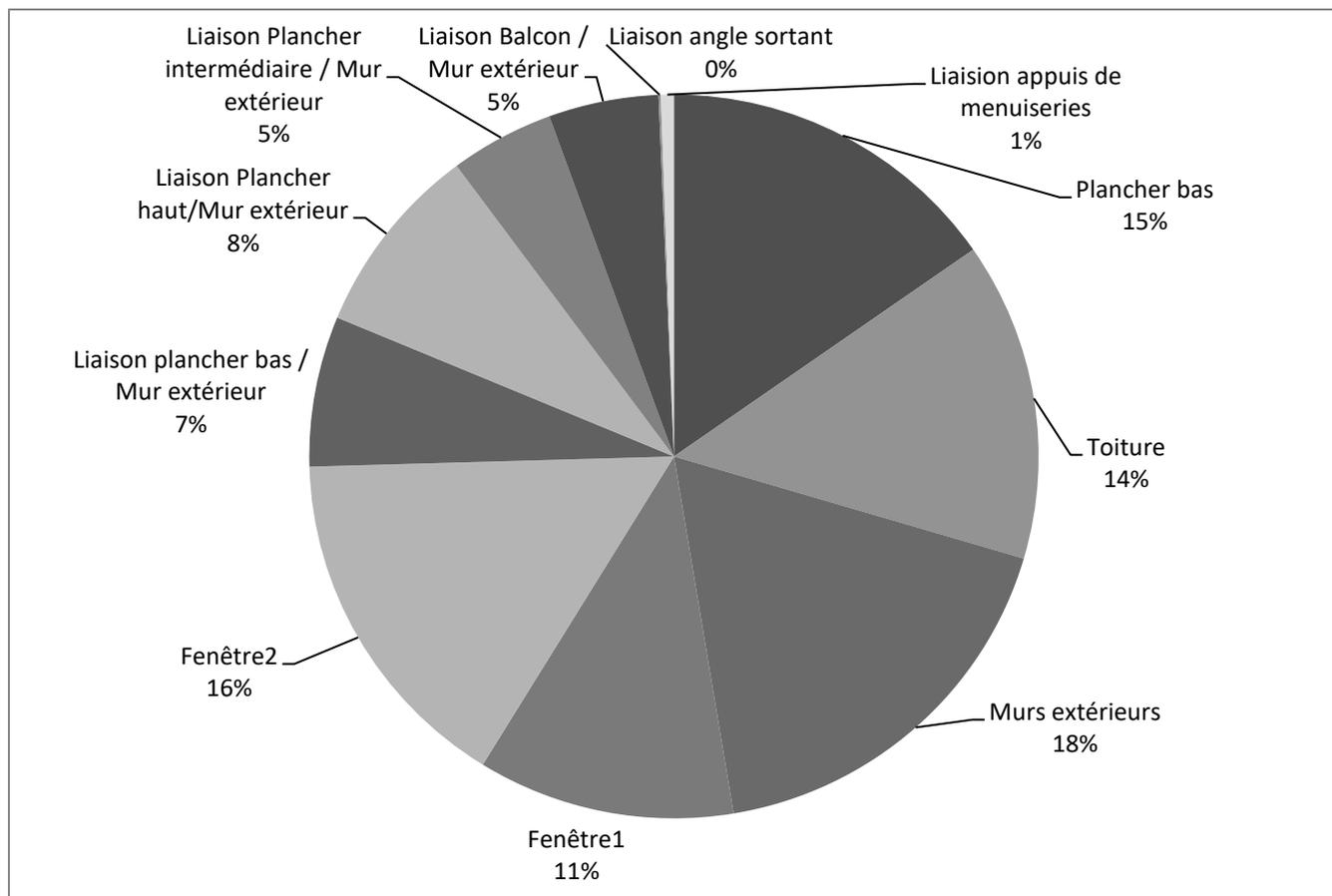


Figure 4: Exemple de répartition détaillée de déperditions par transmission

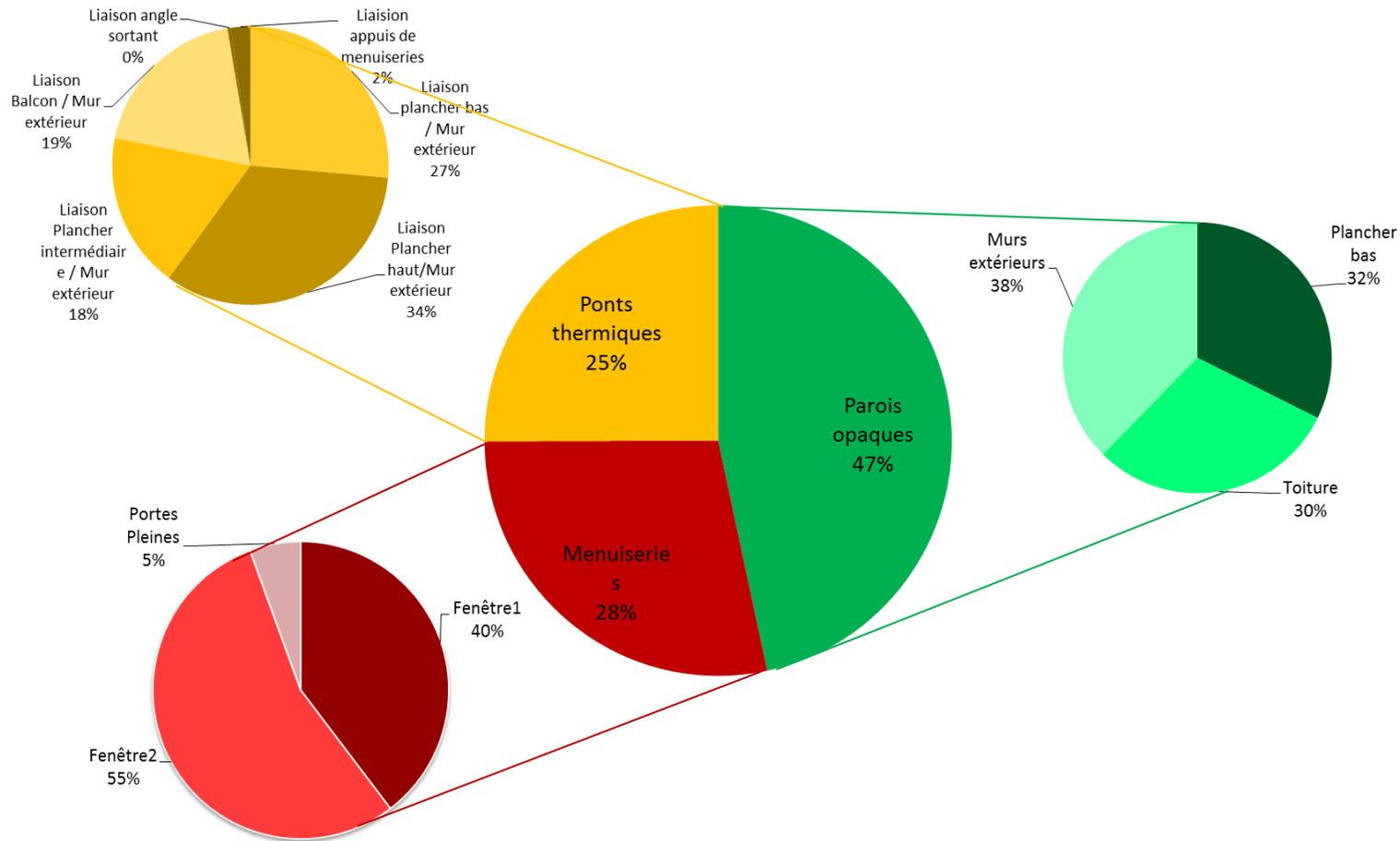


Figure 5 : Exemple de répartition détaillée de déperditions par transmission

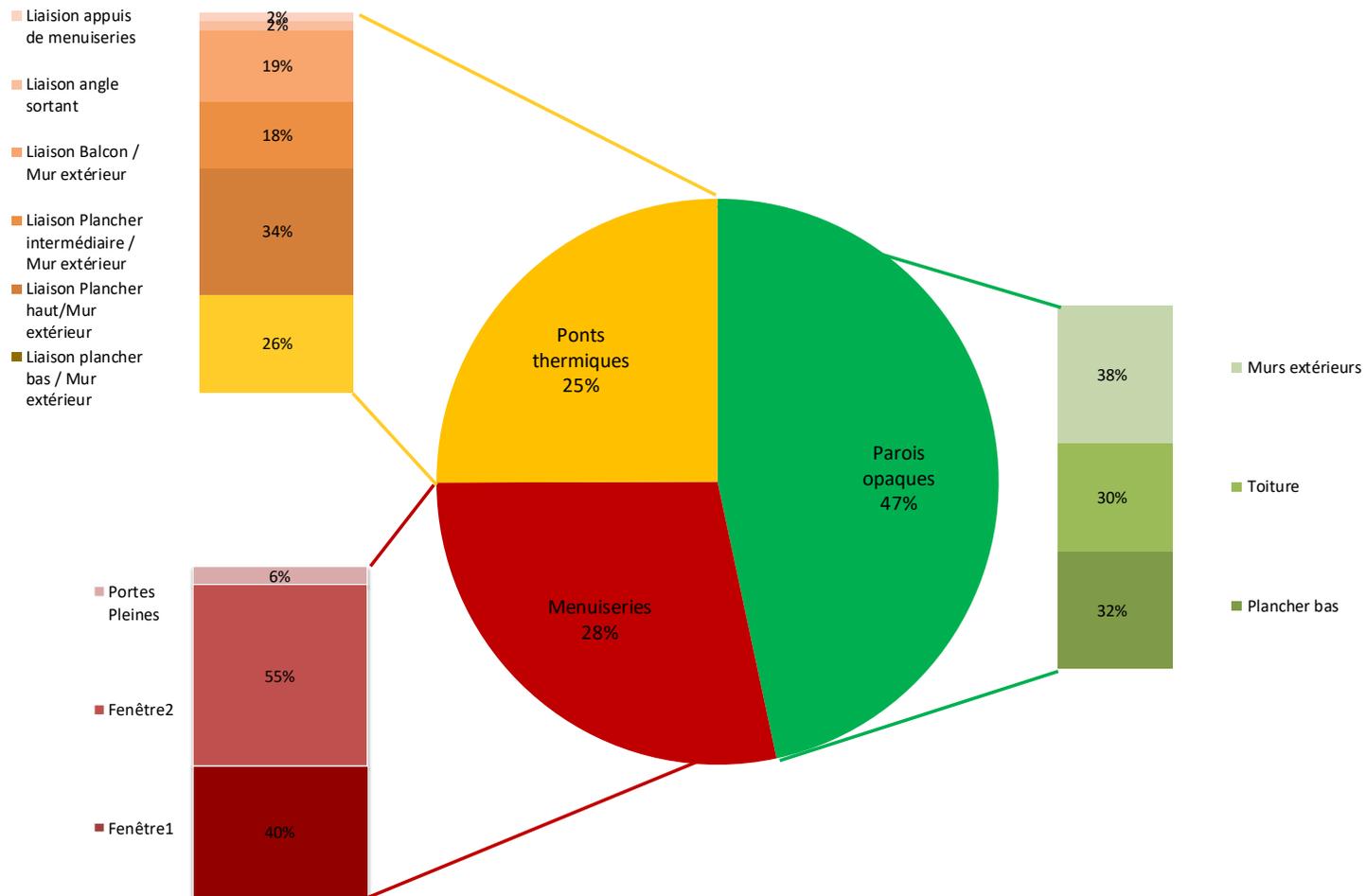


Figure 6 : Exemple de répartition détaillée de déperditions par transmission

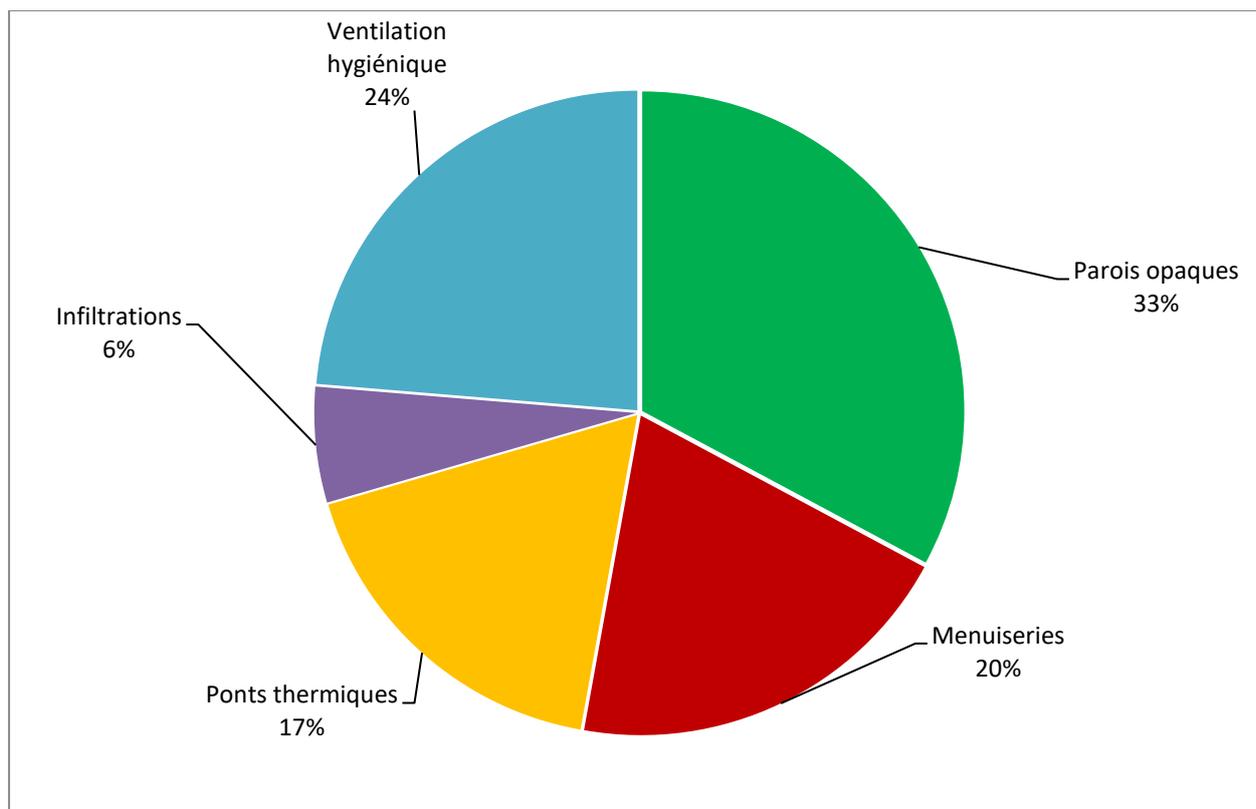


Figure 7: répartition totale des déperditions de chaleur

- Indicateurs de performance

Les indicateurs de performance suivants sont attendus :

- Coefficient  $U_{bat}$ , exprimé  $W/m^2.K$ . Un calcul de déperditions par transmission est nécessaire pour obtenir ce coefficient.
- Coefficient de déperditions volumique  $G$ , exprimé en  $W/m^3.K$ . Deux moyens permettent d'obtenir ce coefficient. Soit un calcul de déperditions totales avec un renouvellement d'air moyen, soit une évaluation par le calcul dynamique de la puissance totale de chauffage à installer dans le bâtiment, hors gains interne et gains solaires.
- Coefficient de déperditions moyen par ponts thermiques, exprimé en  $W/m^2.K$  (psi-moyen)
- Besoins de chauffage totaux du bâtiment en  $kW_{heu}/m^2sdp.an$ , en  $kW_{heu}/m^2chauffé.an$  et en  $kW_{heu}/an$ .
- Besoins de refroidissement totaux du bâtiment en  $kW_{heu}/m^2sdp.an$ , en  $kW_{heu}/m^2refroidit.an$  et en  $kW_{heu}/m^2.an$ .

Ces indicateurs seront confrontés à des ordres de grandeur connus et avec des niveaux standards afin de pouvoir positionner le bâtiment en termes de performance énergétique. Le prestataire devra fournir ces ordres de grandeur en fonction de la typologie du bâtiment et des résultats visés.

Les besoins de chauffage du bâtiment pourront également être présentés sous forme d'histogramme mensuel.

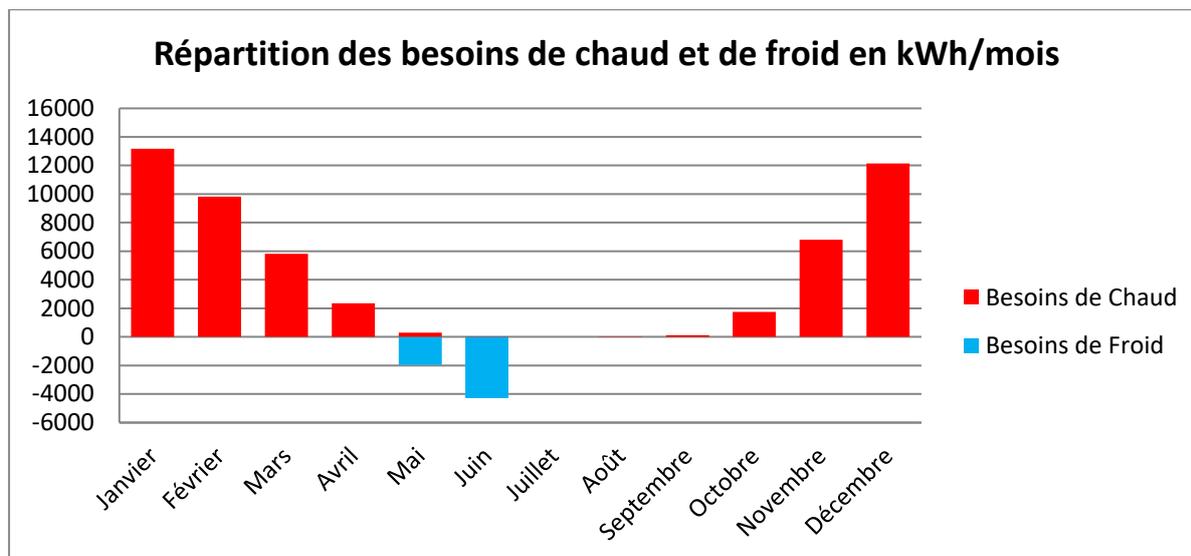


Figure 8: Exemple d'évolution mensuelle des besoins de chauffage et de refroidissement

- Puissance de chauffage et de refroidissement en kW et en  $W/m^2$ , pour tout le bâtiment et pour chaque zone modélisée obtenue par la simulation thermique dynamique

Présentées sous forme de tableau, ces informations permettront d'évaluer les puissances de chauffage et de refroidissement à installer dans le bâtiment, sur base d'un calcul dynamique.

Les ratios en  $W/m^2$  permettent d'obtenir des ordres de grandeur comparables.

Les courbes de monotone de chaud et de froid sont également attendues. Elles pourront prendre la forme du graphique tel qu'en Figure 9 :

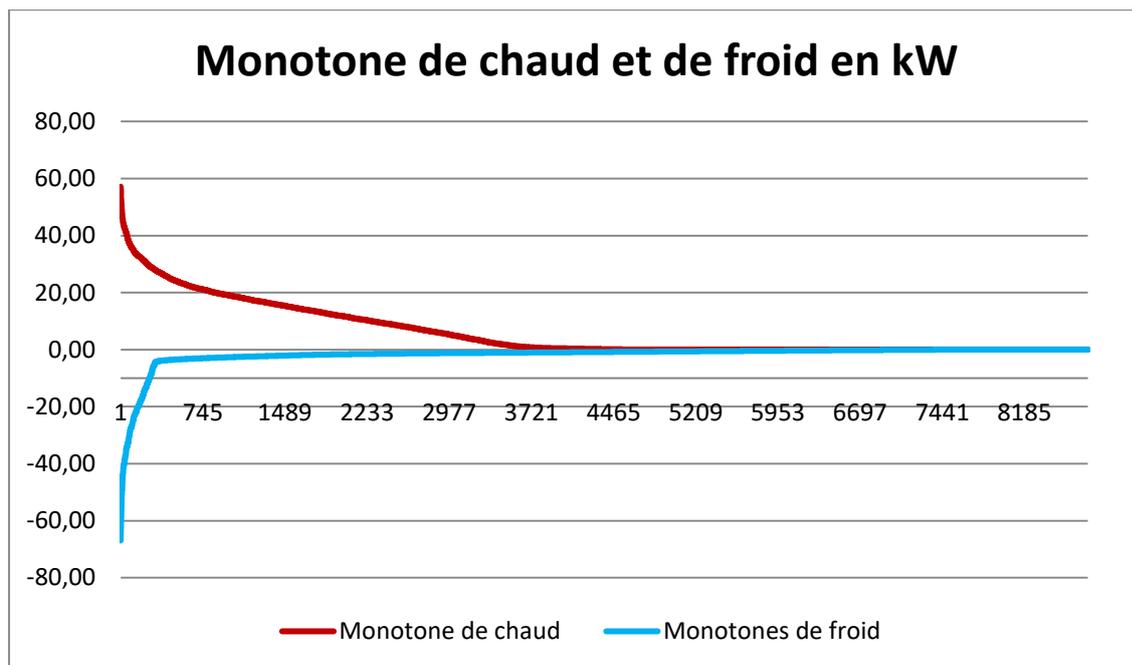


Figure 9: Exemple de monotone de chaud et de froid (en abscisse, nombre d'heures)

Le prestataire indiquera le nombre d'heure de chauffage et de refroidissement de son projet. Il indiquera également le nombre d'heure à différents pourcentages de cette puissance (10, 30, 50, 70 et 90%).

- Balance énergétique globale du bâtiment et pour un échantillon de zones représentatives

Cette balance énergétique pourra être fournie au pas de temps mensuel, ou annuel.

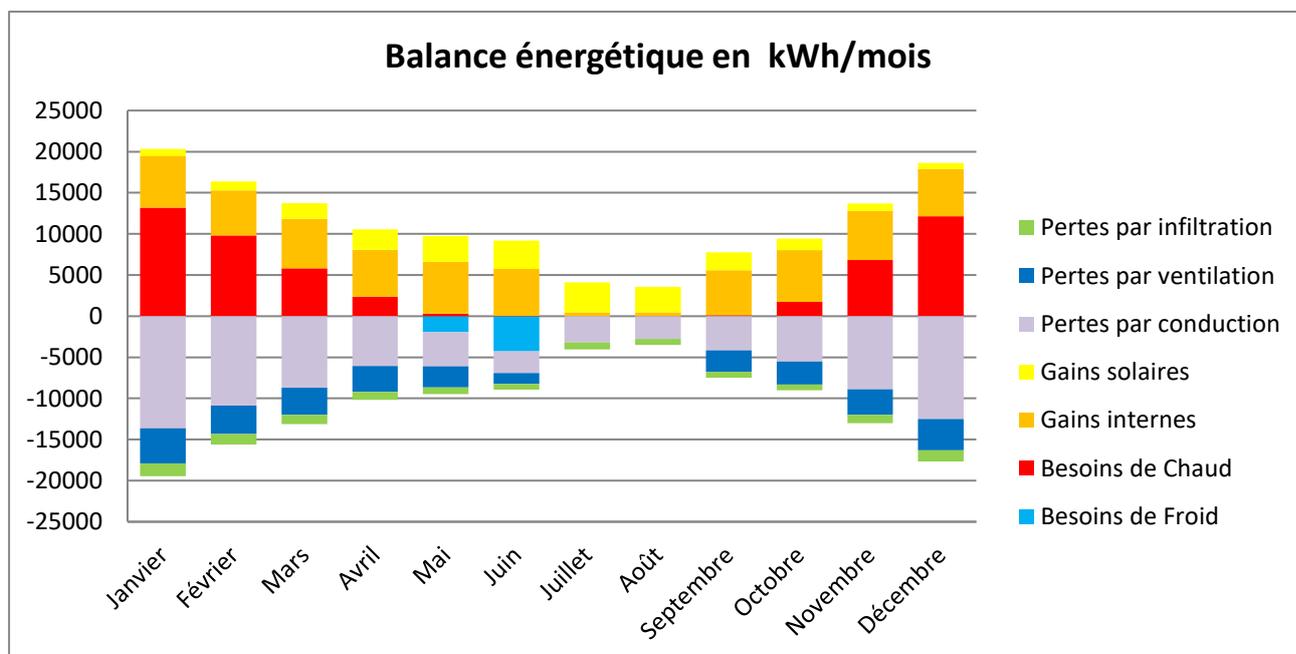


Figure 10: Exemple de balance énergétique mensuelle

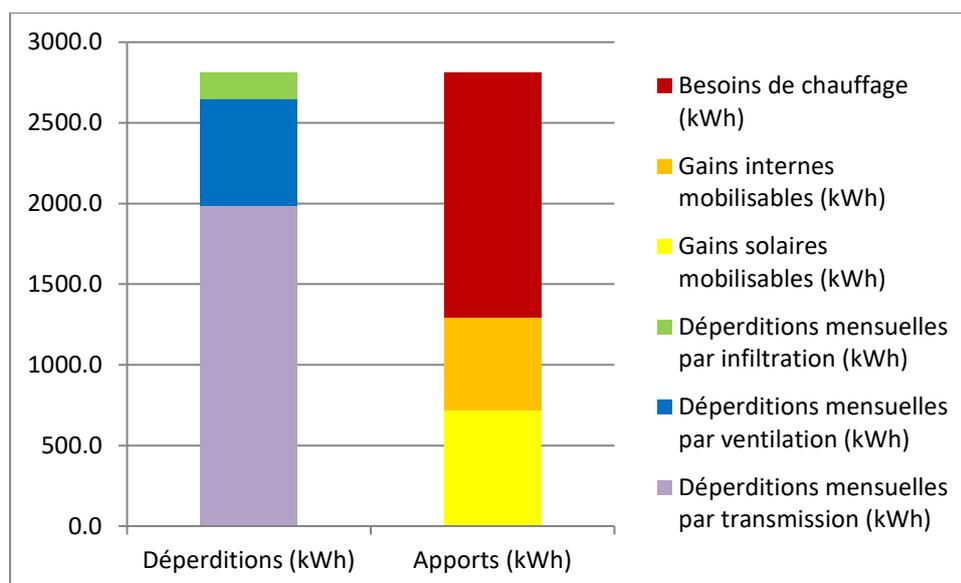


Figure 11: Exemple de balance énergétique annuelle pour le chauffage

- **Diagramme de Sankey** ou tout autre sortie permettant d’apprécier le taux de valorisation des apports gratuits sur le besoin de chauffage<sup>6</sup> et la part des besoins de chauffage couverts par les apports utiles<sup>7</sup>.

### 3.2.2. Confort thermique

Les indicateurs de confort thermique doivent être évalués en période d’occupation des locaux.

Pour les logements, il sera considéré toutes les heures de l’année.

Pour le bâtiment tertiaire, les heures d’occupation seront déterminées à l’aide des profils d’occupation pris comme hypothèse.

Les sorties possibles sont :

- Pourcentage et nombre d’heures d’occupation où la température opérative<sup>8</sup> intérieure dépasse une température de confort, préalablement définie, par zone thermique. Le prestataire regardera notamment le pourcentage d’heures d’occupation où la température intérieure dépasse 26°C, 28°C et 30°C, par zone thermique. Cette sortie pourra être représentée sous forme de tableaux ou de graphiques.

<sup>6</sup> Le taux de valorisation des apports gratuits se calcule en faisant le rapport entre les apports utiles et les apports gratuits (annuels ou mensuels), solaires et internes. Si les apports gratuits sont faciles à obtenir, les apports utiles peuvent être obtenus en faisant la différence entre le besoin de chauffage et les déperditions de chaleur (en kWh).

<sup>7</sup> La part des besoins de chauffage couverts par les apports utiles s’obtient en faisant le rapport entre les apports utiles et les déperditions de chaleur.

<sup>8</sup> La température opérative est une moyenne pondérée par les coefficients d’échanges convectifs et radiatifs des températures d’air et moyenne de rayonnement. Par souci de simplification, le prestataire pourra se servir de la température résultante sèche (moyenne arithmétique des températures d’air et moyenne de rayonnement) ou à minima la température de l’air (à éviter).

- Cette sortie sera complétée par la température maximale atteinte par zone thermique et par une monotone de température opérative afin de connaître les pourcentages de temps d'occupation aux différentes températures.
- Evolution de températures intérieures et extérieure, sur des périodes jugées représentatives (période la plus froide, période la plus chaude, période en mi-saison ; 15 jours consécutifs minimum) et pour un échantillon de zones préalablement définies. Ce graphique présentera en abscisse des dates explicites et non des numéros d'heures ou de jours.
- Pour les bâtiments non climatisés, le diagramme de Brager ou équivalent (cf. norme EN15251) sur toute la période en régime libre du bâtiment (c'est-à-dire en dehors de la période de chauffage et/ou de climatisation), et ce pour les zones jugées les plus représentatives. Le pourcentage d'heure en dehors de la zone de confort sera fourni par le prestataire.

Quelques exemples de diagrammes :

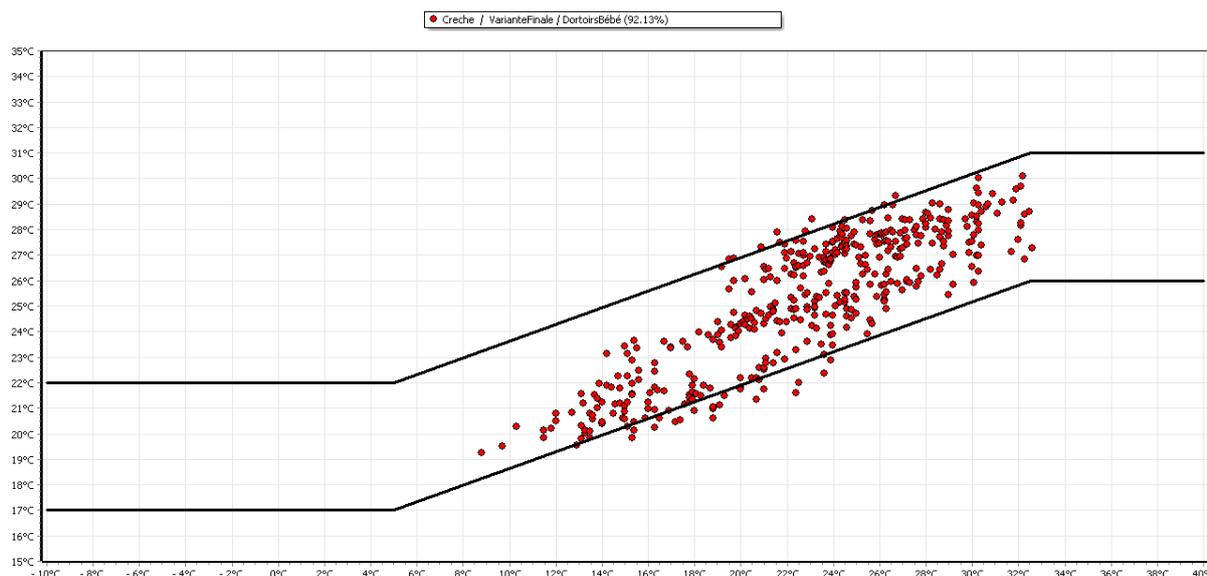
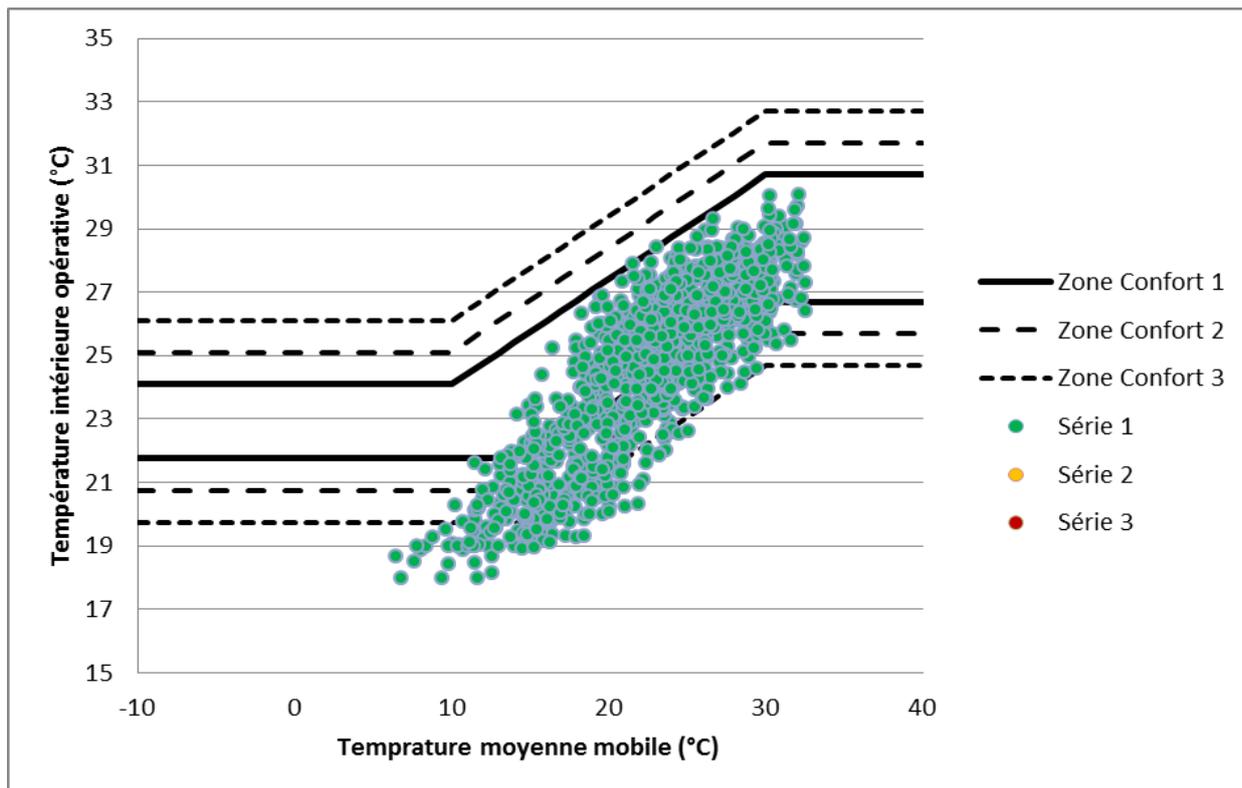


Figure 12: Exemple de diagramme de Brager du 15 Avril au 15 Septembre

La **Figure 12** ci-dessus est un extrait de sorties du logiciel Pléiades+Comfie. Il affiche la température intérieure en fonction de la température extérieure pour chaque heure d'occupation sur la période. L'objectif est d'obtenir un maximum de points dans la zone, dite de confort ou de Brager. Le logiciel permet d'obtenir le pourcentage de points dans la zone (ici 92%).

De manière plus précise, c'est la température opérative intérieure en fonction de la température moyenne mobile extérieure qu'il faudrait afficher.

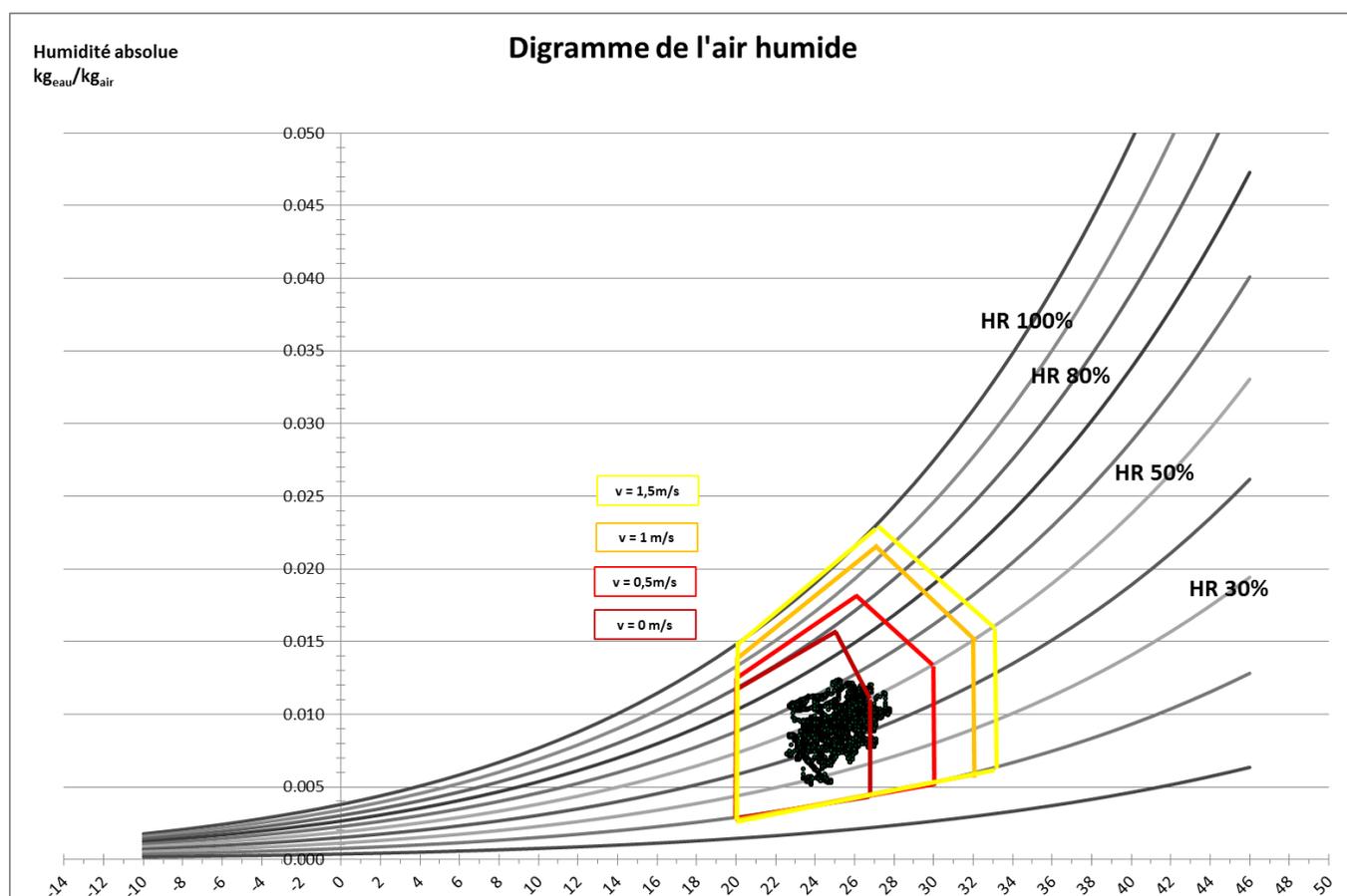
La norme EN15251 fournit les coordonnées des zones de confort pour les 3 catégories de bâtiment décrites précédemment, permettant ainsi d'afficher les résultats de simulation thermique dynamique sur les zones du graphique de la norme :



**Figure 13: Exemple de résultats de simulation thermique dynamique en termes de confort thermique**

L'exemple de la **Figure 13** ci-dessus exploite des résultats de simulation thermique dynamique en termes de confort adaptatif selon la norme EN15251. Il suffit d'afficher le pourcentage de points dans chacune des zones de confort correspondant aux catégories I à III.

- Pour les bâtiments non climatisés, mais disposant de moyens (architecturaux et/ou techniques) permettant de générer une vitesse d'air significative, diagramme de Givoni ou équivalent, sur toute la période en régime libre du bâtiment (c'est-à-dire en dehors de la période de chauffage et/ou de climatisation), et ce pour les zones jugées les plus représentatives. Le pourcentage d'heure en dehors de la zone de confort sera fourni par le prestataire. Le diagramme de Givoni est une zone de confort thermique représentée sur un diagramme psychrométrique. Il nécessite la connaissance des températures et humidités relatives intérieures.



**Figure 14: Exemple d'exploitation de résultats de simulation thermique dynamique sur diagramme psychrométrique (zones de Givoni)**

Le graphique de la **Figure 14** ci-dessus permet de visualiser les résultats de simulation en termes de confort thermique, représentés sur un diagramme psychrométrique. Quatre zones de confort thermique sont représentés afin de pouvoir évaluer quelle vitesse d'air il faudrait générer pour obtenir des conditions d'ambiance adaptées. Il suffit d'ajouter le pourcentage de points dans chaque zone thermique.

- Pour les bâtiments chauffés et/ou climatisés, le prestataire s'assurera de la pertinence du choix des températures de consigne au regard de l'usage du bâtiment (activité, tenue vestimentaire) à l'aide des indicateurs normatifs PMV et PPD (EN7730). Le pourcentage d'heure en période d'occupation où le PMV est compris entre -0.2 et +0.2, entre -0.5 et +0.5 et entre -0.7 et +0.7 sera donné pour les zones jugées représentatives<sup>9</sup>.

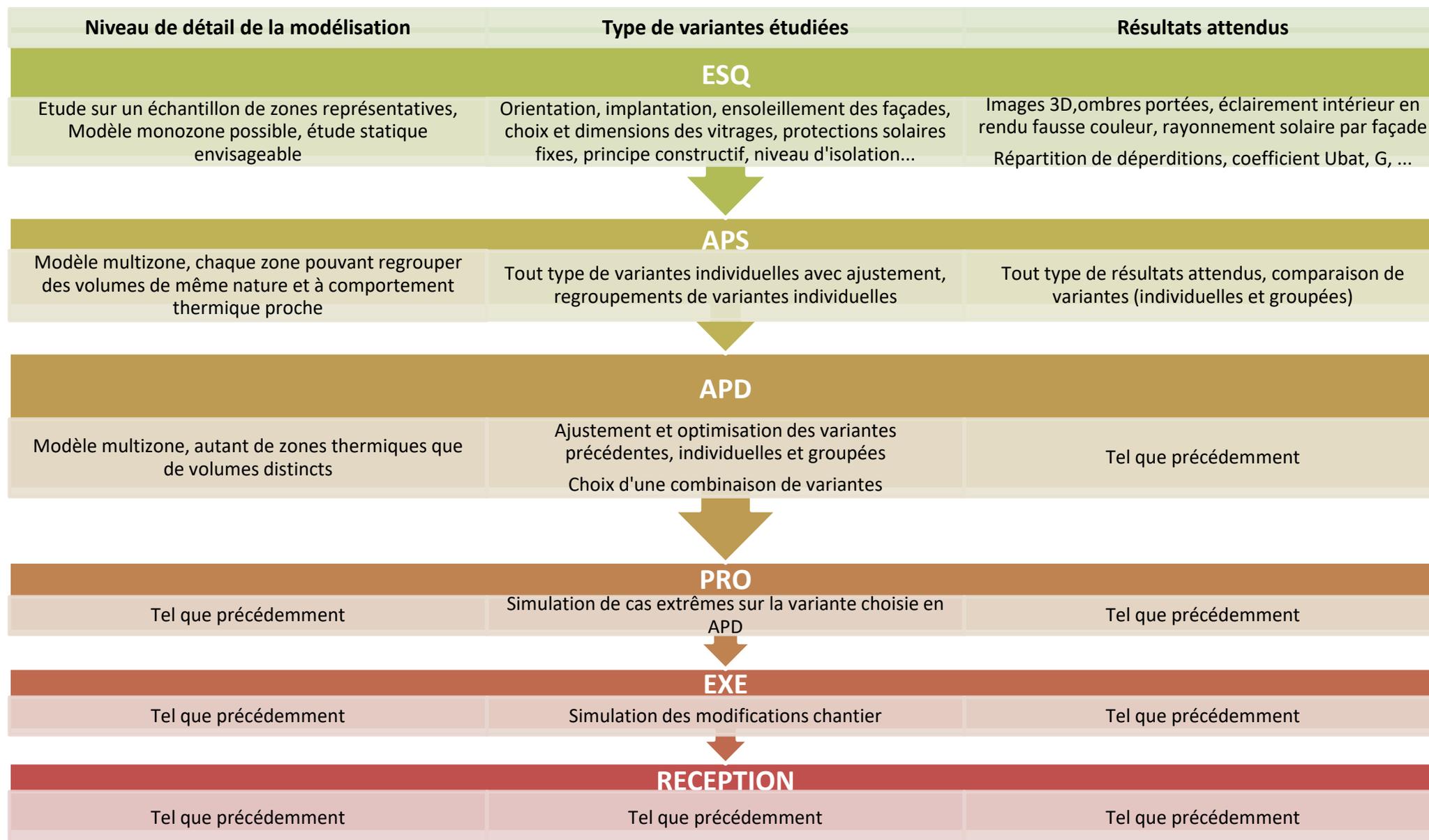
<sup>9</sup> Le PMV est un indicateur de sensation thermique. Pour un PMV compris entre -0.2 et +0.2, le pourcentage prévisible d'insatisfait est inférieur à 6%. Pour un PMV compris entre -0.5 et +0.5, le pourcentage prévisible d'insatisfait est inférieur à 10%. Pour un PMV compris entre -0.7 et +0.7, le pourcentage prévisible d'insatisfait est inférieur à 15%.

## **4. Méthodologie de modélisation**

Ce paragraphe vise à fournir aux prestataires la méthodologie de modélisation à adopter tout au long du projet, de la phase Esquisse à la phase EXE et réception du chantier. L'objectif étant d'utiliser l'outil de simulation thermique dynamique à bon escient afin de l'exploiter comme un réel outil de conception et non pas comme simple validation.

### **4.1. Phasage**

Les objectifs, les méthodes de modélisation, le niveau de détail et les résultats attendus de la simulation thermique dynamique varient selon l'état d'avancement du projet. Ce paragraphe vise à définir ces différences d'utilisation.



## 4.2. Simulation de variantes d'optimisation

Un des principaux objectifs de la simulation thermique dynamique est de pouvoir réaliser un certain nombre de variantes afin de pouvoir apprécier leur intérêt par comparaison d'indicateurs de performance énergétique et/ou de confort préalablement définis.

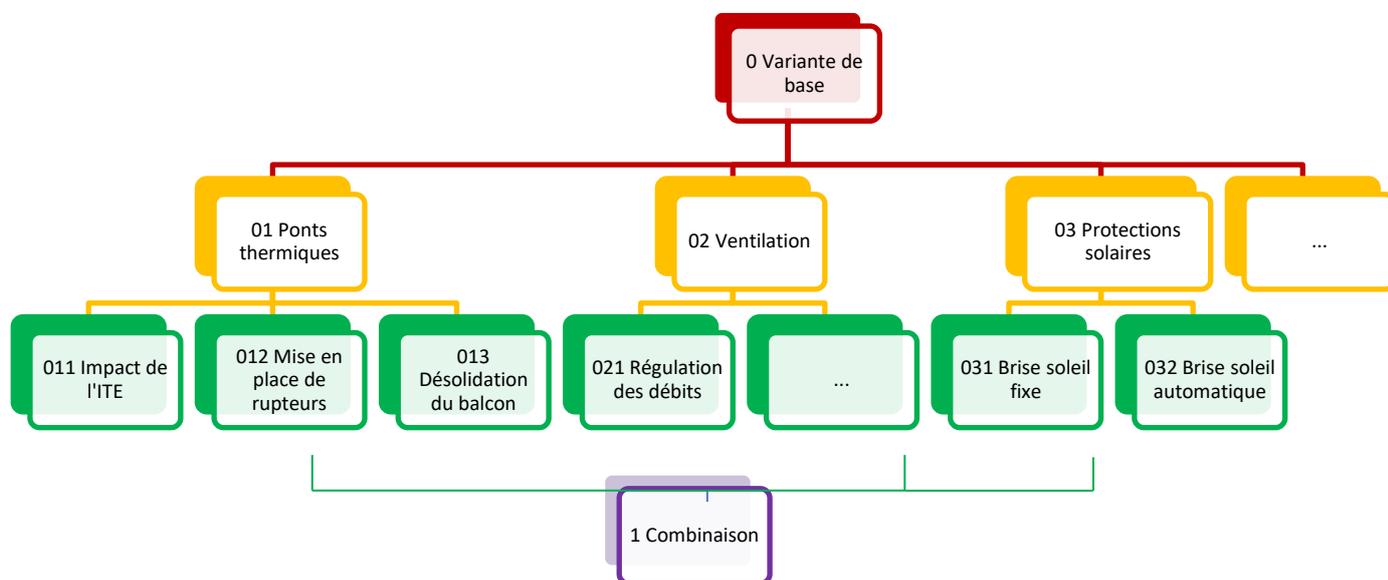
Tout au long du projet, l'outil de STD permettra d'optimiser la conception et les résultats serviront de supports de discussions pour réaliser un certain nombre de choix.

Les variantes d'optimisation peuvent porter sur :

- Implantation du bâtiment dans son environnement et gisement solaire : orientation, impact des masques proches
- Le niveau d'isolation et/ou d'inertie de l'enveloppe
- Le choix de vitrages : clair de vitrage, coefficient  $U_w$ , facteur solaire, transmission lumineuse...
- L'orientation et la dimension des vitrages
- L'optimisation des ponts thermiques : passage en ITE, mise en place de rupteurs, optimisation du principe constructif, désolidarisation des balcons, ...
- Le niveau d'étanchéité à l'air
- La ventilation hygiénique : choix des systèmes, efficacité, choix et régulation des débits, bypass et free-cooling...
- La ventilation naturelle : principe de fonctionnement, débits, régulation,
- Les protections solaires : type de protections, mode de régulation (motorisée ou manuelle, automatique, ...)
- L'usage et l'occupation du bâtiment (à la marge, suite à discussions avec la maîtrise d'ouvrage).

Le prestataire pourra fournir un arbre de variantes permettant de résumer la stratégie d'optimisation réalisée tout au long du projet. Chaque variante devra être identifiée par un numéro de variante permettant de visualiser de quelle variante elle est issue.

Une étude individuelle de ces variantes sera appréciée afin de pouvoir déduire l'impact réel de ces dernières indépendamment d'effets groupés potentiels. Cette étude permettra l'ajustement d'un certain nombre de paramètres et de fournir des éléments de conclusion sur les choix à effectuer.



**Figure 15: Exemple d'arbre de variantes d'optimisation**

Les variantes étudiées seront précisément décrites et, afin d'alimenter les discussions, le prestataire pourra fournir un récapitulatif de résultats sous forme d'histogramme ou tout autre graphique jugé pertinent et permettant de comparer un indicateur choisi (besoin de chauffage, taux d'inconfort, puissances installées, ...) pour les différentes variantes étudiées. Ces variantes seront numérotées de façon explicite.

Des combinaisons des variantes sélectionnées pourront alors être simulées.

En phase APD et PRO une variante finale sera définie.

Les résultats de l'étude des variantes pourront être comparées à la variante de base ou lorsque cela est pertinent à une variante au niveau supérieure de l'arbre. Dans tous les cas, les gains de la variante en question par rapport à la référence seront mis en avant.

### 4.3.Simulation de cas extrêmes

En phase PRO, il est attendu de la part des prestataires de réaliser des variantes en situation extrêmes et notamment :

- **Une simulation caniculaire**

Une Simulation Thermique Dynamique sur base d'un fichier météorologique caniculaire (année 2003 par exemple) est attendue.

L'objectif est de pouvoir évaluer le comportement moyen du bâtiment ainsi que sa réaction en termes de confort d'été et/ou de besoins de climatisation face à un épisode caniculaire ou au réchauffement climatique.

Des résultats en termes de confort d'été avec les indicateurs choisis sont attendus.

- **Une simulation de « mauvais usage »**

Afin de pouvoir appréhender l'écart de performance ou de niveau de confort induit par le comportement des usagers et le dysfonctionnement d'un système (mauvais entretien, usure,...), ou *performance gap*, il sera attendu par le prestataire d'évaluer l'impact de scénarios défavorables et notamment :

- Présentation des résultats de confort d'été:
  - La mauvaise gestion des protections solaires et l'ouverture des fenêtres la journée.
  - L'absence de sur-ventilation naturelle nocturne.
  - La variation de scénarios d'occupation et de gains internes
  - Etc...
- Présentation des résultats pour les besoins de chauffage :
  - Une consigne de chauffage plus élevée que prévue
  - L'absence/présence de réduit de consigne de température
  - L'ouverture intempestive de fenêtre (par exemple 2h par jour)
  - La mauvaise gestion des protections nocturnes
  - La variation de scénarios d'occupation et de gains internes
  - La mauvaise régulation de la ventilation mécanique
  - L'absence d'entretien des filtres de ventilation mécanique
  - Etc...
- Si climatisation, présentation des résultats pour les besoins de refroidissement :
  - Une consigne de refroidissement plus faible que prévue
  - L'ouverture intempestive de fenêtre
  - La mauvaise gestion des protections solaires
  - La variation de scénarios d'occupation et de gains internes
  - La mauvaise régulation de la ventilation mécanique et/ou naturelle
  - Etc...

Les prestataires ont le choix de modéliser des scénarios supplémentaires pour évaluer la robustesse de leur modèle. Dans ce cas, les critères pris en compte seront clairement présentés.

Différents indicateurs de performance énergétique et de confort seront présentés.

## 5. Sources

---

- EN 15251 : Critères d'ambiance intérieure pour la conception et évaluation de la performance énergétique des bâtiments couvrant la qualité de l'air intérieur, la thermique, l'éclairage et l'acoustique
- EN 15232 : Performance énergétique des bâtiments - Impact de l'automatisation de la régulation et de la gestion technique du bâtiment
- EN 13790 : Performance énergétique des bâtiments -- Calcul des besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement des locaux
- ISO 52016 : Performance énergétiques des bâtiments - Besoins d'énergie pour le chauffage et le refroidissement, les températures intérieures et les chaleurs sensible et latente
- ISO8996 : Ergonomie de l'environnement thermique -- Détermination du métabolisme énergétique
- ISO 7730 : Ergonomie des ambiances thermiques -- Détermination analytique et interprétation du confort thermique par le calcul des indices PMV et PPD et par des critères de confort thermique local
- EN13779 : Ventilation dans les bâtiments non résidentiels - Exigences de performances pour les systèmes de ventilation et de conditionnement d'air
- CETE Lyon
- Rapport de recherche compilation de gains internes, valeurs globales et forfaitaires
- Qualité des ambiances dans les bâtiments – Le confort thermique de l'habitant
- Energieplus-lesite.be

## 6. Annexes

### Annexe 1 : Surface de plancher nette par personne selon différentes sources

Surface de plancher nette par personne. (ISO13790, 2008; NBN-EN-13779, 2007; NBN-EN-15251, 2007)

	(NBN-EN-13779, 2007)	(NBN-EN-15251, 2007)	(ISO13791, 2004)	(ISO13790, 2008)
Horeca				
Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)				
Restaurants, cafétéria, buffet rapide, cantine, bars, cocktails bars	1,5 (entre 1,2 et 5)	1,5		5
Cuisines, kitchenettes	10			
Résidentiels, Hôtels, motels, centres de vacance				
Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)				
Chambre à coucher	10 (5 à 20)			
Dortoir de centre de vacances	5			
Lobby, hall d'entrée, Salle de réunion, espace de rencontre, salle polyvalente	2			
Maisons unifamiliales				60
Blocs d'appartements				40
Immeubles de bureaux				
Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)				
Bureaux (fermé)	15	10	6	
Bureau paysager	12 (7<...<20)	15		20
Petit bureau	8<...<12			
Bureau de direction			33	
Locaux de réception, réception, salles de réunion, salle de conférence et aire de circulation	3 – 3,5 (2<... <5)	2	2	5
Entrée principale	10			
Lieux publics				
Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)				
Hall des départs, salle d'attente	1			
Bibliothèque	10			
Lieux de rassemblement publics				
Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)				
Eglises et autres bâtiments religieux, bâtiments gouvernementaux, salles d'audiences, musées et galeries	2.5			
Commerce				
Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)				
Local de vente, magasin (sauf centres commerciaux)	7	7		
Grand magasin	4 (3 à 8)			10
Centre commercial	2.5			
Salon de coiffure, institut de beauté	4			
Magasin de meubles, tapis, textiles...	20			
Supermarché, grand magasin, magasin spécialisé pour animaux	10			10
Laverie automatique	5			
Sports et loisirs				
Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)				
Hall de sports, stades (salles de jeux), salle de gymnastique	3.5			
Vestiaires	2			
Espace des spectateurs, tribunes, Discothèques, dancings	1			
Club sportif : salle d'aérobic, salle de fitness, club de bowling	10			20
Piscine intérieure				60
Locaux de travail				
Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)				
Studio de photographie, chambre noire, Pharmacie (local de préparation), Local de photocopie / local des imprimantes	10			
Salle des guichets dans les banques, salle des coffres destinées au public	20			

Local informatique (sans local des imprimantes)	25		
Etablissements d'enseignement		Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)	
Salle des cours	4		
Salle de classe	2,5 (2 à 5)	2	
Salle polyvalentes	1		10
Ecole maternelle		2	
Auditoire		0,75	
Soins de santé		Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)	
Salle commune	10		
Salle de traitement et d'examen, Salle d'opération et d'accouchement, salle de réveil et soins intensifs, salle de kinésithérapie, de physiothérapie	5		Hôpitaux : 30
Salle d'hôpital	10 (5 à 15)		
Etablissements pénitentiaires		Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)	
Cellules, salles communes	4		
Postes de surveillance	7		
Inscription, enregistrement, salle de garde	2		
Autres espaces		Surface au sol (m <sup>2</sup> /personne)	
Autres espaces	15		
Bâtiments industriels			20
Entrepôts			100

## Annexe 2 : Charge interne liée à l'occupation en fonction du niveau d'activité

Degré d'activité	Métabolisme énergétique (met)	Chaleur totale (W) <sup>a</sup>		Chaleur sensible (W) <sup>a</sup>	Chaleur latente (W) <sup>a</sup>	% chaleur sensible rayonnée		Apport en eau (g/h)
		Homme adulte	Adaptée, H/F <sup>a</sup>			Faible <sup>b</sup>	Elevée <sup>b</sup>	
Repos, couché	0,8	80		55				
Assis au théâtre / assis au repos	1,0	100*-114-115	95	65-70	30			37
Assis au théâtre, la nuit			115	105	70	60	27	
Assis, travail très léger	1,2	125-130	115	70-75	45			
Debout au repos		128						46
Travail de bureau modérément actif		140-145**	130	75	55			61
Debout, travail léger ; marche	1,6	160-170*-174**	130	75-85	55	58	38	99
Marche, debout		160	145	75	70			
Travail sédentaire		145	160	80	80			
Travail modéré	2,0	197***-210		105				116
Travail de laboratoire léger / travail actif		232-235	220	80	140	49	35	141
Danse modérée		265	250	90	160			
Marche à plat à du 2 km/h	1,9							
Marche à plat à du 3 km/h	2,4							
Marche à plat à du 4 km/h	2,8							
Marche à 4,8-5* km/h ; travail léger sur machine / travail intense	3,4	290***-295-360	295	110-120	185			213
Bowling <sup>d</sup>		440	425	170	255			
Travail lourd / travail pénible		406-440	425	170	255			319
Travail lourd sur machine, levage		470	470	185	285	54	19	
Athlétisme		585	525	210	315			

<sup>a</sup> Le gain adapté de chaleur est basé sur le pourcentage normal d'homme, de femmes et d'enfants pour l'application concernée, en considérant que les gains liés à une femme adulte valent 85 % de ceux d'un homme adulte et que ceux d'un enfant sont de 75 % de ceux d'un homme adulte.

<sup>b</sup> Valeurs approximatives où V est la vitesse de l'air.

<sup>c</sup> La valeur adaptée de gain de chaleur comprend 18 W pour la nourriture par personne (9 W de chaleur sensible et 9 W de chaleur latente).

<sup>d</sup> Chiffre pour une personne par allée jouant au bowling et tous les autres étant assises (117W) ou debout ou marchant lentement (231 W).

<sup>e</sup> Valeur arrondie pour un corps humain avec une surface d'échange de 1,8 m<sup>2</sup> par personne.

\*source NBN-EN-13779, 2007 pour une température intérieure de 24°C

\*\*source Liébard and De Herde, 2005

### Annexe 3 : Niveau d'éclairage par type de local suivant la norme EN15251

Type de bâtiment	Espace	Éclairage maintenu, $E_m$ , dans les zones de travail (lux)
Immeuble de bureaux	Bureaux fermés	500
	Bureaux paysagés	500
	Salles de réunion	500
Bâtiment d'enseignement	Salles de classe	300
	Salles de classe pour adultes	500
	Amphithéâtres	500
Hôpitaux	Salle d'hôpital, éclairage général	100
	Consultation	300
	Consultation et soins	1000
Hôtels et restaurants	Restaurant, salle à manger	-
Etablissement sportif	Salles de sport	300
Locaux de commerce de gros et de détail	Zones de vente	300
	Caisses	500
	Couloir	100
Zones de circulation	Escaliers	150
Autres bâtiments	Voir l'EN 12464-1	

## Annexe 4 : Débit de ventilation hygiénique par type de local et par catégorie de bâtiments

### Annexe 4.1 : recommandations selon la norme EN15251

Type de bâtiment ou d'espace	Catégorie	Surface au sol m <sup>2</sup> / personne	q <sub>p</sub>	q <sub>B</sub>	q <sub>tot</sub>	q <sub>B</sub>	q <sub>tot</sub>	q <sub>B</sub>	q <sub>tot</sub>	Supplément si autorisation de fumer
			V(s.m <sup>2</sup> ) pour l'occupation	V(s.m <sup>2</sup> ) pour bâtiment très peu polluant		V(s.m <sup>2</sup> ) pour bâtiment peu polluant		V(s.m <sup>2</sup> ) total pour bâtiment polluant		V(s.m <sup>2</sup> )
Bureau fermé	I	10	1,0	0,5	1,5	1,0	2,0	2,0	3,0	0,7
	II	10	0,7	0,3	1,0	0,7	1,4	1,4	2,1	0,5
	III	10	0,4	0,2	0,6	0,4	0,8	0,8	1,2	0,3
Bureau paysagé	I	15	0,7	0,5	1,2	1,0	1,7	2,0	2,7	0,7
	II	15	0,5	0,3	0,8	0,7	1,2	1,4	1,9	0,5
	III	15	0,3	0,2	0,5	0,4	0,7	0,8	1,1	0,3
Salle de réunion	I	2	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	5,0
	II	2	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	3,6
	III	2	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	2,0
Auditorium	I	0,75	15	0,5	15,5	1,0	16	2,0	17	
	II	0,75	10,5	0,3	10,8	0,7	11,2	1,4	11,9	
	III	0,75	6,0	0,2	0,8	0,4	6,4	0,8	6,8	
Restaurant	I	1,5	7,0	0,5	7,5	1,0	8,0	2,0	9,0	
	II	1,5	4,9	0,3	5,2	0,7	5,6	1,4	6,3	5,0
	III	1,5	2,8	0,2	3,0	0,4	3,2	0,8	3,6	2,8
Salle de classe	I	2,0	5,0	0,5	5,5	1,0	6,0	2,0	7,0	
	II	2,0	3,5	0,3	3,8	0,7	4,2	1,4	4,9	
	III	2,0	2,0	0,2	2,2	0,4	2,4	0,8	2,8	
École maternelle	I	2,0	6,0	0,5	6,5	1,0	7,0	2,0	8,0	
	II	2,0	4,2	0,3	4,5	0,7	4,9	1,4	5,8	
	III	2,0	2,4	0,2	2,6	0,4	2,8	0,8	3,2	
Magasin	I	7	2,1	1,0	3,1	2,0	4,1	3,0	5,1	
	II	7	1,5	0,7	2,2	1,4	2,9	2,1	3,6	
	III	7	0,9	0,4	1,3	0,8	1,7	1,2	2,1	

q<sub>p</sub> correspond au débit de ventilation pour l'occupation par personne, en l/(s.m<sup>2</sup>)

q<sub>B</sub> correspond au débit de ventilation pour les émissions du bâtiment, selon la catégorie de pollution, en l/(s.m<sup>2</sup>)

$q_{tot}$  correspond au débit total de ventilation, en  $l/(s.m^2)$

Et pour les bâtiments résidentiels :

Catégorie	Taux de renouvellement d'air <sup>a)</sup>		Séjour et chambres, essentiellement débit d'air neuf		Débit d'air extrait l/s		
	$l/s.m^2$	Vol/h	$l/s, pers$ <sup>b)</sup>	$l/s.m^2$	Cuisine	Salles de bain	Toilettes
I	0,49	0,7	10	1,4	28	20	14
II	0,42	0,6	7	1,0	20	15	10
III	0,35	0,5	4	0,6	14	10	7

*a) Le taux de renouvellement d'air exprimé en  $l/sm^2$  et en volume par heure sont équivalents pour une hauteur de plafond 2,5 m.*

*b) Le nombre d'occupants dans le logement peut être estimé à partir du nombre de chambres. Les hypothèses établies au niveau national doivent être utilisées lorsqu'elles existent, elles peuvent varier pour les calculs énergétiques et les calculs de qualité d'air intérieur.*

**Annexe 4.2 : EN13779**

Norme européenne EN 13779 pour les locaux sans fumeur	
Catégorie de qualité d'air	Débit d'air neuf
Excellente qualité (niveau ambiant de CO <sub>2</sub> < 400 ppm au dessus du niveau extérieur)	> 54 [m <sup>3</sup> /h.pers]
Qualité moyenne (niveau ambiant de CO <sub>2</sub> 400-600 ppm au dessus du niveau extérieur)	de 36 à 54 [m <sup>3</sup> /h.pers]
Qualité acceptable (niveau ambiant de CO <sub>2</sub> 600-1000 ppm au dessus du niveau extérieur)	de 22 à 36 [m <sup>3</sup> /h.pers]
Faible qualité (niveau ambiant de CO <sub>2</sub> > 1000 ppm au dessus du niveau extérieur)	< 22 [m <sup>3</sup> /h.pers]

**Figure 16: Débit de ventilation recommandée par la norme EN13779 en m3/h.pers. Le débit minimal à respecter est de 22m3/h.personne**

Type d'occupation	Surface au sol par personne [m <sup>2</sup> /personne]
<b>Horeca</b>	
Restaurants, cafétéria, buffet rapide, cantine, bars, cocktail-bar	1.5
Cuisines, kitchenettes	10
<b>Hôtels, motels, centres de vacances</b>	
Chambres à coucher d'hôtel, de motel, de centre de vacances, ...	10
Dortoirs de centres de vacances	5
Lobby, hall d'entrée	2
Salle de réunion, espace de rencontre, salle polyvalente	2

<b>Immeubles de bureaux</b>	
Bureau	15
Locaux de réception, réception, salles de réunions	3.5
Entrée principale	10
<b>Lieux publics</b>	
Hall des départs, salle d'attente	1
Bibliothèque	10
<b>Lieux de rassemblement publics</b>	
Église et autres bâtiments religieux, bâtiments gouvernementaux, salles d'audience, musées et galeries	2.5
<b>Commerce de détail</b>	
Local de vente, magasin (sauf centres commerciaux)	7
Centre commercial	2.5
Salon de coiffure, institut de beauté	4
Magasins de meubles, tapis, textiles...	20
Supermarché, grand magasin, magasin spécialisé pour animaux	10
Laverie automatique	5
<b>Sports et loisirs</b>	
Hall de sport, stades (salle de jeu), salle de gymnastique	3.5
Vestiaires	2
Espace de spectateurs, tribunes	1
Discothèque/dancing	1
Club sportif : salles d'aérobic, salle de fitness, club de bowling	10
<b>Locaux de travail</b>	
Studio de photographie, chambre noire...	10
Pharmacie (local de préparation)	10
Salle des guichets dans les banques / salle des coffres destinée au public	20
Local de photocopie / local des imprimantes	10
Local informatique (sans local des imprimantes)	25
<b>Établissements d'enseignement</b>	
Salles de cours	4
Salle polyvalente	1

<b>Soins de santé</b>	
Salle commune	10
Salles de traitement et d'examen	5
Salles d'opération et d'accouchement, salle de réveil et soins intensifs, salle de kinésithérapie, de physiothérapie	5
<b>Établissements pénitentiaires</b>	
Cellules, salle commune	4
Postes de surveillance	7
Inscription / enregistrement / salle de garde	2
<b>Autres espaces</b>	
Magasin de stockage	100
Autres espaces	15

Figure 17: densité d'occupation selon la norme EN13779

## Annexe 5 : Plage de température pour le chauffage et le rafraîchissement par type de local et par catégorie de bâtiments – Extrait de la norme EN15251

Type de bâtiment ou d'espace	Catégorie	Plage de température pour le chauffage, °C Vêtue ~ 1,0 clo	Plage de température pour le rafraîchissement, °C Vêtue ~ 0,5 clo
Bâtiments d'habitation, pièces de séjour (chambres, séjours, etc.) Activité sédentaire ~1,2 met	I	21,0 – 25,0	23,5 – 25,5
	<b>II</b>	<b>20,0 – 25,0</b>	<b>23,0 – 26,0</b>
	III	18,0 – 25,0	22,0 – 27,0
Bâtiments d'habitations, autres locaux (cuisines, rangements, etc.) Station debout, marche ~1,5 met	I	18,0 – 25,0	
	<b>II</b>	<b>16,0 – 25,0</b>	
	III	14,0 – 25,0	
Bureaux et locaux à activité similaire (bureaux individuels ou paysagés, salles de réunion, auditoriums, cafétérias, restaurants, salles de classe) Activité sédentaire ~1,2 met	I	21,0 – 23,0	23,5 – 25,5
	<b>II</b>	<b>20,0 – 24,0</b>	<b>23,0 – 26,0</b>
	III	19,0 – 25,0	22,0 – 27,0
Écoles maternelles Station debout, marche ~1,4 met	I	19,0 – 21,0	22,5 – 24,5
	<b>II</b>	<b>17,5 – 22,5</b>	<b>21,5 – 25,5</b>
	III	16,5 – 23,5	21,0 – 26,0
Grands magasins Station debout, marche ~1,6 met	I	17,5 – 20,5	22,0 – 24,0
	<b>II</b>	<b>16,0 – 22,0</b>	<b>21,0 – 25,0</b>
	III	15,0 – 23,0	20,0 – 26,0

## Annexe 6 : Densité de puissance d'éclairage pour des locaux spécifiques (ASHRAE 2009)

Type d'espace spécifique	Gains maximums de chaleur par mètre carré liés à l'éclairage (W/m <sup>2</sup> )	Type d'espace spécifique	Gains maximums de chaleur par mètre carré liés à l'éclairage (W/m <sup>2</sup> )
Palais de justice/police/prison		Bibliothèque	
Salle d'audience	20	Centre des cartes et catalogage	12
Cellule de confinement	10	Étagères	18
Local des juges	14	Aire de lecture	13
Pénitencier		Industrie	
Hôpital		Faible hauteur (<7,6m sous plafond)	13
Urgences	29	Grande hauteur (>7,6m sous plafond)	18
Salle de réveil	9	Manufacture détaillée	23
Local des infirmières	11	Salle de contrôle	5
Salle d'examen	16	Espaces culturels	
Pharmacie	13	Salle d'exposition	11
Chambre des patients	8	Hall de théâtre	36
Salle d'opération	24	Hall de cinéma	13
Garderie	6	Salle de restauration	18
Fournitures médicales	15	Hébergement	
Physiothérapie	10	Caserne : Quartier de repos	3
Radiologie	4	Chambre d'hôtel / motel	12
Espaces de travail		Dortoir - quartiers d'habitation	12
Bureau		Commerces	
Bureau	16	Aire de vente	18
Garage automobile	8	Centre commercial	18
Caserne : Hangar des machines	9	Entrepôt	
Bureau de poste – aire de tri	12	Stockage de matériaux fins	15
Centre de congrès	14	Stockage de matériaux moyens et encombrants	10
Bâtiment religieux		Transport	
Salle de culte, chœur	26	Hall d'aéroport	6
Sport		Secteur des bagages (avion, train, bus)	11
Ring de sport	29	Terminal - billetterie	16
Terrain de sport	25	Garage – aire de parking	2
Salle omnisport intérieure	15	Lavoir – entretien	6
Aire de jeu	15		
Aire d'exercice	10		

## Annexe 7 : Résistance thermique de différentes pièces de vêtements, Extrait de la norme ISO7730

Vêtement	$I_{clu}$		Variation de la température opérative optimale °C
	clo	m <sup>2</sup> .K/W	
<b>Sous-vêtements</b>			
Slip	0,03	0,005	0,2
Caleçon long	0,10	0,016	0,6
Maillot de corps	0,04	0,006	0,3
T-shirt	0,09	0,014	0,6
Chemise à manches longues	0,12	0,019	0,8
Slip et soutien-gorge	0,03	0,005	0,2
<b>Chemises/Corsages</b>			
Manches courtes	0,15	0,023	0,9
Légères, manches longues	0,20	0,031	1,3
Normales, manches longues	0,25	0,039	1,6
Flanelle, manches longues	0,30	0,047	1,9
Corsage léger, manches longues	0,15	0,023	0,9
<b>Pantalons</b>			
Short	0,06	0,009	0,4
Léger	0,20	0,031	1,3
Normal	0,25	0,039	1,6
Flanelle	0,28	0,043	1,7
<b>Robes/Jupes</b>			
Jupe légère (été)	0,15	0,023	0,9
Jupe épaisse (hiver)	0,25	0,039	1,6
Robe légère, manches courtes	0,20	0,031	1,3
Robe d'hiver, manches longues	0,40	0,062	2,5
Combinaison	0,55	0,085	3,4
<b>Tricots</b>			
Gilet sans manche	0,12	0,019	0,8
Tricot léger	0,20	0,031	1,3
Tricot moyen	0,28	0,043	1,7
Tricot épais	0,35	0,054	2,2
<b>Vestes</b>			
Veste légère d'été	0,25	0,039	1,6
Veste	0,35	0,054	2,2
Blouse	0,30	0,047	1,9
<b>À haut pouvoir isolant, fourrure synthétique</b>			
Combinaison	0,90	0,140	5,6
Pantalon	0,35	0,054	2,2
Veste	0,40	0,062	2,5
Gilet	0,20	0,031	1,3
<b>Vêtements d'extérieur</b>			
Manteau	0,60	0,093	3,7
Veste en duvet	0,55	0,085	3,4
Parka	0,70	0,109	4,3
Salopette en fourrure synthétique	0,55	0,085	3,4
<b>Divers</b>			
Chaussettes	0,02	0,003	0,1
Socquettes épaisses	0,05	0,008	0,3
Chaussettes épaisses	0,10	0,016	0,6
Bas nylon	0,03	0,005	0,2
Chaussures (semelles fines)	0,02	0,003	0,1
Chaussures (semelles épaisses)	0,04	0,006	0,3
Bottes	0,10	0,016	0,6
Gants	0,05	0,008	0,3

**Annexe 8 : Métabolisme d'activité en W/m<sup>2</sup> (1 met = 58 W/m<sup>2</sup>), extrait des normes ISO7730 et ISO8996**

Professions		Métabolisme (W·m <sup>-2</sup> )
Travail de bureau	Travail sédentaire	55 à 65
	Travail de bureau	65 à 100
Artisan	Concierge	80 à 115
	Maçon	110 à 160
	Menuisier-charpentier	110 à 175
	Vitrier	90 à 125
	Peintre	100 à 130
	Boulangier	110 à 140
	Boucher	105 à 140
Industrie minière	Horloger	55 à 70
	Hercheur	70 à 85
	Piqueur de houille	110
Industrie sidérurgique	Ouvrier de four à coke	115 à 175
	Ouvrier de haut fourneau	170 à 220
	Ouvrier de four électrique	125 à 145
	Mouleur à la main	140 à 240
	Mouleur à la machine	105 à 165
Ferronnerie et serrurerie	Fondeur	140 à 240
	Forgeron	90 à 200
	Soudeur	75 à 125
	Tourneur	75 à 125
	Fraiseur	80 à 140
Imprimerie	Mécanicien de précision	70 à 110
	Compositeur manuel	70 à 95
	Relieur	75 à 100
Agriculture	Jardinier	115 à 190
	Conducteur de tracteur	85 à 110
Circulation	Conducteur de voiture	70 à 100
	Conducteur de bus	75 à 125
	Conducteur de tramway	80 à 115
	Grutier	65 à 145
Professions diverses	Laborantin	85 à 100
	Enseignant	85 à 100
	Vendeur	100 à 120
	Secrétaire	70 à 85

Activités	W·m <sup>-2</sup>
Sommeil	40
Allongé	45
Au repos, assis	55
Au repos, debout	70
Marche sur un terrain plat, régulier et dur	
1. sans charge à 2 km·h <sup>-1</sup>	110
à 3 km·h <sup>-1</sup>	140
à 4 km·h <sup>-1</sup>	165
à 5 km·h <sup>-1</sup>	200
2. avec charge 10 kg, à 4 km·h <sup>-1</sup>	185
30 kg, à 4 km·h <sup>-1</sup>	250
Marche en montant sur un terrain régulier et dur	
1. sans charge pente de 5°, à 4 km·h <sup>-1</sup>	180
pente de 15°, à 3 km·h <sup>-1</sup>	210
pente de 25°, à 3 km·h <sup>-1</sup>	300
2. avec une charge de 20 kg pente de 15°, à 4 km·h <sup>-1</sup>	270
pente de 25°, à 4 km·h <sup>-1</sup>	410
Marche en descendant à 5 km·h <sup>-1</sup> , sans charge	
pente de 5°	135
pente de 15°	140
pente de 25°	180
Monter à une échelle inclinée à 70° à une vitesse de 11,2 m/min <sup>-1</sup>	
sans charge	290
avec une charge de 20 kg	360
Pousser ou tirer un wagonnet à bascule, à 3,6 km·h <sup>-1</sup> , sur un terrain régulier et dur	
force de poussée: 12 kg	290
force de traction: 16 kg	375
Pousser une brouette sur un terrain régulier, à 4,5 km·h <sup>-1</sup> , roues à bandage en caoutchouc, charge de 100 kg	
	230
Limage de fer 42 coups de lime/min	
	100
60 coups de lime/min	
	190
Travail au marteau, 2 mains, poids du marteau 4,4 kg, 15 coups/min	
	290
Travail de menuiserie sciage à la main	
	220
sciage à la machine	
	100
planage à la main	
	300
Pose de briques, 5 briques/min	
	170
Visser	
	100
Creuser une tranchée	
	290
Activité sédentaire (bureau, habitation, école, laboratoire)	
	70
Activité légère debout (magasin, laboratoire, industrie légère)	
	95
Activité modérée debout (vendeur, travaux domestiques, travail à la machine)	
	115
Travail avec machine-outil	
léger (réglage, assemblage)	100
moyen (chargement)	140
intense	210
Travail avec outil à main	
léger (polissage léger)	100
moyen (polissage)	160
intense (perçage intense)	230

**Annexe 9 : Extrait de la norme EN12464 relative à l'éclairage en milieu non résidentiel**

	Type de local	Niveau d'éclairage en lux sur le plan de travail
Bureaux	Ecriture, dactylographie, lecture, traitement de données	500
	Dessin industriel	750
	Stations de travail de CAO	500
	Salles de conférence et de réunion	500
	Classement, transcription	300
	Réception	300
	Archives	200
	Circulation et couloir	100
	Escaliers, escaliers roulants, tapis roulants	100
	Elévateurs, ascenseurs	100
	Allées centrales: occupées	150
	Ecoles maternelles et garderies	Salle de jeux
Crèches		300
Salles de travaux manuels		300

Bâtiments scolaires	Salle de classe en primaire et secondaire	300
	Salle de classe pour les cours du soir et enseignement aux adultes	500
	Auditorium, salle de conférence	500
	Tableau noir, vert et blanc	500
	Table de démonstration	500
	Salle d'art	500
	Salle d'art dans les écoles des beaux-Arts	750
	Salle de dessin industriel	750
	Salle de travaux pratiques et laboratoire	500
	Salle de travaux manuels	500
	Atelier d'enseignement	500
	Salle de pratique musicale	300
	Salle de pratique informatique	300
	Laboratoire de langues	300
	Atelier et salle de préparation	500
	Hall d'entrée	200
	Zones de circulation et couloirs	100
	Escaliers	150
	Salle commune pour étudiants et salle de réunion	200
	Salles des professeurs	300
	Bibliothèque : rayonnages	200
	Bibliothèque : salle de lecture	500
	Réserves pour le matériel des professeurs	100
	Hall de sport, gymnases et piscines	300
	Cantine scolaire	200
	Cuisine	500

Commerces	Zone de rangement en rayonnage	
	Allées centrales: non occupées	20
	Allées centrales: occupées	150
	Magasin de vente au détail	
	Zones de vente	300
	Zones des caisses	500
	Table d'emballage	500

Pour les autres locaux, se référer à la norme EN12464 (milieux hospitaliers, ateliers, halles de sport, ...)