

RAPPORT ENVIRONNEMENTAL CONSTRUCTION DU CAMPUS DE L'UNIVERSITE EURO-MEDITERRANEENNE DE FES

Rapport phase DCE

Le 26 Mai 2015

Architectes :

Groupe 3 – Rabat

Reichen et Robert - Paris

Sommaire

Préambule	6
I. Analyse climatique du site.....	7
I.1. Localisation du site	7
I.2. Potentiel solaire.....	7
I.3. Températures	9
I.4. Vent	10
I.5. Précipitations.....	12
I.6. Températures du sol.....	13
I.7. Conclusions analyse climatique.....	13
II. Etudes réalisées en phase APD.....	14
II.1. Etudes de lumière.....	14
II.1.1) Irradiations solaires sur les façades.....	14
II.1.2) Lumière du jour – Bâtiment d’enseignement	16
II.2. Simulations thermiques.....	24
II.2.1) Inertie thermique des parois verticales – Bâtiments d’enseignement	24
II.2.2) Dimensionnement des brise-soleil	25
II.3. Confort extérieur	25
II.3.1) Définition de l’UTCI – Universal Thermal Climate Index	25
II.3.2) Simulations de confort dans les espaces extérieurs prééminents – Base et variantes.	28
II.3.3) Rafrachissement adiabatique des patios.....	33
II.4. Ventilation	34
II.4.1) Estimation des débits	34
II.4.2) Comparatif centralisée versus décentralisée	37
II.4.3) Plans d’implantation CTA décentralisées – Bâtiments d’enseignement.....	38
II.4.4) Dimensionnement des puits canadiens	41
II.5. Approvisionnement énergétique	42
II.5.1) Production centralisée	42
II.5.2) Réseau énergétique.....	43
II.5.3) Synthèse	44
III. Gestion des déchets	45
III.1. Rappel des volumétries de déchets	45
III.2. Recommandations à mettre en œuvre	46

III.3.	Implantation des locaux de stockage intermédiaire et des points de collecte sur les plans APD	47
III.3.1)	Bâtiments d'enseignement	47
IV.	Gestion des eaux	48
IV.1.	Rappel des estimations	48
IV.2.	Rappel des recommandations	49
IV.2.1)	Réduction de la consommation d'eau potable	49
IV.2.2)	Cycle de l'eau	51
IV.3.	Récupération des eaux de pluie	52
IV.3.1)	Dimensionnement des volumes de stockage de la partie enseignement et recherche	52
IV.3.2)	Implantations des cuves par bâtiments	53
V.	Annexes	54
V.1.	Inertie des parois verticales – bâtiments d'enseignement	55
V.2.	Rupture de ponts thermiques	59
V.3.	Brise-soleil – Bâtiments d'enseignement et recherche	64
V.4.	Confort extérieur	67
V.5.	Cahier des charges technique des tests de réponse thermique du sol nécessaires	79
V.6.	Gestion des eaux pluviales – Bâtiment d'enseignement	85

Table des figures

Figure 1 - Situation du site	7
Figure 2 - Irradiation solaire mensuelle moyenne et température d'air mensuelle moyenne	7
Figure 3 - Irradiation solaire mensuelle moyenne sur l'horizontal, en direct et diffus	8
Figure 4 - Irradiation solaire mensuelle moyenne sur les 4 orientations pour des surfaces à la verticale, en direct et en diffus.....	8
Figure 5 - hauteur et inclinaisons solaire annuelle	8
Figure 6 - évolution de la température de l'air annuelle	9
Figure 7 - évolutions des températures de l'air, humide et de rosée sur une période chaude de l'année (du 3 juillet au 12 juillet).....	9
Figure 8 - statistique des températures d'air annuelles, permettant de qualifier la capacité de ventilation naturelle annuelle	9
Figure 9 - statistique annuelle des températures de rosée, permettant d'accéder aux risques de condensation sur des surfaces froides (de type panneaux rayonnant froid)	10
Figure 10 - graphique psychrométrique de l'air, permettant de comprendre les conditions hygrothermiques annuelles et les potentiels de refroidissement adiabatiques	10
Figure 11 - statistique des vitesses de vents	10
Figure 12 - rose des vents pour toutes températures.....	11
Figure 13 - rose des vents pour les vents d'hiver.....	11
Figure 14 - rose des vents pour les vents d'été.....	12
Figure 15 - statistique des précipitations mensuelles	12
Figure 16 - distribution des températures du sol en fonction de la profondeur et du mois de l'année.....	13
Figure 17 - Irradiations solaires sur les bâtiments d'enseignement - Façades Sud et Ouest.....	14
Figure 18 - Irradiations solaires sur les bâtiments d'enseignement - Façades Nord et Est	15
Figure 19 - Définition du facteur de lumière du jour	16
Figure 20 - Présentation de la salle de classe étudiée.....	17
Figure 21 - Essai avec 70% de vitrages et brise-soleil très denses (une lame tous les 30 cm).....	18
Figure 22 - Essai avec 30% de surface vitrée et brise soleil moins denses (une lame tous les 60 cm).....	19
Figure 23 - Situation des salles de laboratoires étudiées	20
Figure 24 - Résultats laboratoires	21
Figure 25 - Résultats d'une salle de labo avec des fenêtres de 80cm de large.....	22
Figure 26 - FLJ des bureaux (A gauche : R+4 Sud - A droite : RDC Nord)	23
Figure 27 - Paramètres intervenant sur le ressenti de confort	26
Figure 28 - Température biophysique d'un être humain	27
Figure 29 - Ressenti de confort en fonction de la température conventionnelle UTCI	27
Figure 30 - Direction des vents d'été (à gauche) et d'hiver (à droite).....	28
Figure 31 - Repérage des espaces modélisés	29
Figure 32 - Cartographie des espaces de la version de base	29
Figure 33 - Cartographie des solutions recommandées par Transsolar	30
Figure 34 - Plan d'implantation des CTA – B1B2 RDC – B3B4 SS.....	38
Figure 35 - Plan d'implantation des CTA – B1B2 R1 – B3B4 RDC	39
Figure 36 - Plan d'implantation des CTA – B1B2 R2 – B3B4 R1	39
Figure 37 - Plan d'implantation des CTA – B3B4 R2	40
Figure 38 - Plan d'implantation des CTA – B3B4 R3	40
Figure 39 - Exemple d'un puits canadien en réseau	41
Figure 40 - Concept de production d'énergie à base de géothermie	42
Figure 41 - Synergies et stratégies d'approvisionnement	43
Figure 42 - Boucle énergétique	43

<i>Figure 43 - Synthèses des stratégies d'approvisionnement de traitement des logements et des bâtiments d'enseignement.....</i>	<i>44</i>
<i>Figure 44 - Plan de gestion globale des déchets</i>	<i>47</i>
<i>Figure 45 - Localisation des locaux déchets sur les plans APD du rez-de-chaussée B1 et B2</i>	<i>48</i>
<i>Figure 46 - Localisation des locaux déchets sur les plans APD du rez-de-chaussée B3 et B4</i>	<i>48</i>
<i>Figure 47 - Cycle de l'eau sur le terrain de l'UEMF</i>	<i>51</i>
<i>Figure 48 - Répartition des volumes de stockage d'EP et des parcelles perméables</i>	<i>53</i>
<i>Figure 49 - Citerne acier avec filtration intégrée AQUAE</i>	<i>53</i>

Préambule

Le but de ce rapport est de présenter l'avancée des travaux et de conception sur les thèmes environnementaux du projet de l'Université Euro-Méditerranéenne de Fès (UEMF). La démarche environnementale du projet s'inspire des procédés et management environnementaux des démarches environnementales de type Haute Qualité Environnementale Française. Mais au-delà de l'application stricte d'une certification étrangère, notre projet s'attache, tant que faire se peut, à développer un très haut degré de confort des utilisateurs et une minimisation des impacts environnementaux du projet. En d'autres termes, nous reprenons les meilleures pratiques et recommandations environnementales de différentes certifications mais appliquées et revues au filtre des spécificités du projet et du lieu.

Le présent rapport s'attèle à passer en revue l'ensemble des études réalisées au sein de la phase APS du projet. Nous soulignons aussi les différentes possibilités techniques envisageables pour les différents bâtiments. Le but étant de ne pas préconiser une unique technologie, mais de hiérarchiser différentes solutions qui seraient applicables au projet. Nous parlons ainsi plus d'une revue des possibles adaptées au projet, post études APS.

Ce rapport ce doit donc d'être compris comme base de discussion pour rechercher les solutions techniques à mettre en œuvre au sein du projet.

I. Analyse climatique du site

Les images et graphiques suivants permettent de mieux comprendre les conditions climatiques du site. Les conclusions et recommandations en fin de chapitre, ont guidé la conception de l'ensemble du projet sur les sujets de conception bio-climatique :

I.1. Localisation du site

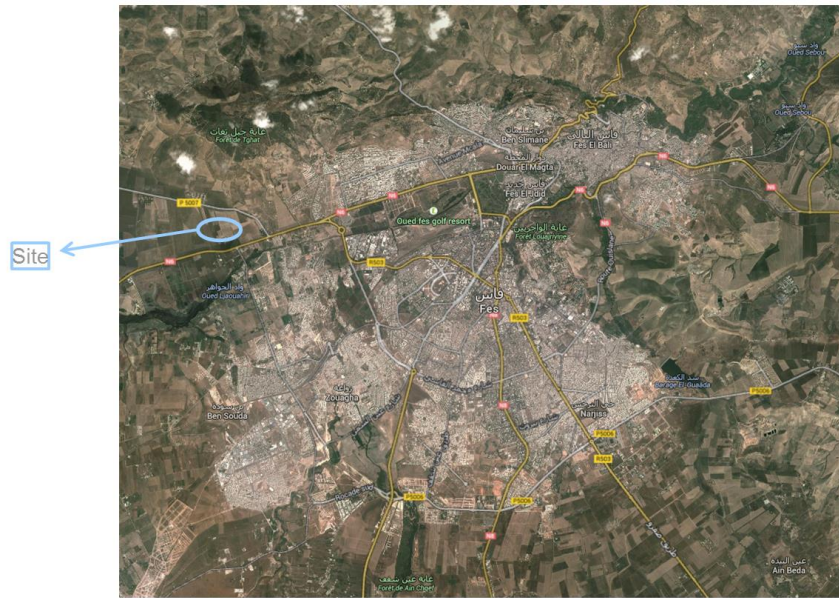


Figure 1 - Situation du site

I.2. Potentiel solaire

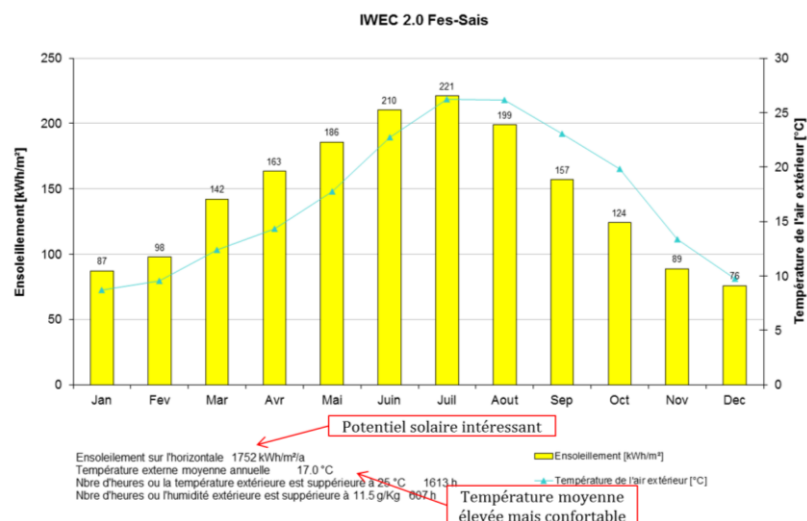


Figure 2 - Irradiation solaire mensuelle moyenne et température d'air mensuelle moyenne

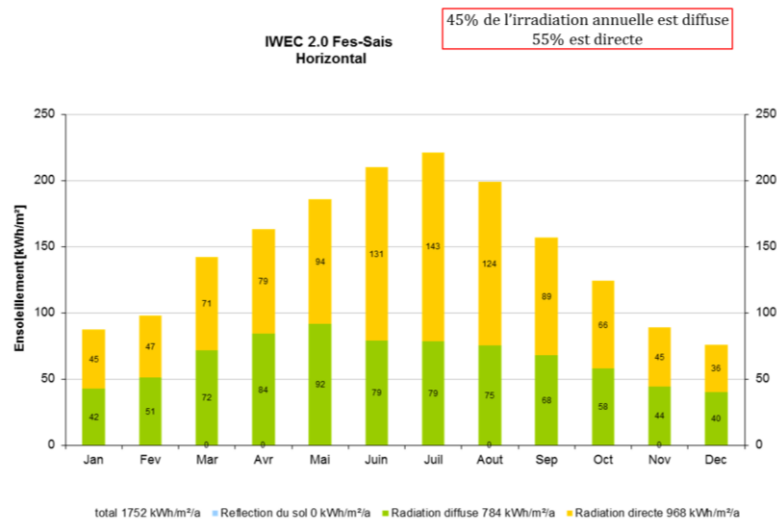


Figure 3 - Irradiation solaire mensuelle moyenne sur l'horizontal, en direct et diffus

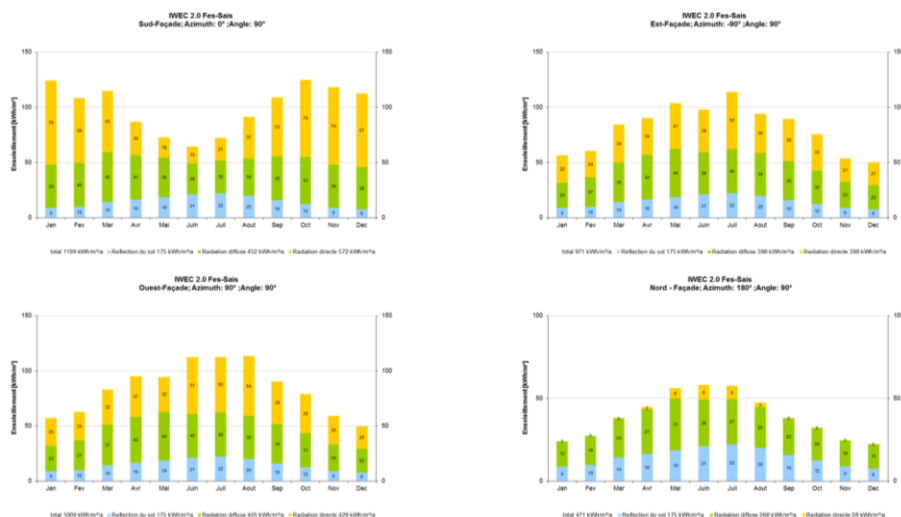


Figure 4 - Irradiation solaire mensuelle moyenne sur les 4 orientations pour des surfaces à la verticale, en direct et en diffus

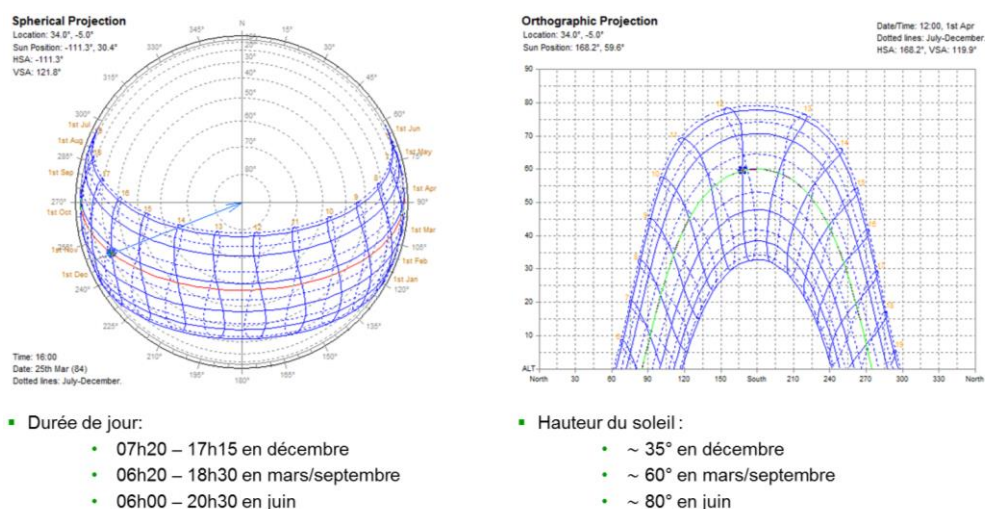


Figure 5 - hauteur et inclinaisons solaire annuelle

1.3. Températures

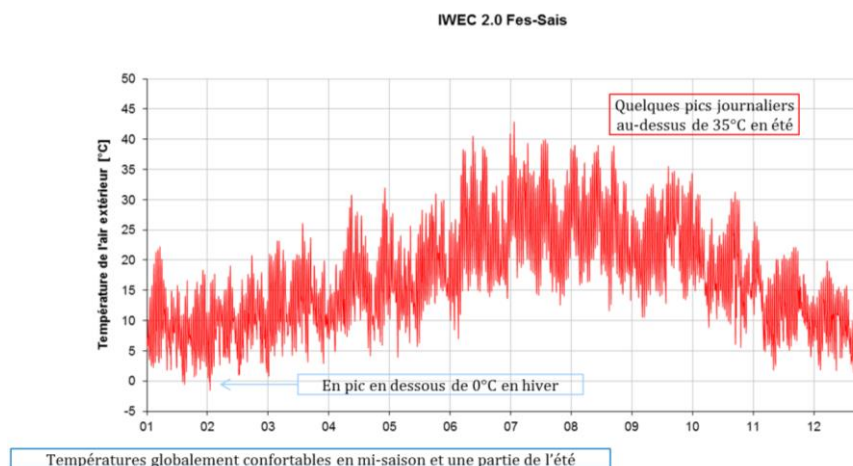


Figure 6 - évolution de la température de l'air annuelle

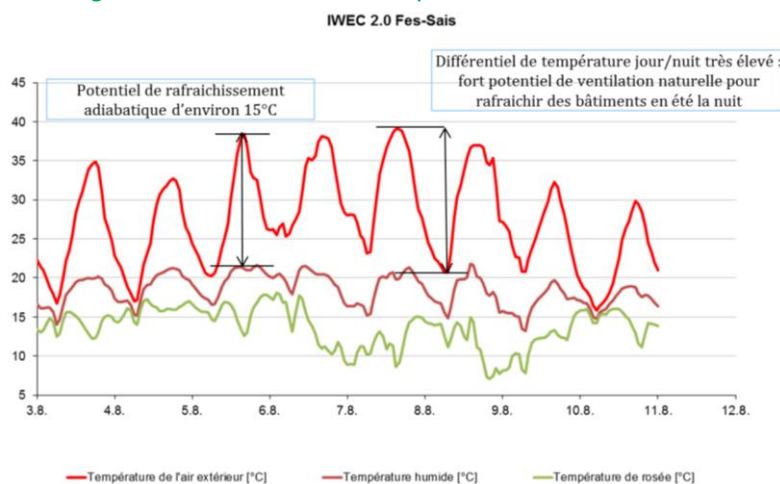


Figure 7 - évolutions des températures de l'air, humide et de rosée sur une période chaude de l'année (du 3 juillet au 12 juillet)

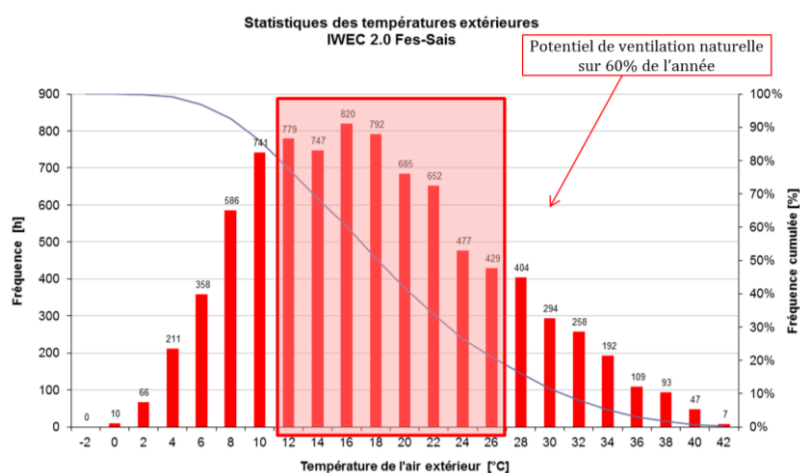


Figure 8 - statistique des températures d'air annuelles, permettant de qualifier la capacité de ventilation naturelle annuelle

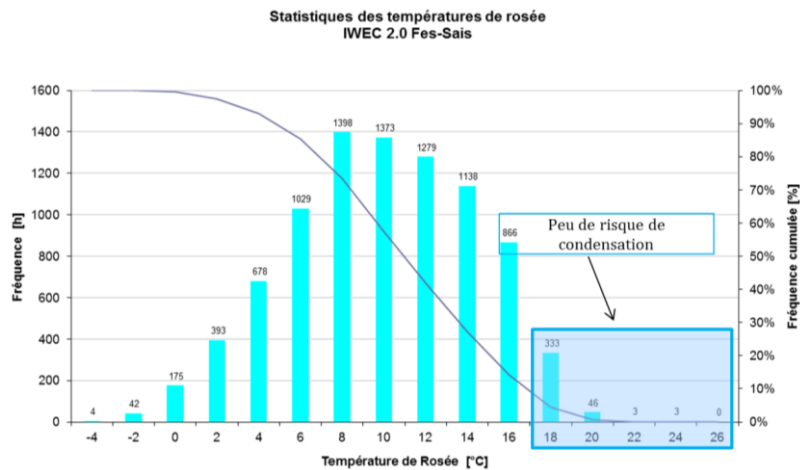


Figure 9 - statistique annuelle des températures de rosée, permettant d'accéder aux risques de condensation sur des surfaces froides (de type panneaux rayonnant froid)

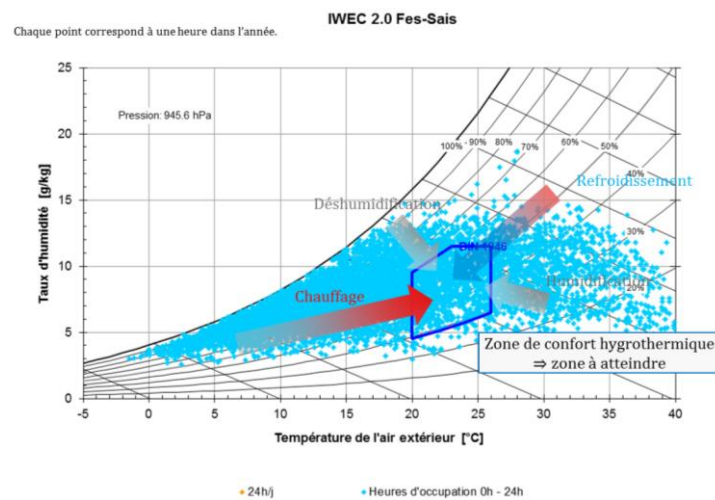


Figure 10 - graphique psychrométrique de l'air, permettant de comprendre les conditions hygrothermiques annuelles et les potentiels de refroidissement adiabatiques

I.4. Vent

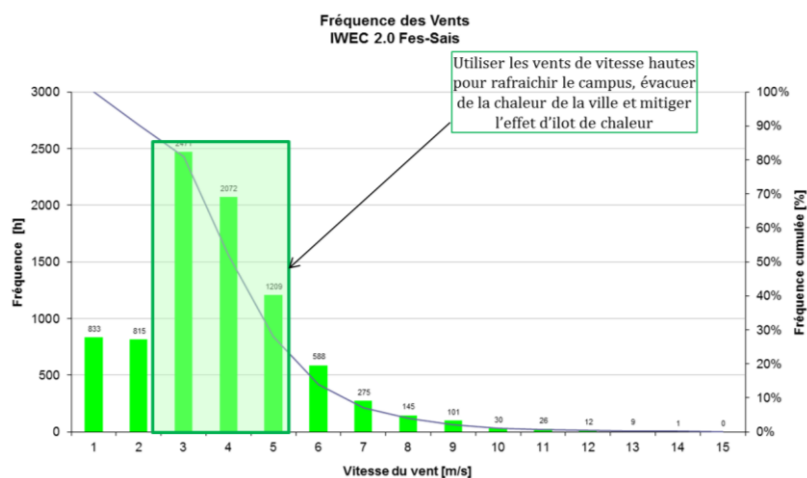


Figure 11 - statistique des vitesses de vents

VENTS TOUTE L'ANNÉE

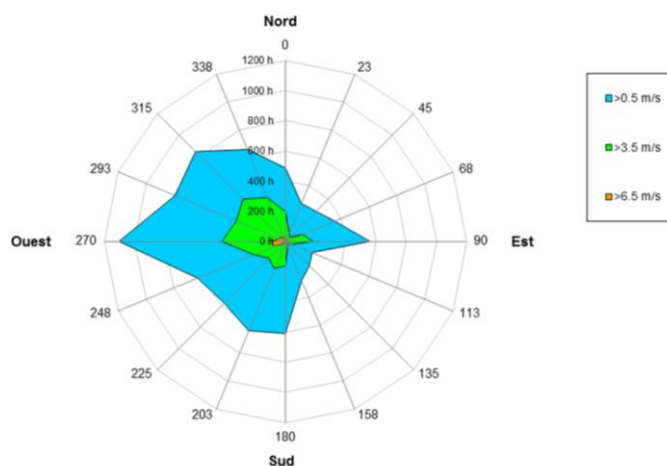


Figure 12 - rose des vents pour toutes températures

VENTS D'HIVER (T<10°C)

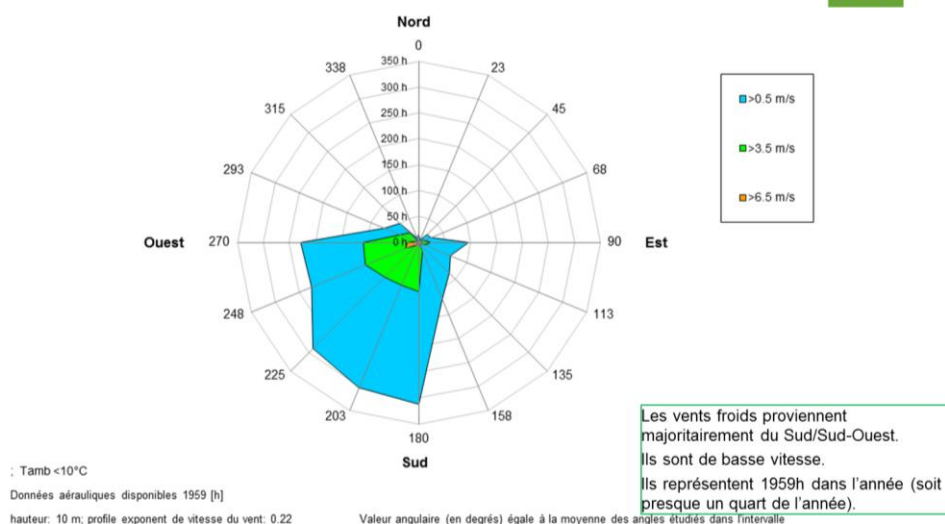


Figure 13 - rose des vents pour les vents d'hiver

VENTS D'ÉTÉ (T>30°C)

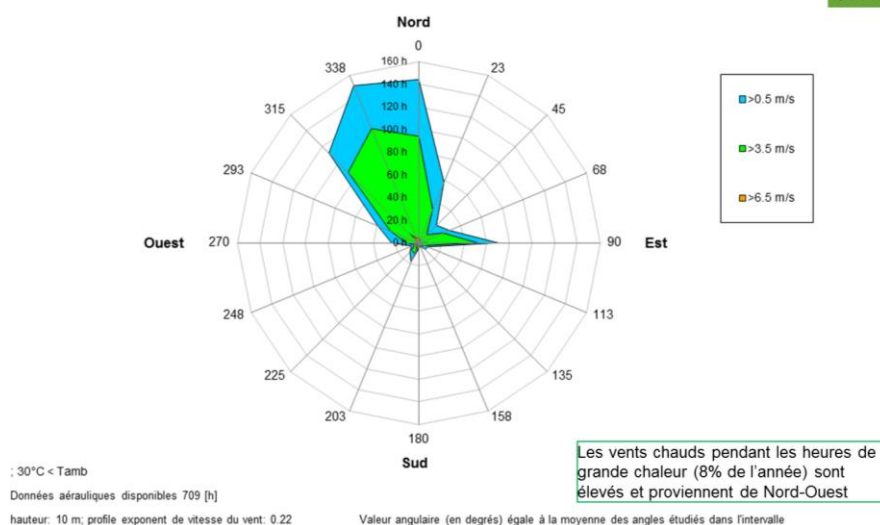
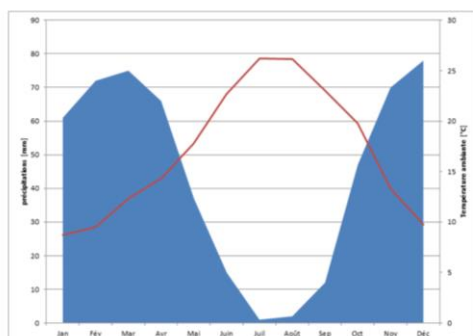


Figure 14 - rose des vents pour les vents d'été

I.5. Précipitations

PRÉCIPITATIONS MENSUELLES



- Les précipitations tombent seulement pendant l'hiver et un peu en mi-saison.
- La hauteur de précipitations est élevée pendant la saison humide (environ 80 mm/mois)
- La saison sèche dure d'environ juin jusqu'en septembre avec moins que 25 mm pendant les trois mois.
- Total : 692 mm/an

Figure 15 - statistique des précipitations mensuelles

I.6. Températures du sol

TEMPÉRATURE DU SOL

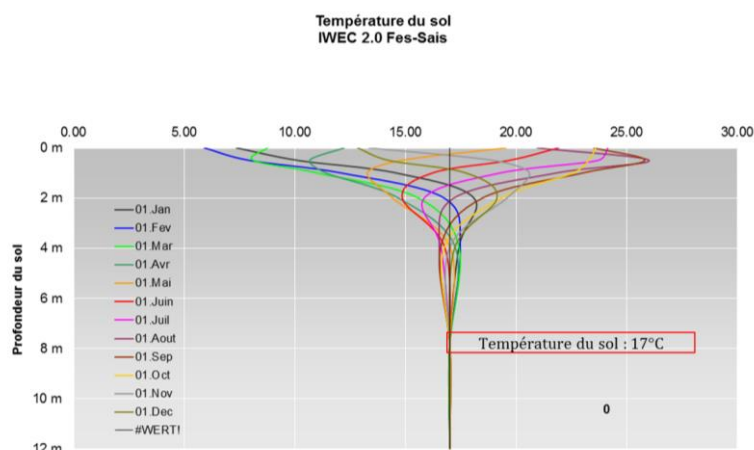


Figure 16 - distribution des températures du sol en fonction de la profondeur et du mois de l'année

I.7. Conclusions analyse climatique

- Saison froide: Le besoin en chauffage étant important, une enveloppe bien isolée, étanche et performante est nécessaire. Avec le profil de température du sol de Fès, la géothermie ainsi que des puits canadiens sont intéressants en saison froide, ainsi que chaude.
- Saison chaude: Pour le rafraîchissement, il existe un potentiel intéressant pour la ventilation naturelle (notamment nocturne) et un grand potentiel de refroidissement adiabatique. Des puits canadiens sont envisageables pour pré-conditionner l'air de ventilation. Fort potentiel de ventilation aidé par des cheminées solaires.
- Précipitations : Eaux de pluie abondantes en saison humide, mais très saisonnières, le stockage devra donc être associé aux stratégies de récupération et de réutilisation des eaux pluviales
- Recours aux énergies renouvelables à envisager : potentiel pour énergie solaire photovoltaïque important ainsi que solaire thermique pour chauffage et eau chaude sanitaire
- L'orientation et le positionnement des volumétries doivent prendre en compte les directions des vents: principalement de Sud-Ouest en hiver (à bloquer) et de Nord-Ouest en été (à donner accès).

Ainsi, pour les bâtiments ressort :

- La nécessité de protections solaires extérieures performantes
- La possibilité d'interagir avec l'air extérieur via une inertie importante du bâtiment (pas de faux plafond à l'intérieur de façon à favoriser l'activation de l'inertie thermique du bâtiment)
- La possibilité de pré-conditionner l'air neuf via des puits canadien
- La possibilité de mettre en œuvre des ventilations naturelles (diurne et/ou nocturne suivant les études)
- Une qualité d'enveloppe thermique (isolation par l'extérieur)

II. Etudes réalisées en phase APD

Les études présentées dans cette partie développent les éléments nouveaux qui ont été produits pendant la phase APD, tandis que les parties sur la gestion des eaux et sur la gestion des déchets reprennent les éléments de la phase APS mis à jour ou encore d'actualité au stade actuel du projet.

II.1. Etudes de lumière

Transsolar a axé ses réflexions d'APD en grande partie sur la lumière du jour afin d'optimiser les façades définies par les architectes. Le but a été de valider des concepts qui soient confortables à la fois du point de vue visuel que thermique : peu de déperditions hivernales et d'apports solaires estivaux tout en gardant un facteur de lumière du jour performant. Pour chacune des simulations de lumière qui vont suivre, le but étant de comparer différentes solutions, la transmission lumineuse des vitrages est égale à 58%, ce qui correspond à des doubles vitrages à faible facteur solaire permettant de diminuer les apports énergétiques.

II.1.1) Irradiations solaires sur les façades

L'estimation des irradiations solaires sur les façades permet de mesurer l'influence des masques solaires et de déterminer les façades les plus critiques, tant en hiver qu'en été au niveau thermique. En effet, le confort visuel ne se quantifie qu'à partir des radiations diffuses qui sont évaluées grâce au facteur de lumière du jour. Dans le cas des figures ci-dessous, les radiations totales (diffuses et directes) sont mesurées, ce qui permet de calculer les apports solaires annuels sur chaque façade.

Vue du Sud

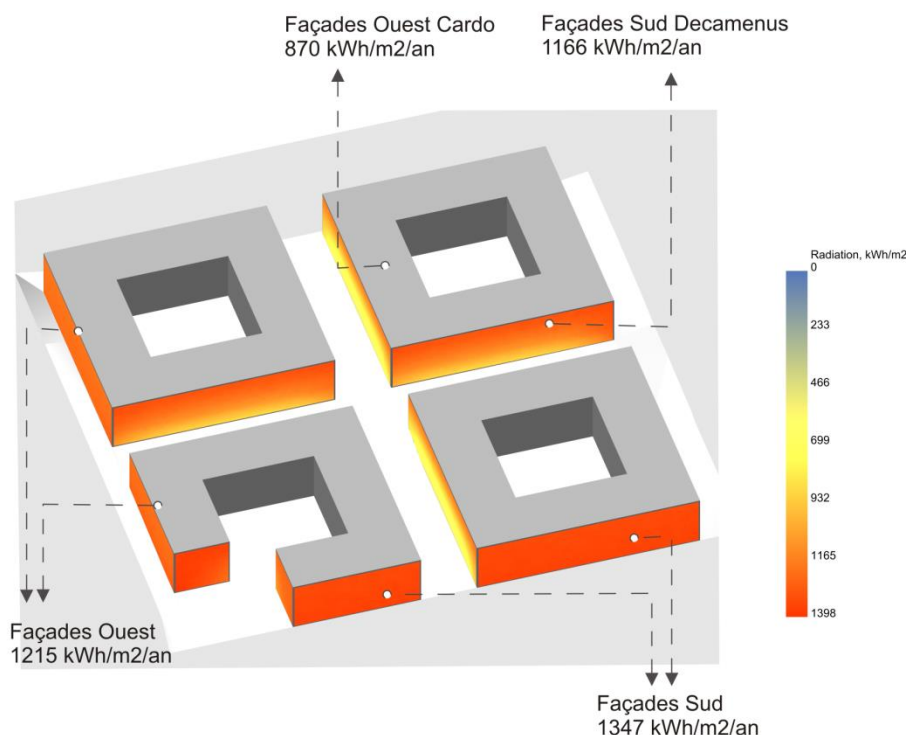


Figure 17 - Irradiations solaires sur les bâtiments d'enseignement - Façades Sud et Ouest

- Façades Ouest : Les radiations totales reçues sur les façades Ouest du Cardo correspondent à 72% des radiations sur les façades donnant sur l'extérieur orientées de la même manière.
- Façades Sud : Les radiations totales reçues sur les façades Sud du Décumanus représentent 86% des radiations sur les façades Sud donnant sur l'extérieur de l'îlot. Il y a peu d'écart entre ces façades du fait de l'étage de plus dans les bâtiments B3 et B4 et de la largeur de la rue.

Vue du Nord

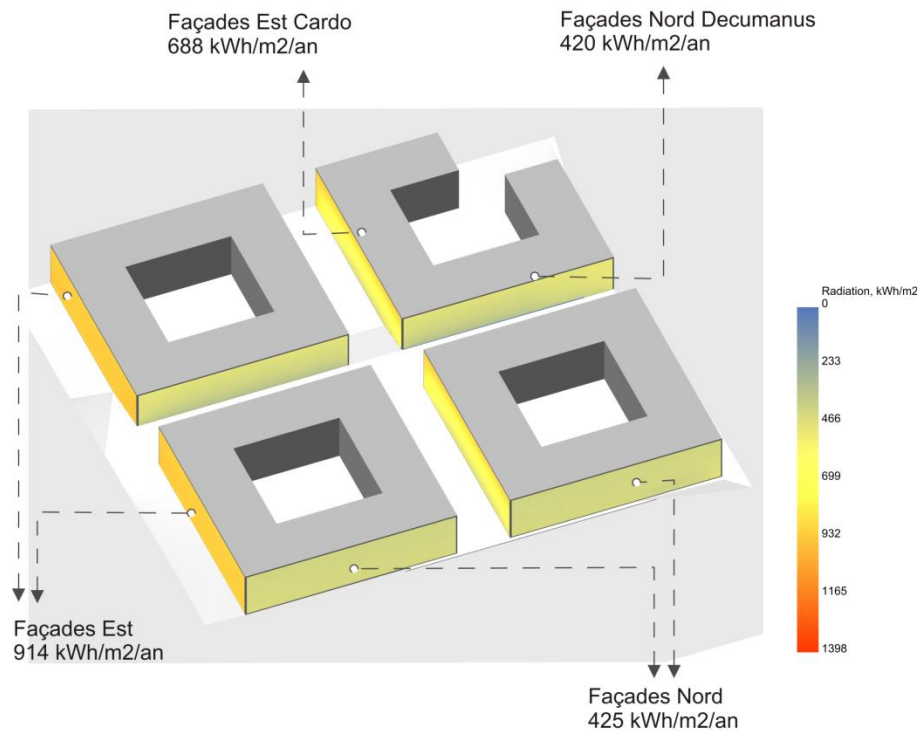


Figure 18 - Irradiations solaires sur les bâtiments d'enseignement - Façades Nord et Est

- Façades Est : Les radiations totales reçues sur les façades Est du Cardo correspondent à 73% des radiations sur les façades donnant sur l'extérieur orientées de la même manière.
- Façades Nord : Les radiations totales reçues sur les façades Nord du Décumanus sont similaires à celles reçues par les façades Nord donnant sur l'extérieur de l'îlot.

Ainsi, les façades Nord sont thermiquement équivalentes et reçoivent peu d'énergie de la part du soleil. Par ailleurs, au vu de l'angle du soleil en été et de l'orientation, on note que les radiations directes sont quasiment inexistantes, ce qui signifie que les apports solaires sont faibles. Avec l'architecture proposée (brise-soleils sur toutes les façades), les orientations Nord devraient être les plus opaques : la conclusion est donc d'apposer les laboratoires, nécessitant moins de surfaces vitrées, sur ces façades.

Les trois autres orientations reçoivent des radiations solaires totales qui peuvent aller jusqu'à plus de 1300 kWh/m²/an. Ces façades doivent être protégées par des protections solaires fixes denses et

incorporer une surface vitrée optimisée. La lumière du jour étudiée dans la partie suivante permet de préciser les choix de brise-soleil et de fenêtres.

II.1.2) *Lumière du jour – Bâtiment d'enseignement*

Définition

Il s'agit du rapport de l'éclairement naturel intérieur E_p reçu en un point à l'éclairement extérieur simultané E_{ext} sur une surface horizontale, en site parfaitement dégagé, en ciel couvert. Il s'exprime en %. Dans les conditions de ciel couvert, les valeurs de FLJ sont indépendantes de l'orientation des baies vitrées, de la saison et de l'heure du jour.

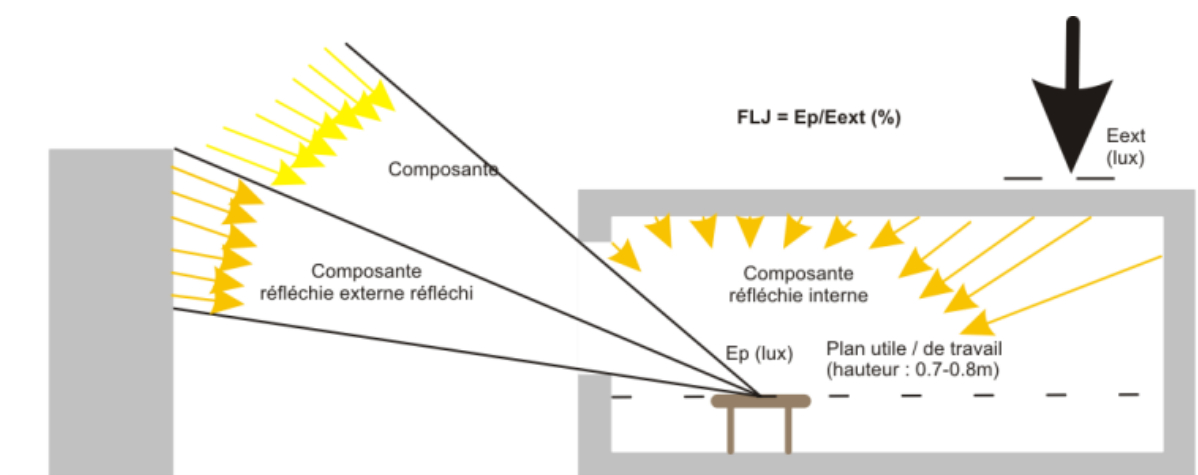


Figure 19 - Définition du facteur de lumière du jour

Le calcul du Facteur Lumière du Jour (FLJ) prend en considération 3 composantes :

- composante directe
- composante réfléchie externe
- composante réfléchie interne

Les valeurs de FLJ donnent une mesure objective et facilement comparable de la qualité de l'éclairement à l'intérieur d'un bâtiment.

Première étude - Salles de classe – façades donnant sur l'extérieur de l'ilot

La première étude à mener a été de vérifier le lien entre protections solaires fixes et pourcentage de vitrages. En effet, le cheminement est le suivant :

1. Les parois opaques sont à maximiser pour diminuer les besoins de traitement thermique tandis que les surfaces vitrées doivent être intégrées afin de présenter un facteur de lumière du jour assez élevé synonyme de confort visuel suffisant.
2. Plus la surface de vitrages devient importante pour assurer la pénétration de la lumière diffuse, plus les besoins en chaud (déperditions thermiques en hiver) et surtout en froid (apports solaires trop importants en été) deviennent grands.
3. Des brise-soleils sont mis en place pour protéger des apports solaires excédentaires en été. Cependant, ces protections fixes font baisser le facteur de lumière du jour.
4. Il faut donc trouver un compromis entre surface vitrée, surface opaque et lumière naturelle.

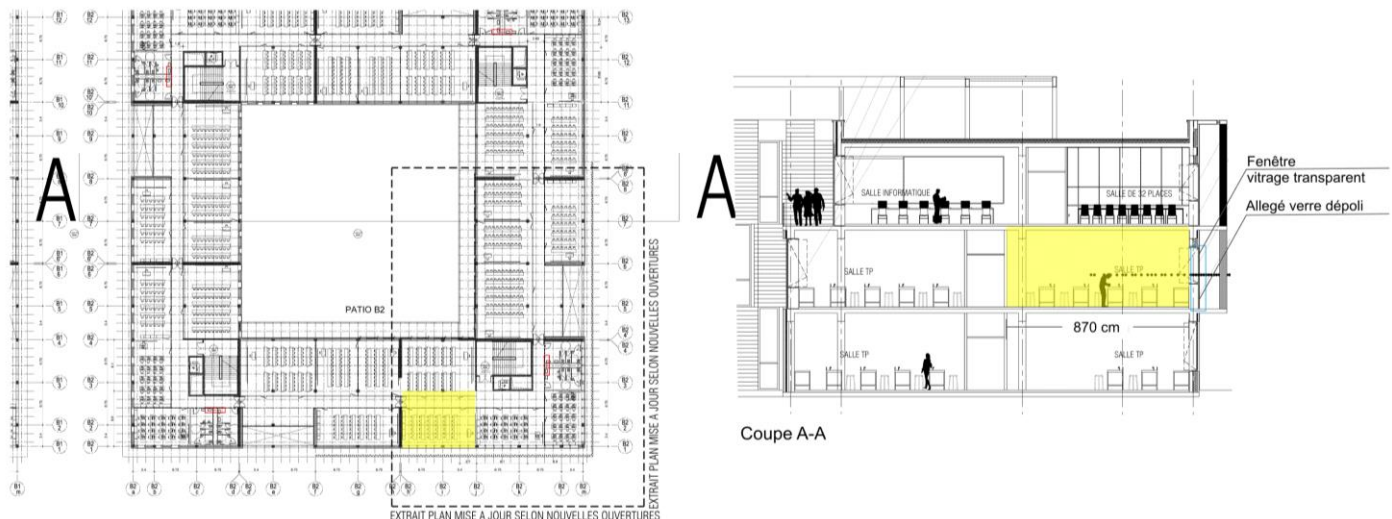


Figure 20 - Présentation de la salle de classe étudiée

Afin de pallier aux cas les plus défavorables, une étude de facteur de lumière du jour a été menée sur une salle de classe d'une profondeur de près de 8 mètres au premier étage du bâtiment B2. Dans le cas du FLJ, seules les radiations diffuses sont comptabilisées, d'où l'absence d'influence de l'orientation. Deux cas ont été étudiés :

- Une façade à 70% de vitrages avec des brise-soleils denses (lames tous les 30 cm)
- Une façade à 30% de vitrages avec des brise-soleils moins denses (lames tous les 60cm)

Comme cela a été expliqué plus haut, la façade à 30% de vitrages sera thermiquement plus efficace dans un climat comme celui de Fès car profiter des apports solaires hivernaux est moins primordiale que les contrer durant l'été. De plus, les salles de classes ayant des gains internes élevés dus à l'occupation importante ($3\text{m}^2/\text{pers}$ durant les heures nécessitant du chauffage), une bonne isolation et peu de déperditions par les fenêtres permettent de réduire au minimum le chauffage. La performance thermique des façades des bâtiments d'enseignement est vue dans la partie suivante sur les simulations thermiques.

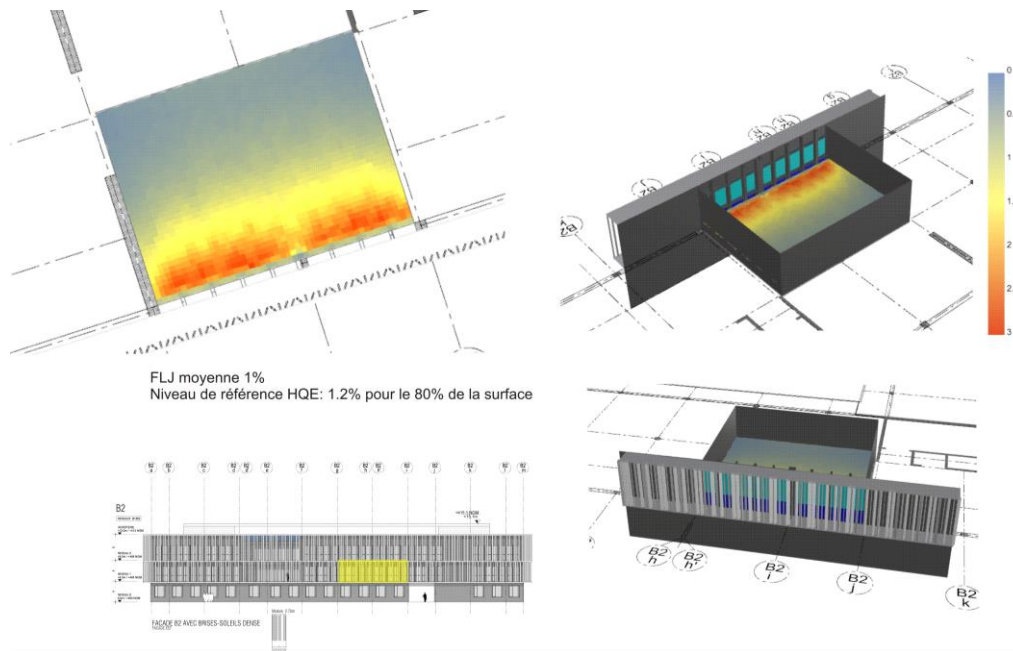


Figure 21 - Essai avec 70% de vitrages et brise-soleil très denses (une lame tous les 30 cm)

La première remarque à effectuer est l'absence de lumière du jour en deuxième rang, c'est-à-dire à partir de 4 à 5 mètres de profondeur. Cela est dû au fait que la lumière diffuse est bloquée par la hauteur sous dalle des pièces. Il y a de plus un risque d'éblouissement sur toute la longueur de la façade (zones rouges), ce qui va nécessiter probablement des stores intérieurs. La bande visuellement confortable est donc assez restreinte. Cela étant dit, les vitrages présentent une transmission visuelle assez moyenne du fait de leur facteur solaire bas, l'épaisseur de cette bande pourrait augmenter de quelques décimètres avec un vitrage de moins bonne qualité. Encore une fois, cela s'en ressentirait sur les performances thermiques.

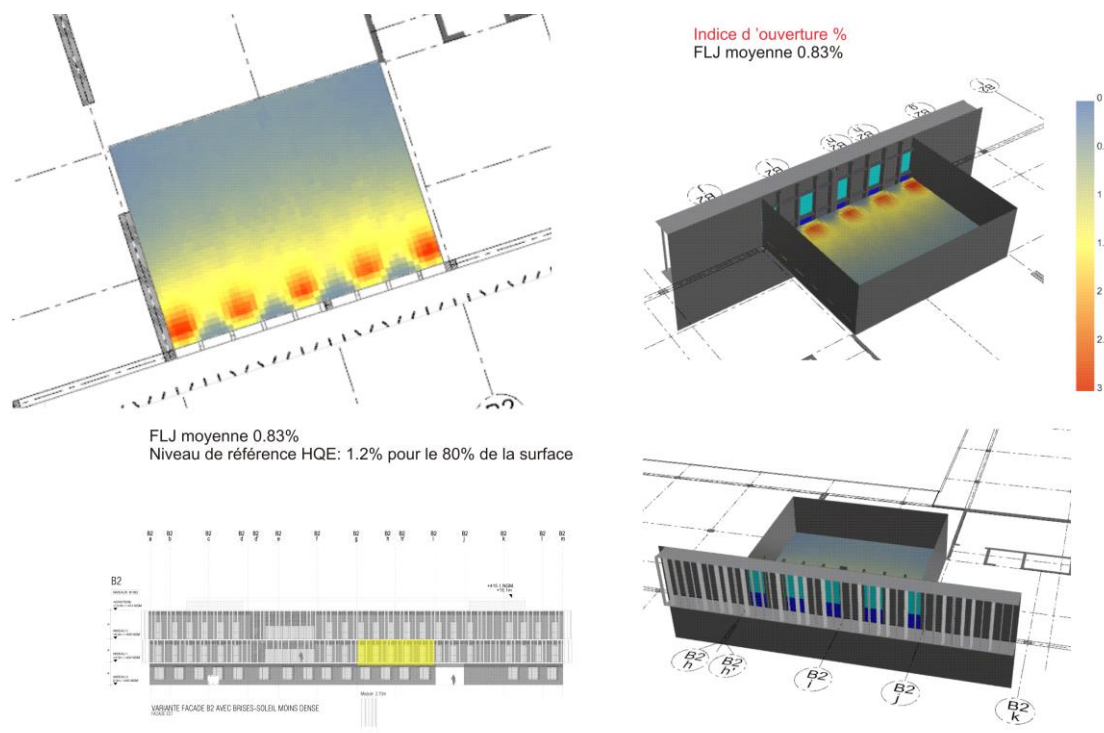


Figure 22 - Essai avec 30% de surface vitrée et brise soleil moins denses (une lame tous les 60 cm)

La surface vitrée est passée ici à 30% de la façade, ce qui implique une diminution non négligeable des déperditions hivernales. De même en été, les apports solaires sont mieux gérés. Cela permet entre autres d'écarter les lames des brise-soleils afin de mieux faire rentrer les radiations. Même si moins de radiations sont filtrées par les protections solaires, la surface opaque étant plus importante, les besoins de froid ne varient que peu. Il est indispensable de remarquer par contre que le facteur de lumière du jour dans le cas de la figure 22 est similaire au cas de la figure 21, ce qui signifie qu'en ayant une surface vitrée divisée par plus de deux, on obtient le même confort visuel tout en diminuant les déperditions thermiques hivernales. Ainsi, en diminuant le nombre de lames brise-soleil, et donc le coût d'investissement et d'entretien, les besoins de chaud et de froid diminuent également tout en gardant la même lumière dans la salle.

Deuxième étude – Laboratoires – façades donnant sur l'extérieur de l'îlot

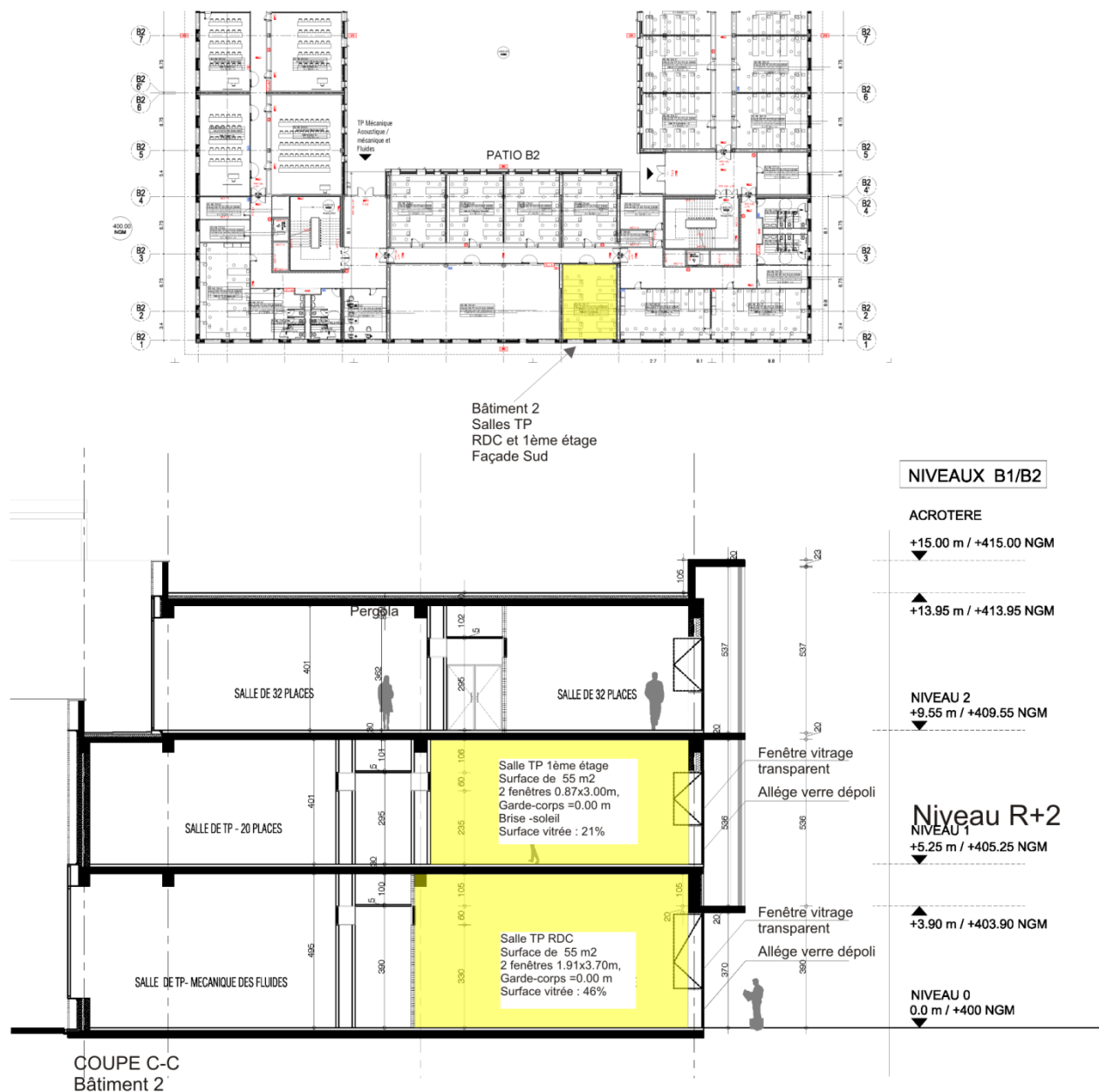


Figure 23 - Situation des salles de laboratoires étudiées

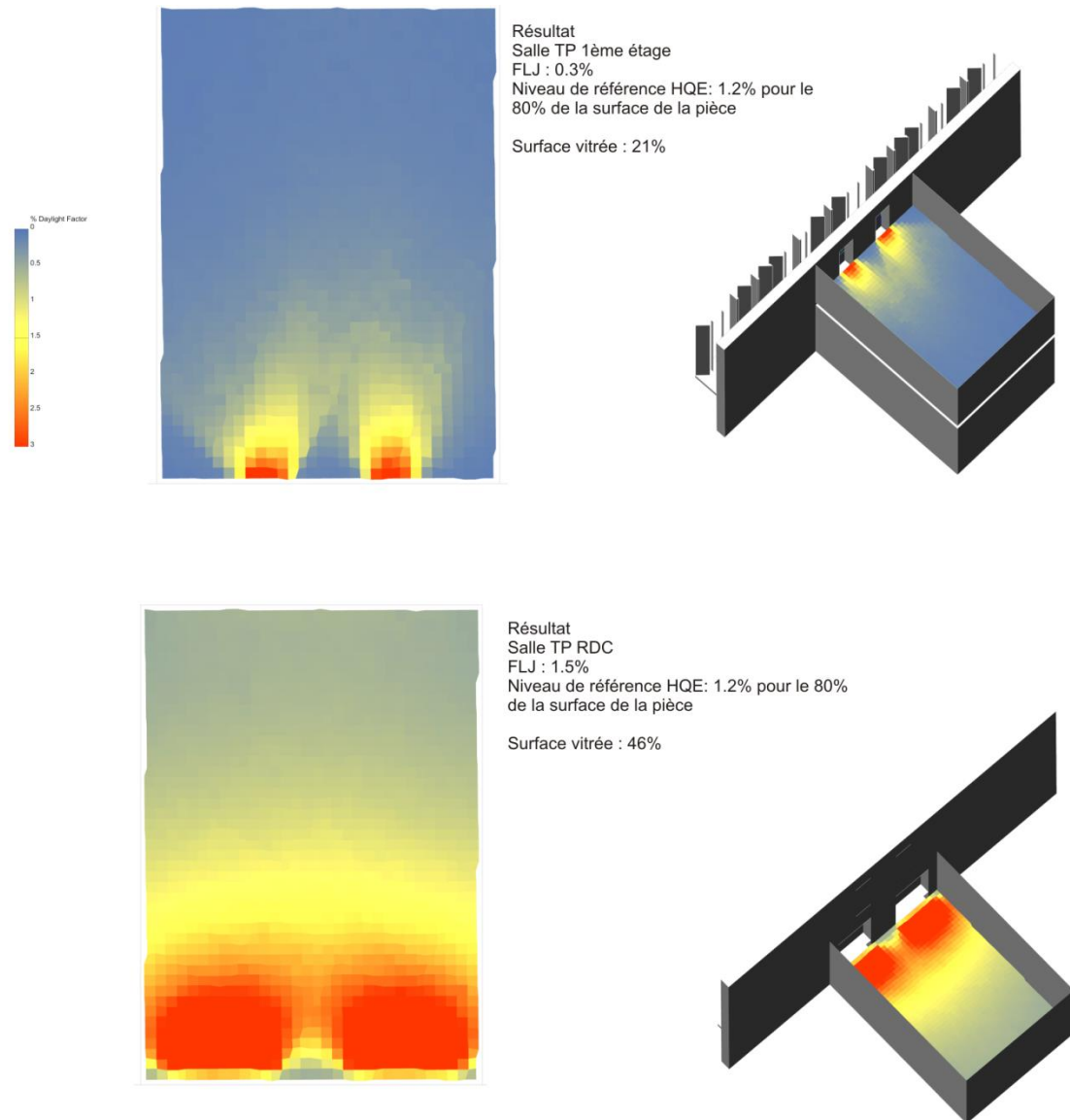


Figure 24 - Résultats laboratoires

Les laboratoires étant des salles très profondes et ne présentant que deux fenêtres étroites comme vu plus haut, les facteurs de lumière du jour est très faible. Cela n'est pas rédhibitoire dans le sens où les laboratoires n'ont pas réellement besoin de beaucoup de lumière naturelle. Au contraire, les laboratoires du rez-de-chaussée sont très éclairés malgré la casquette grâce à leur grande surface vitrée.

Troisième étude - Laboratoires – Façades extérieures

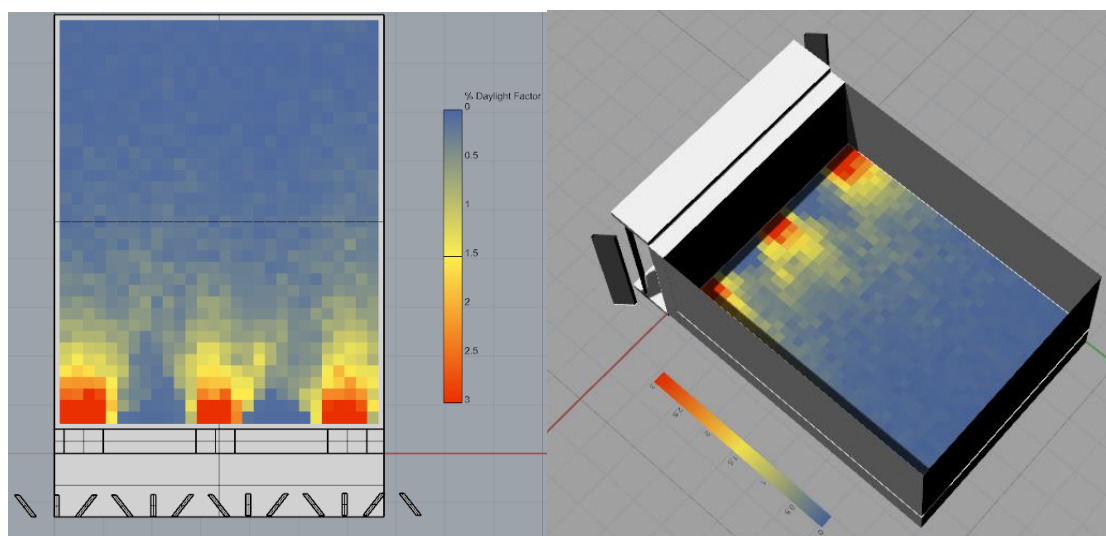


Figure 25 - Résultats d'une salle de labo avec des fenêtres de 80cm de large

Le recalpinage des fenêtres dans les trames avec des ouvertures de 80cm permet d'améliorer un peu la performance visuelle des laboratoires et des salles de TP disposés en profondeur sans toutefois atteindre un niveau d'éclairement naturel confortable et suffisant. Les brise-soleils étant espacés de 50cm centre à centre au maximum, il est difficile d'augmenter la surface vitrée sans avoir des déperditions thermiques hivernales et des apports solaires estivaux trop importants.

Première étude - Bureaux – façades des patios

Les bureaux donnant sur les patios des bâtiments d'enseignement présentent eux aussi des problématiques importantes de lumière naturelle. En effet, la casquette protégeant les façades Sud et Ouest des patios des apports solaires, ainsi que la végétation luxuriante proposée par l'équipe paysagiste vont créer des obstacles à la lumière. Enfin, les surfaces vitrées, le positionnement des fenêtres par rapport aux bureaux ainsi que leur rythme amènent d'autres difficultés. L'étude qui suit présente la qualité du facteur de lumière du jour dans deux bureaux représentatifs de ces contraintes, à l'exception faite de la végétation qui n'est pas modélisée. Le premier bureau se situe au dernier étage juste sous la casquette de la façade Sud tandis que le second se situe au rez-de-chaussée de la façade Nord : ce sont les cas les plus défavorables.

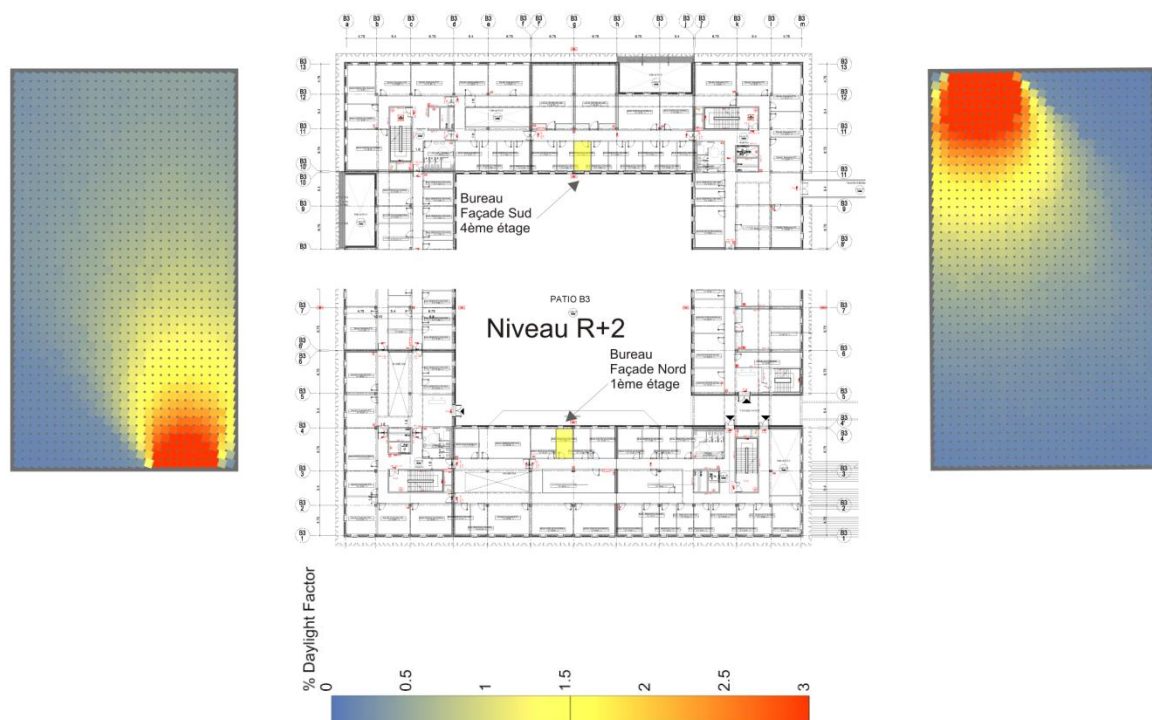
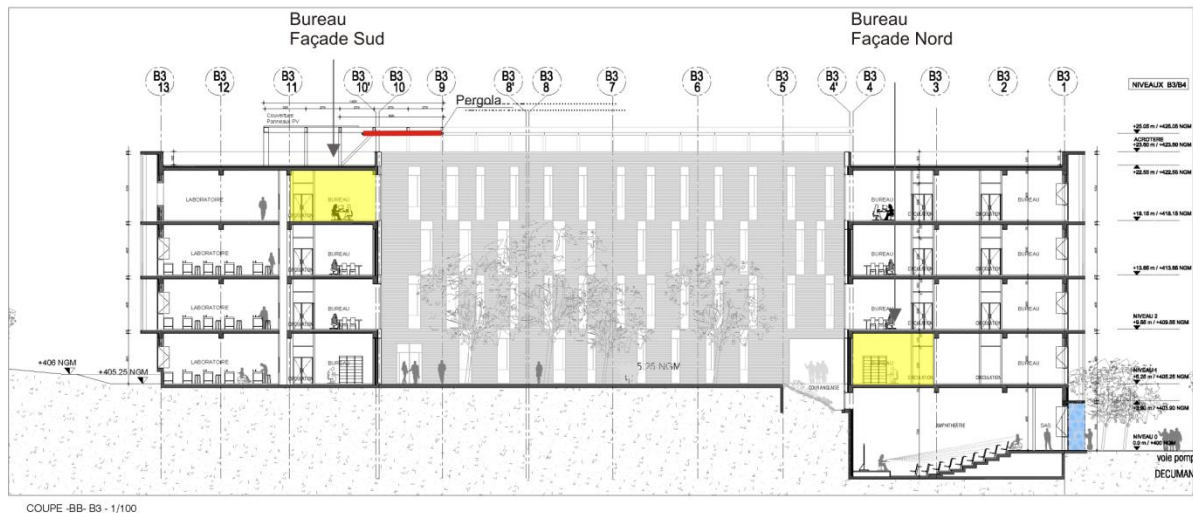


Figure 26 - FLJ des bureaux (A gauche : R+4 Sud - A droite : RDC Nord)

Les fenêtres n'étant pas positionnées au centre des pièces, le confort visuel est hétérogène. Les coins opposés à la fenêtre sont peu éclairés et donc peu propices au travail tandis que l'espace juste devant la fenêtre présente de forts risques d'éblouissement.

Deuxième étude - Bureaux – façades des patios

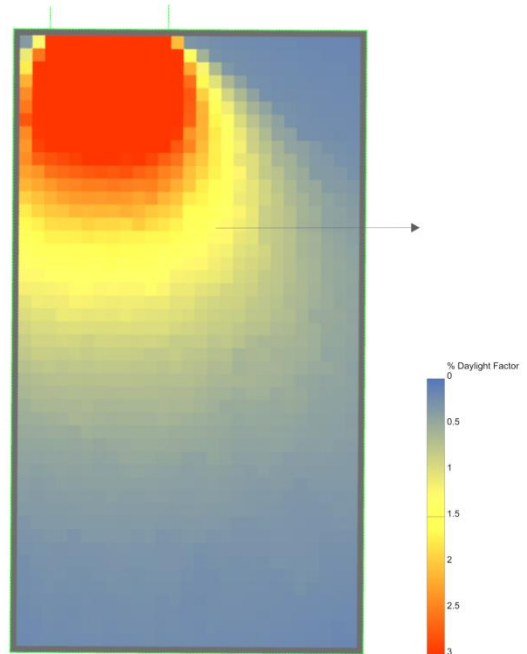
SIMULATION FLJ

Bureau d'enseignant
1ère étage
Bâtiment 4



Simulation actuelle

Fenêtre de 0.8x3.6 m
FLJ : 1.1%
Surface vitrée : 30%



Plan de travail à 85 cm du sol

Avec une menuiserie de 87cm de large et un vitrage de 75cm, on obtient une amélioration de 40% par rapport à la fenêtre précédente. La distribution de la lumière naturelle sur le plan de travail reste cependant hétérogène, ce qui diminue le confort visuel. Cela est dû au décalage de la fenêtre. Plus d'un tiers de la surface du bureau est toutefois bien éclairée, ce qui permet de valider ce concept de fenêtre : il y a un éclairage naturel suffisant pour installer un bureau individuel et un poste de travail confortable.

II.2. Simulations thermiques

II.2.1) Inertie thermique des parois verticales – Bâtiments d'enseignement

Cette étude compare deux compositions de façades différentes pour les bâtiments d'enseignement et de recherche de l'université euro-méditerranéenne de Fès. Elle s'articule sur une simulation thermique dynamique du niveau R+1 des bâtiments B3 et B4 sur une année complète. Le but est d'identifier la composition la plus adaptée aux conditions d'utilisation et d'évaluer l'importance de leur inertie thermique dans le bilan thermique du bâtiment.

Les deux façades investiguées sont détaillées dans la suite : l'une est composée de brique monomur Kasbah System, et l'autre utilise une maçonnerie classique en parpaing. Les températures

opératives ainsi que les demandes spécifiques en puissance de chaud et froid sont évaluées. Les résultats sont présentés sur des semaines caractéristiques chaudes et froides.

Comme l'étude annexée le montre, peu de différences sont visibles entre les deux types de façades observés. Ainsi, si la maçonnerie parpaing paraît atténuer les amplitudes de températures sur des semaines caractéristiques ainsi que diminuer les besoins en traitement thermique pendant les pics de demandes, le bilan annuel montre très peu d'écart (moins de 1%). Il n'y a donc pas réellement d'écart de confort ou de performance énergétique entre les deux façades. Cependant, ces simulations sont réalisées avec une configuration des zones qui est influente : les planchers haut et bas sont massifs avec une inertie thermique activée (dalles béton sans faux-plafonds).

En conclusion, ces deux types de façades sont possibles. Il faut noter de plus que la façade Monobrique permet de diviser par deux l'épaisseur d'isolant : l'épaisseur totale des façades est mieux contrôlée et la question économique entre en jeu à ce moment-là.

Afin de compléter l'optimisation des parois extérieures verticales des bâtiments d'enseignement et de recherche, des propositions de rupteurs de ponts thermiques ont été avancées lors de la phase APD. Elles sont répertoriées dans les annexes en fin de rapport.

II.2.2) *Dimensionnement des brise-soleil*

Le dimensionnement du facteur solaire des brise-soleil a mis en évidence une variation de leur influence en fonction de l'heure de la journée et de l'époque de l'année, ainsi que de l'orientation. Cela paraît logique étant donné qu'ils sont fixes, aucune adaptation aux conditions extérieures n'est possible. Cependant, l'évaluation de leur performance sur l'année permet de justifier de leur bien-fondé. Le tableau ci-dessous récapitule les variations. Les détails de l'étude sont annexés en fin de rapport.

Variations en %	Nord	Sud	Ouest	Est
Eté	[27 ; 64]	[30 ; 50]	[44 ; 57]	[44 ; 57]
Hiver	[40 ; 40]	[37 ; 47]	[34 ; 40]	[40 ; 47]

II.3. Confort extérieur

Le projet de l'UEMF s'étalant sur un campus de grande ampleur, un travail est mené en collaboration avec les architectes et les paysagistes afin de créer des espaces extérieurs confortables à toute période de l'année. Les simulations de confort se basent sur le calcul d'une température de référence nommée UTCI qui mesure par convention le ressenti de confort des usagers.

II.3.1) *Définition de l'UTCI – Universal Thermal Climate Index*

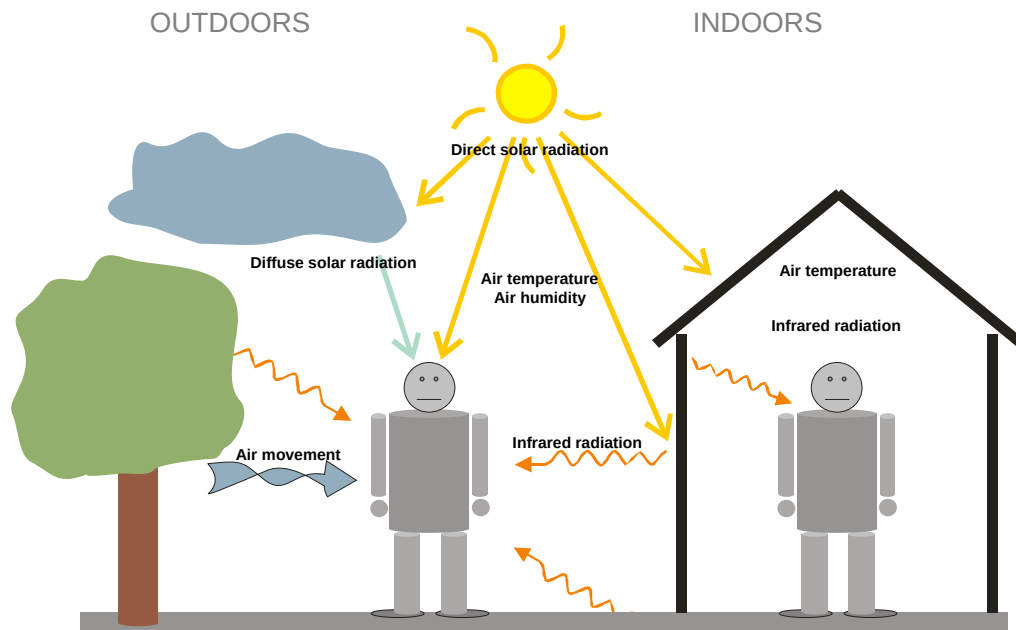


Figure 27 - Paramètres intervenant sur le ressenti de confort

Paramètres de confort

Le confort des espaces extérieurs ou intérieurs regroupe différents ressentis :

- Le ressenti de confort hygrothermique
- Le confort visuel
- Le confort acoustique
- Le confort olfactif

Il s'accompagne d'une absence de plaintes des occupants. Cependant, chaque personne étant différente, les ressentis et les attitudes sont différents devant le confort. Il est impossible de satisfaire tout le monde. Deux personnes peuvent avoir des sensations complètement différentes alors même qu'elles se trouvent au même endroit dans le même environnement. Cela dépend de l'environnement, mais aussi de leurs réactions physiologiques, de leurs états d'esprits respectifs, de leurs backgrounds et de leurs habitudes. Le but est néanmoins de créer des espaces qui soient le plus confortables possible en satisfaisant le plus de gens possible.

Le confort hygrothermique expérimenté par une personne dépend de son environnement ainsi que de la manière dont son corps réagit aux stimuli thermiques. Sept paramètres vont influencer le ressenti de confort extérieur d'une personne :

- 5 paramètres dépendent de l'environnement immédiat : radiations de grandes et de courtes longueurs d'ondes, températures d'air, humidité et vitesse d'air.
- 2 paramètres dépendent de la personne : son activité métabolique et son taux d'habillement.

En comparaison, le confort intérieur dépend seulement de la variation des radiations infrarouges et de la température d'air car tous les autres paramètres sont globalement constants.

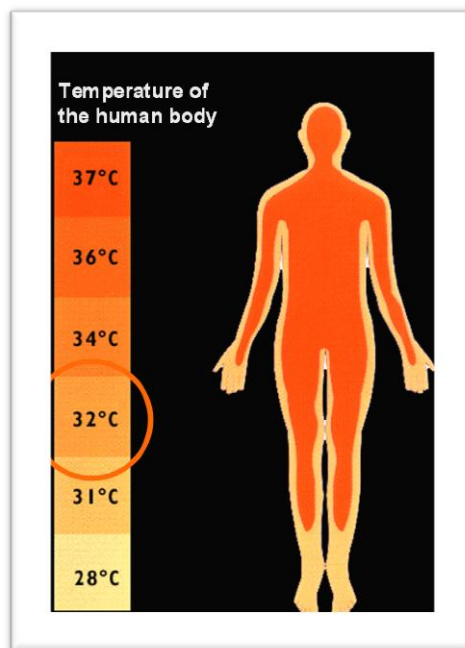


Figure 28 - Température biophysique d'un être humain

Lorsque l'on évalue le confort, les réactions du corps humain face à l'environnement doivent être mesurées. L'étude qui suit utilise donc un modèle biophysique de l'être humain qui est basé sur la capacité du corps à s'adapter au climat grâce à la transpiration et aux frissonnements. La température extérieure du corps humain est évaluée constante à 32°C.

Pour évaluer le ressenti global, on met en place une échelle de température nommée UTCI (Universal Thermal Climate Index) qui se segmente en différentes plages de confort.

Irradiation solaire Radiations infrarouges Température de l'air Vitesse de l'air Humidité de l'air Degré d'habillement Activité	UTCI en °C	Perception thermique	Stress thermo-physiologique
	UTCI $\geq +46$	Trop chaud	Sensation extrême de chaleur
	$+38 \leq \text{UTCI} < +46$	Très chaud	Sensation forte de chaleur
	$+32 \leq \text{UTCI} < +38$	Chaud	Sensation modérée de chaleur
	$26 \leq \text{UTCI} < +32$	Légèrement chaud	Sensation légère de chaleur
	$9 < \text{UTCI} < +26$	Confortable	Confort
	$0 < \text{UTCI} \leq 9$	Un peu frais	Sensation légère de froid
	$-14 < \text{UTCI} \leq 0$	Froid	Sensation de froid

Figure 29 - Ressenti de confort en fonction de la température conventionnelle UTCI

Cette température est calculée à partir des échanges de chaleur entre une personne et son environnement qui sont dimensionnés grâce aux paramètres précédemment cités. A partir de ces

échanges de chaleur qui conditionnent le confort hygrothermique ressenti, on traduit cela par une échelle de température conventionnelle qui permet de donner un indicateur lisible et rapide : l'UTCI.

II.3.2) *Simulations de confort dans les espaces extérieurs prééminents – Base et variantes*

Le climat de Fès, comme cela a été vu, est très rigoureux et présente des inconvénients majeurs à la fois en été et en hiver. L'hiver, le campus verra souffler des vents froids avec des températures d'air basses, tandis que l'été, tous les espaces extérieurs recevront des quantités importantes d'apports solaires.

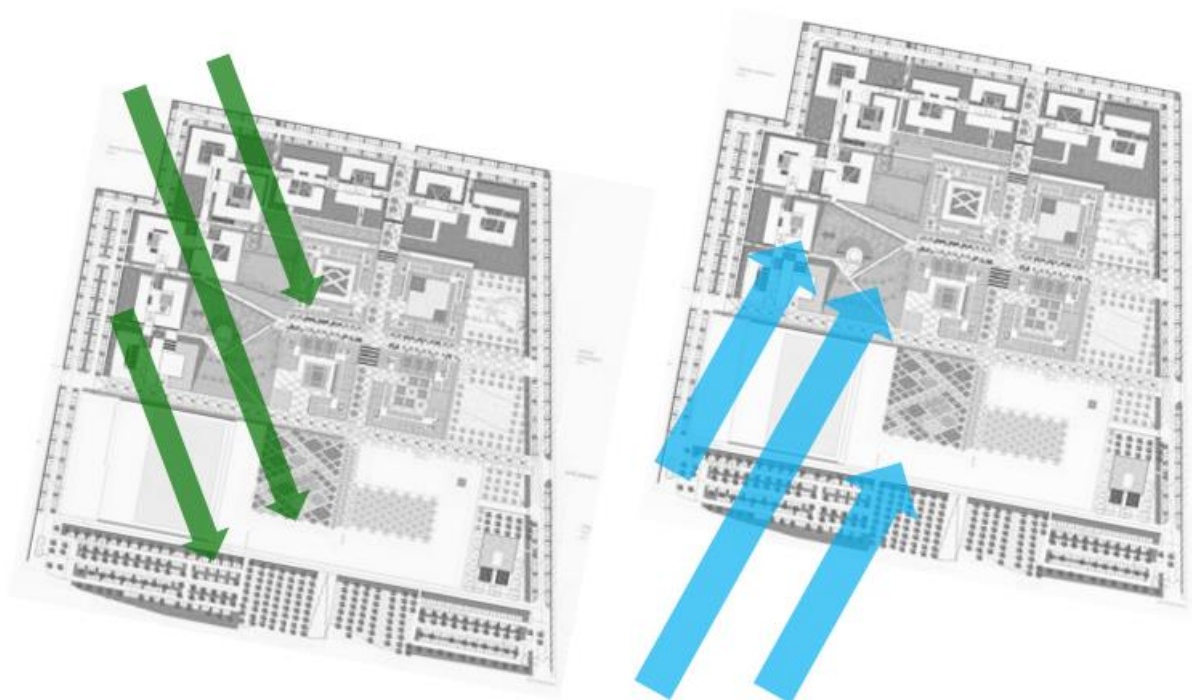


Figure 30 – Direction des vents d'été (à gauche) et d'hiver (à droite)

Plusieurs espaces extérieurs d'importance ont été modélisés sur tout le campus afin de créer une cartographie de l'état actuel du confort et une cartographie répartissant les solutions proposées par Transsolar. Il s'agit dans l'ordre :

1. La cour du cœur de vie
2. Le préau
3. La place d'honneur
4. Le cardo
5. La pelouse
6. Le coliséum

Les études et recommandations faites par Transsolar dans la partie qui suit considèrent que ces espaces seront occupés sur une grande partie de l'année de manière régulière et non occasionnellement. Ainsi, cela justifie des stratégies élaborées de confort. Les patios sont eux aussi investigués mais dans la sous-partie suivante, car étant plus étudiés dans l'optique de créer des poumons verts pour les bâtiments d'enseignement.

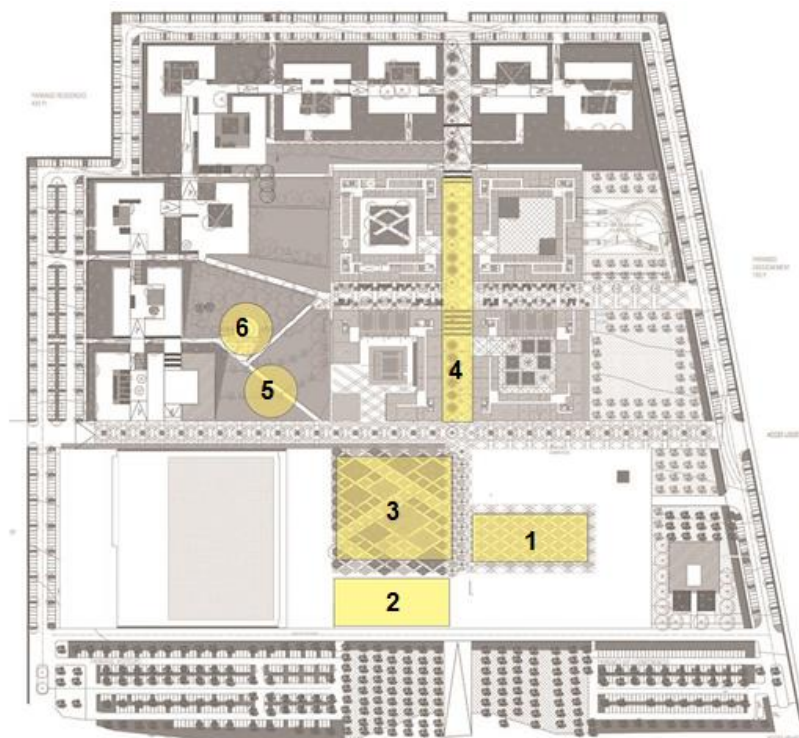


Figure 31 - Repérage des espaces modélisés

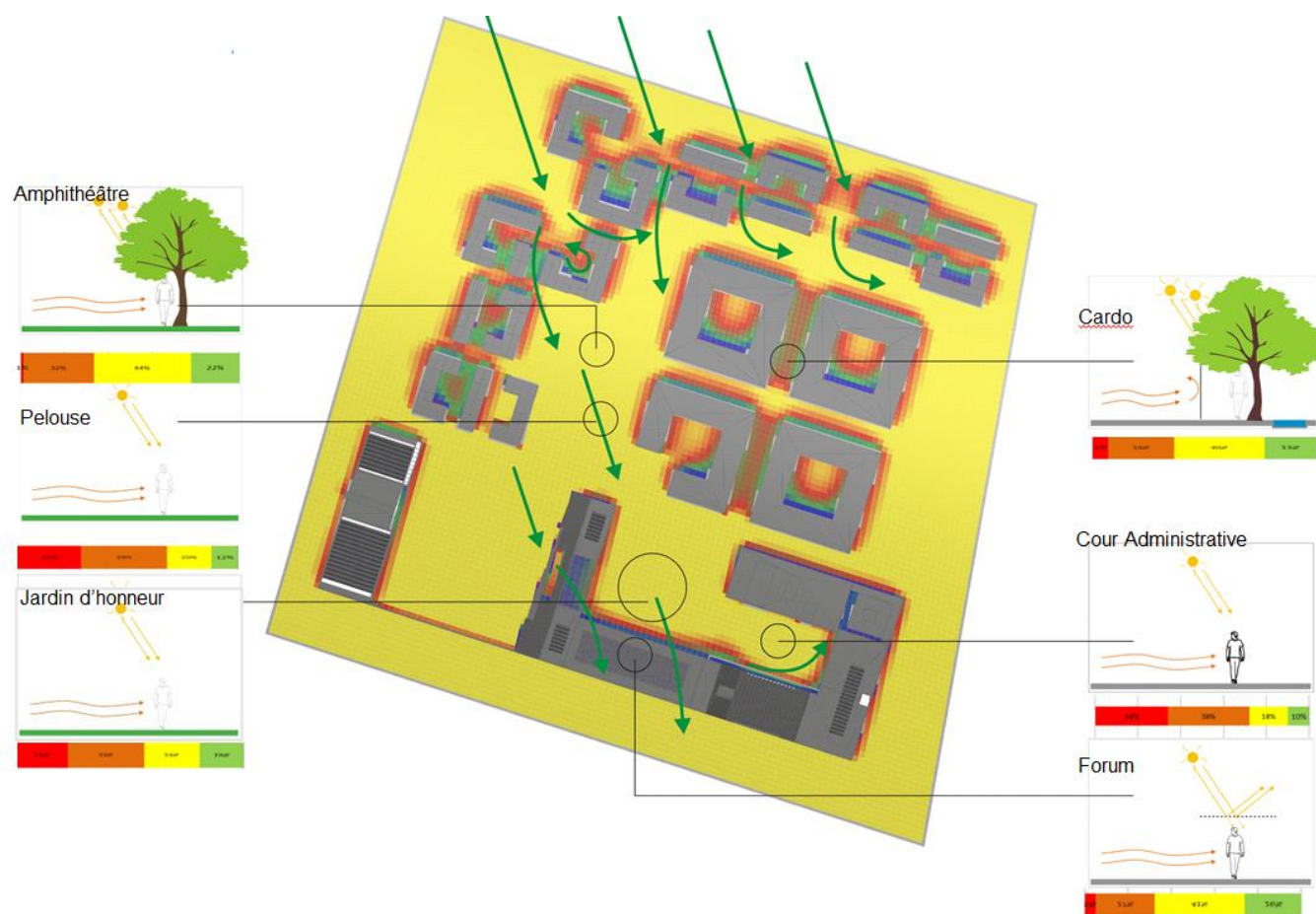


Figure 32 - Cartographie des espaces de la version de base

La figure 44 présente les situations de base de ces différents espaces. Chaque lieu montre son concept ainsi que les résultats annuels de température. Les bandes colorées soulignant sous chaque logo montrent en effet la répartition des températures UTCI en reprenant les couleurs de la figure 39 présentant les ressenti de confort en fonction des températures UTCI. Les différents cas étudiés sont présentés en annexe afin de ne pas surcharger le rapport en tant que tel. Les stratégies qui se sont avérées les plus efficaces et prometteuses, et donc à adopter, sont recommandées par Transsolar. Ces dernières sont répertoriées dans la figure ci-dessous :

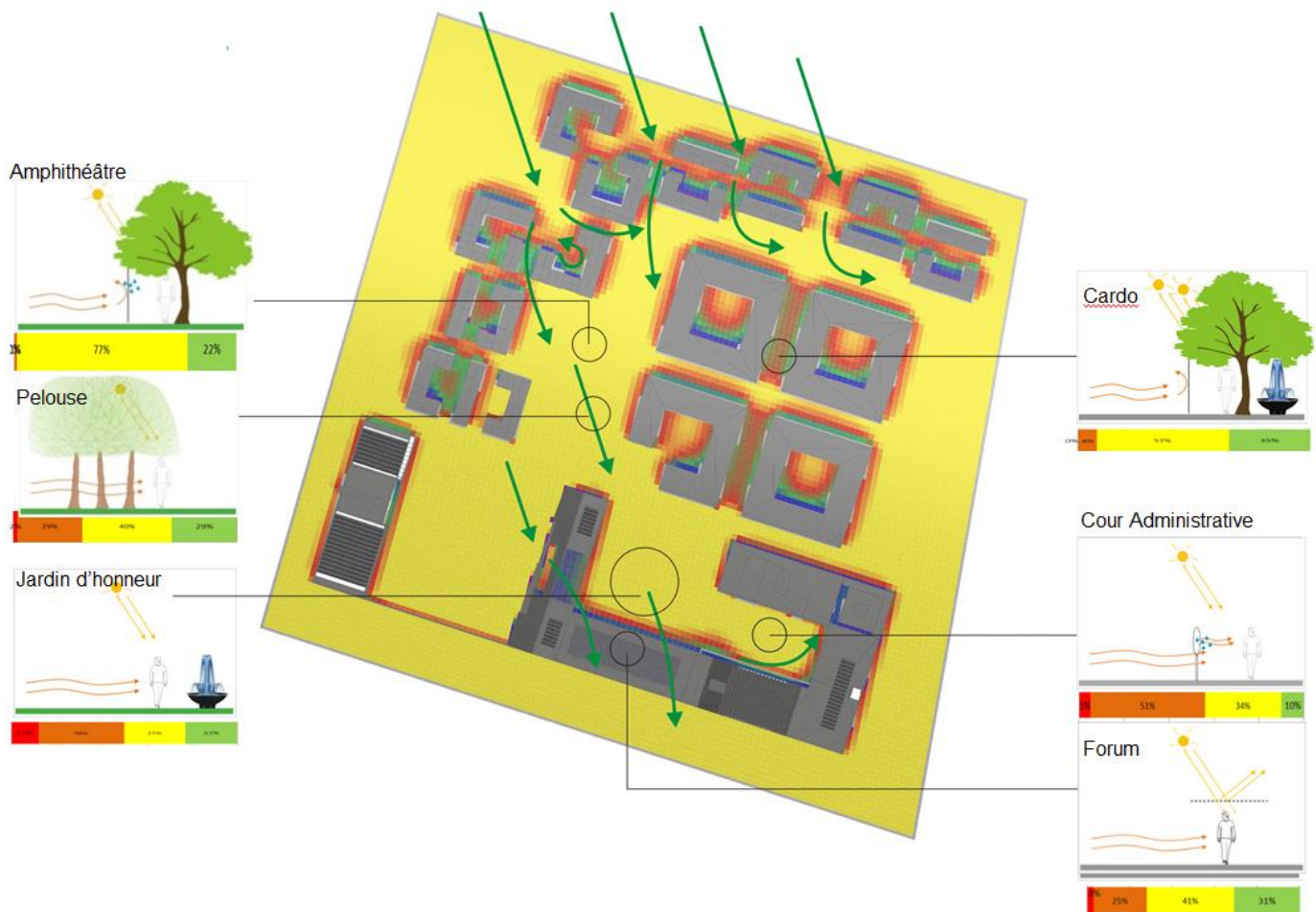
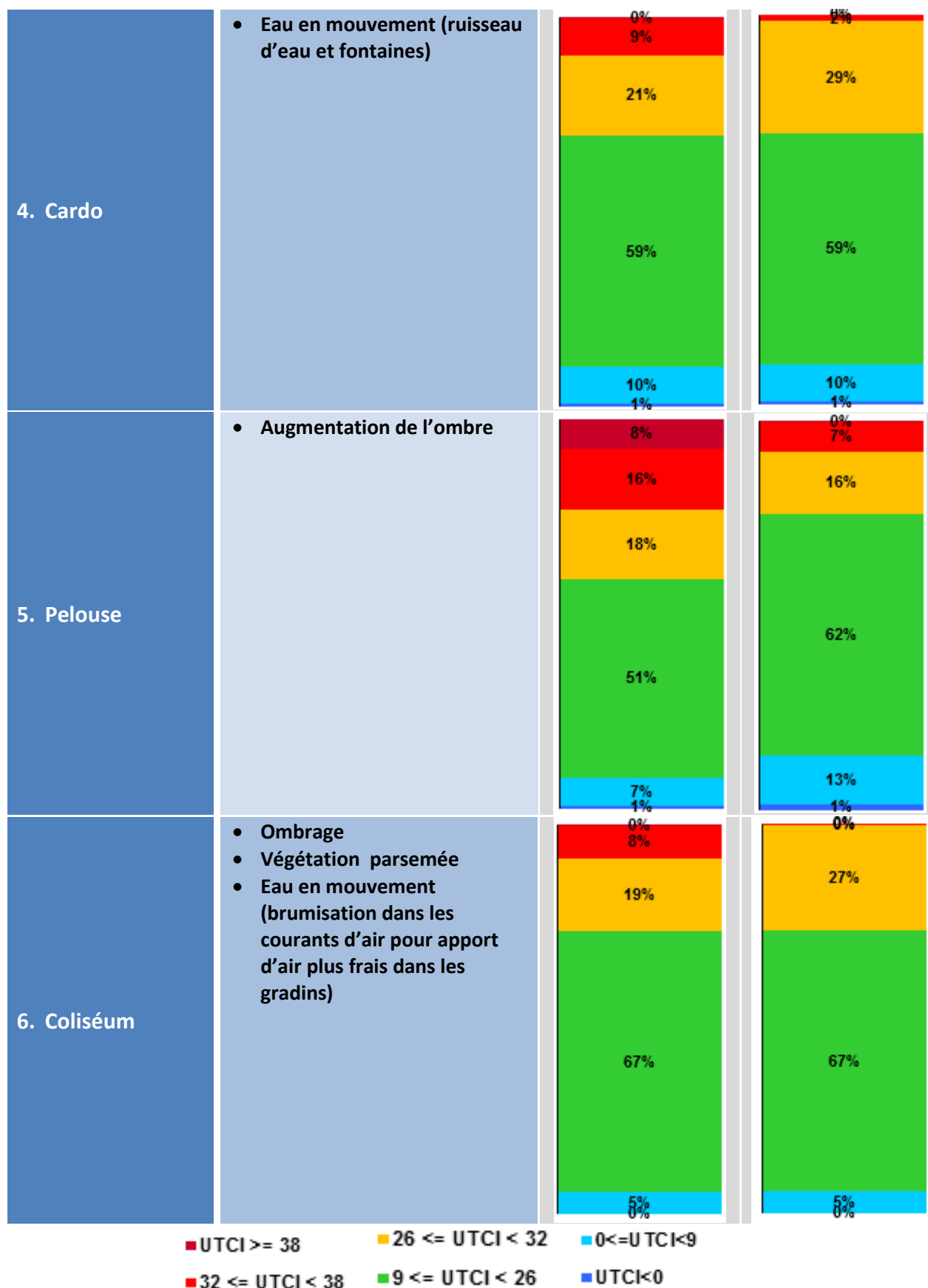


Figure 33 - Cartographie des solutions recommandées par Transsolar

Les résultats donnés ne prennent en compte que les heures d'utilisation critiques dans les deux figures précédentes, c'est-à-dire les mois de juin, juillet et août entre 12h et 20h. En effet, on note que les heures nocturnes sont moins critiques car moins fréquentées, tandis que les journées hivernales ne sont pas inconfortables. Au niveau des heures de températures confortables (en vert sur chaque bande), une forte augmentation est notée, ainsi qu'une forte diminution des heures chaudes (orange), très chaudes (rouge) et trop chaudes (bordeaux).

Le tableau suivant présente les concepts proposés par Transsolar sur les six espaces étudiés et les différences d'heures confortables sur toute l'année entre 12h et 20h (utilisation principale) cette fois-ci, afin de montrer que les mesures prises pour un cadre estival ne sont pas rédhibitoires pour le confort hivernal.

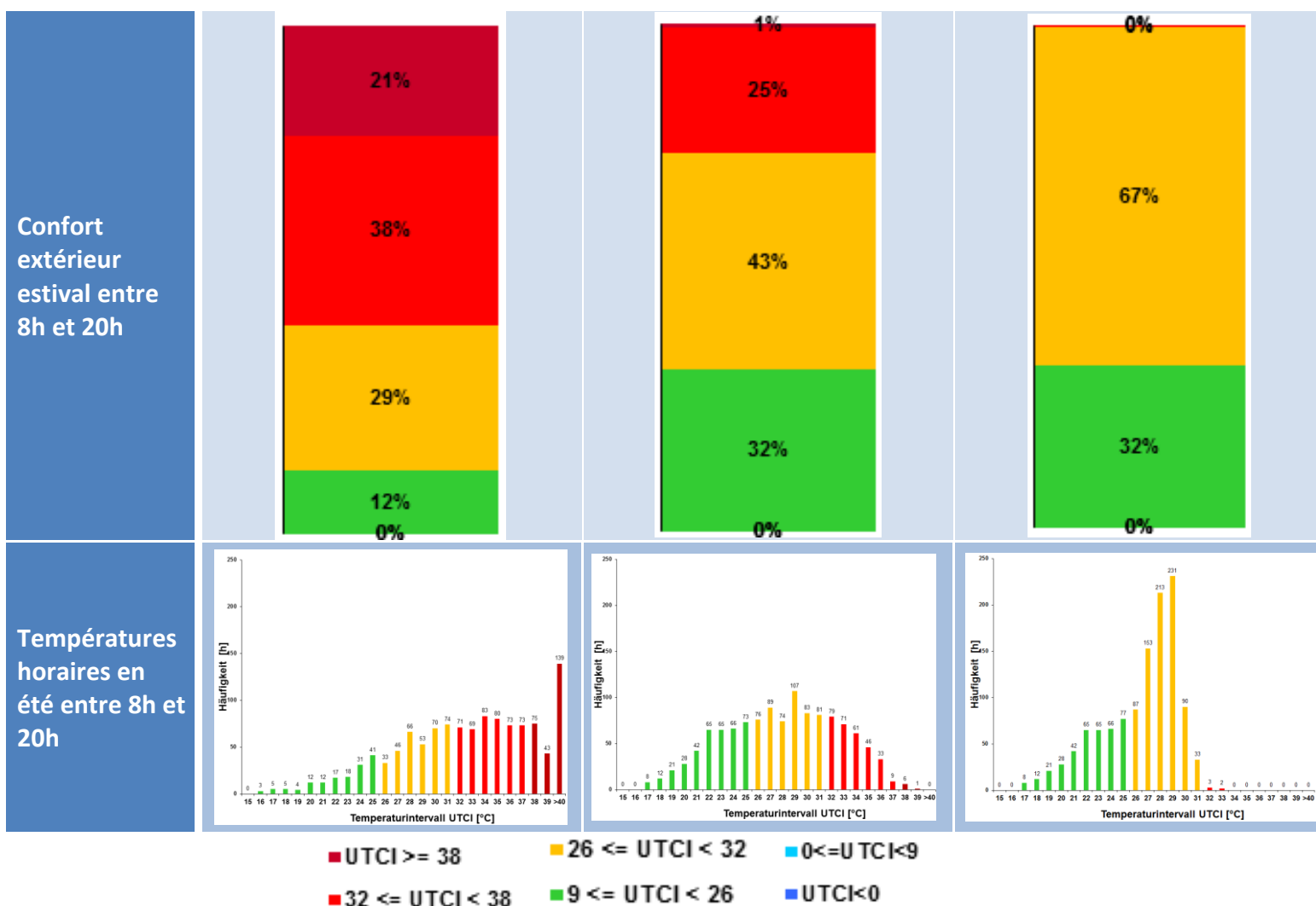
Localisation	Solution d'amélioration proposée	Comparatif	
		Base	Solution améliorée
1. Cour du cœur de site	- Dison pour refroidissement adiabatique - Sol clair		
2. Préau	- Augmentation de l'opacité du toit - Plafond peu émissif - Protections aux vents pour l'hiver		
3. Place d'honneur	- Sol clair avec végétalisation partielle - Eau en mouvement (fontaines)		



II.3.3) *Rafrachissement adiabatique des patios*

Les patios ont été l'objet d'une réflexion approfondie en collaboration avec les équipes d'architectes et de paysagistes. L'objectif de ce travail est double : créer des espaces extérieurs confortables à tout moment de l'année, et amorcer un préconditionnement de l'air neuf utilisé par la ventilation mécanique des bâtiments. En effet, en rafraichissant et en ombrageant les patios et en positionnant les prises d'air sur les façades intérieures des bâtiments, le jardin intérieur devient un poumon respirant pour le bâtiment. La stratification aidant, les prises d'air sont à prévoir sur le bas des façades au maximum afin de profiter de cet air rafraichi par l'atmosphère luxuriante et humidifiée des patios. Le tableau ci-dessous présente trois simulations de confort extérieur des patios.

	Cas n°1	Cas n°2	Cas n°3
Description	• Ensoleillé • Sol végétalisé • Pas de fontaines	• Ombragé • Sol végétalisé • Pas de fontaines	• Ombragé • Sol végétalisé • Fontaines assurant un rafraichissement adiabatique de l'air



Comme les différents graphes le montrent, rafraichir les patios de manière adiabatique et les ombrager grâce à la végétation luxuriante prévue permet de prendre dans ces poumons respirant un air qui est bien plus frais qu'à l'extérieur ou en toiture.

II.4. Ventilation

II.4.1) *Estimation des débits*

Afin de dimensionner les CTA décentralisées dans les bâtiments d'enseignement ainsi que les cheminées solaires des logements, les débits réglementaires d'air neuf hygiénique ont été estimés à partir des occupations probables et des surfaces des plans APD.

Bâtiments d'enseignement

A partir du mètre de surfaces, des taux de ventilation réglementaires selon le type d'usage et l'occupation, un calcul approché est réalisable. Les hypothèses pour l'estimation des débits de ventilation sont les suivantes :

Type d'usage	Débit d'air neuf / air extrait (m3/h.pers)	Densité d'occupation (m²/pers)
--------------	---	-----------------------------------

Locaux à pollution non spécifique	25	5
Labos et ateliers	45	8
Salles de cours et de réunions	30	3
Sanitaires	30	3

Les résultats des calculs sont récapitulés dans les tableaux ci-dessous par niveaux.

RDC/SS				
Type	Surface	Densité	Débit associé	Débit par étage
B1	Locaux à pollution non spécifique	902	5	4510
	Labos/atelier	1633	8	9185.625
	Wc/réunion	84	3	840
B2	Locaux à pollution non spécifique	665	5	3325
	Labos/atelier	1895	8	10659.375
	Wc/réunion	106	3	1060
B3	Locaux à pollution non spécifique	0	5	0
	Labos/atelier	0	8	0
	Wc/réunion	0	3	0
B4	Locaux à pollution non spécifique	825	5	4125
	Labos/atelier	755	8	4246.875
	Wc/réunion	141	3	1410
Plan	7 006		39 362	

R+1/RDC				
Type	Surface	Densité	Débit associé	Débit par étage
B1	Locaux à pollution non spécifique	1620	5	8100
	Labos/atelier	0	8	0
	Wc/réunion	80	3	800
B2	Locaux à pollution non spécifique	460	5	2300
	Labos/atelier	1750	8	9843.75
	Wc/réunion	500	3	5000
B3	Locaux à pollution non spécifique	2180	5	10900
	Labos/atelier	205	8	1153.125
	Wc/réunion	220	3	2200
B4	Locaux à pollution non spécifique	1565	5	7825
	Labos/atelier	820	8	4612.5
	Wc/réunion	220	3	2200
Plan	9 620		54 934	

R+2/R+1					
	Type	Surface	Densité	Débit associé	Débit par étage
B1	Locaux à pollution non spécifique	2535	5	12675	13515
	Labos/atelier	0	8	0	
	Wc/réunion	84	3	840	
B2	Locaux à pollution non spécifique	2560	5	12800	13860
	Labos/atelier	0	8	0	
	Wc/réunion	106	3	1060	
B3	Locaux à pollution non spécifique	2180	5	10900	14253.125
	Labos/atelier	205	8	1153.125	
	Wc/réunion	220	3	2200	
B4	Locaux à pollution non spécifique	1565	5	7825	14637.5
	Labos/atelier	820	8	4612.5	
	Wc/réunion	220	3	2200	
Plan		10 495		56 266	

_R+2					
	Type	Surface	Densité	Débit associé	Débit par étage
B1	Locaux à pollution non spécifique	0	5	0	0
	Labos/atelier	0	8	0	
	Wc/réunion	0	3	0	
B2	Locaux à pollution non spécifique	0	5	0	0
	Labos/atelier	0	8	0	
	Wc/réunion	0	3	0	
B3	Locaux à pollution non spécifique	2180	5	10900	14253.125
	Labos/atelier	205	8	1153.125	
	Wc/réunion	220	3	2200	
B4	Locaux à pollution non spécifique	1565	5	7825	14637.5
	Labos/atelier	820	8	4612.5	
	Wc/réunion	220	3	2200	
Plan		5 210		28 891	

_R+3					
	Type	Surface	Densité	Débit associé	Débit par étage
B1	Locaux à pollution non spécifique	0	5	0	0
	Labos/atelier	0	8	0	
	Wc/réunion	0	3	0	
B2	Locaux à pollution non spécifique	0	5	0	0
	Labos/atelier	0	8	0	
	Wc/réunion	0	3	0	
B3	Locaux à pollution non spécifique	2180	5	10900	13100
	Labos/atelier	0	8	0	
	Wc/réunion	220	3	2200	
B4	Locaux à pollution non spécifique	2180	5	10900	13100
	Labos/atelier	0	8	0	
	Wc/réunion	220	3	2200	
Plan		4 800		26 200	

Ces débits sont nécessaires pour proposer ensuite des modèles de CTA compactes décentralisées pouvant gérer les bons débits à des vitesses réduites pour optimiser à la fois confort et performance énergétique.

II.4.2) Comparatif centralisée versus décentralisée

Dimension des locaux techniques

CENTRALISEE	DECENTRALISEE	AVANTAGES / INCONVENIENTS
Importantes suite au regroupement en zones particulières de l'ensemble des éléments permettant le conditionnement d'air du bâtiment. Il y a donc peu de locaux techniques, mais ils sont importants en surface et volume.	Suivant la technologie décentralisée retenue, les locaux techniques peuvent être un local technique de petite taille par niveau desservi ou être inséré au sein des faux plafonds des pièces humides (telles que les toilettes), dans les faux planchers ou en tant qu'élément de façade. Gérer étage par étage en ventilation décentralisée demandera la mise à disposition de locaux techniques par étages	La décentralisation permet d'envisager l'intégration des éléments de ventilation en faux plafonds de pièces particulières (telles que les toilettes), en faux plancher ou bien en éléments de façade. Avantages décentralisation dans le cadre d'insertion dans faux plafonds.

Prise et rejet d'air

CENTRALISEE	DECENTRALISEE	AVANTAGES / INCONVENIENTS
La réduction du nombre des locaux techniques à 3 ou 4 locaux réduits d'autant la demande de prise d'air neuf et de rejet. Cette solution permet donc plus facilement de gérer ces paramètres. De manière conventionnelle, la prise d'air est centralisée et distribuée sur l'ensemble du bâtiment par le cœur. De la même façon, l'ensemble de l'air vicié est collecté en cœur de bâtiment pour être rejeté en partie haute.	Chaque unité de ventilation décentralisée a besoin d'une connexion en prise d'air neuf et rejet d'air. La décentralisation demande donc une multiplication des prises d'air en façade et ainsi une multiplication des conduits aérauliques entre la façade et les éléments de conditionnement d'air décentralisé. Ceci induit une complexité plus élevée de mise en œuvre et de conception des passages aérauliques. Par exemple, la conception des faux planchers techniques se doit d'être réalisée en prenant en compte l'ensemble des autres composantes telles que l'incendie, l'électrique, etc. Dans le cas d'un rejet d'air en façade par élément décentralisé, une attention particulière sera portée de façon à respecter la distance minimale de 8 mètres entre la bouche de rejet et toute ouverture du projet.	La décentralisation entraîne une multiplication des prises d'air neuf et donc des gaines aérauliques horizontales. Celles-ci se doivent d'être soigneusement insérées en phase conception et correctement contrôlées en phase réalisation. Avantages centralisation car réduit la complexité de conception et de mise en œuvre des gaines aérauliques horizontales.

Volumétrie des gaines aérauliques

CENTRALISEE	DECENTRALISEE	AVANTAGES / INCONVENIENTS
Nécessite la mise en œuvre de conduits permettant de transporter l'ensemble de	Dans le cadre d'une décentralisation par plateau, il n'existe pas de gaine aéraulique verticale.	La décentralisation permet de réduire très significativement ou

l'air nécessaire au fonctionnement du bâtiment. Ainsi, la place prise par les conduits aérauliques verticaux est relativement importante.

Toutefois, dans le cas d'une ventilation décentralisée par étage, des gaines supplémentaires horizontales sont nécessaires, pour l'amenée d'air notamment.

d'annuler la présence de gaines aérauliques verticales au sein du bâtiment.

Avantage décentralisation car permet d'éviter la mise en œuvre de gaines aérauliques verticales, sauf dans le cas d'une ventilation décentralisée par étage. Il y a dans ce cas équivalence entre les 2 solutions (car conduits horizontaux supplémentaires).

II.4.3) *Plans d'implantation CTA décentralisées – Bâtiments d'enseignement*

Des modèles de centrales de traitement d'air ont été choisis en fonction de leur encombrement et de leur débit nominal et implantés sur les plans ci-dessus. Le principe est de les intégrer aux faux-plafonds des sanitaires dans chaque coin des bâtiments d'enseignement. De ce fait, ces CTA sont accessibles via une trappe dans le faux-plafond, voir dans un faux WC. Par ailleurs, elles sont proches des patios et des prises d'air neuf sur les façades intérieures sont donc encouragées afin d'utiliser les patios comme poumons verts, sachant que l'air de ces derniers jouira du rafraîchissement adiabatique des patios dû à l'ombre et particulièrement aux fontaines.

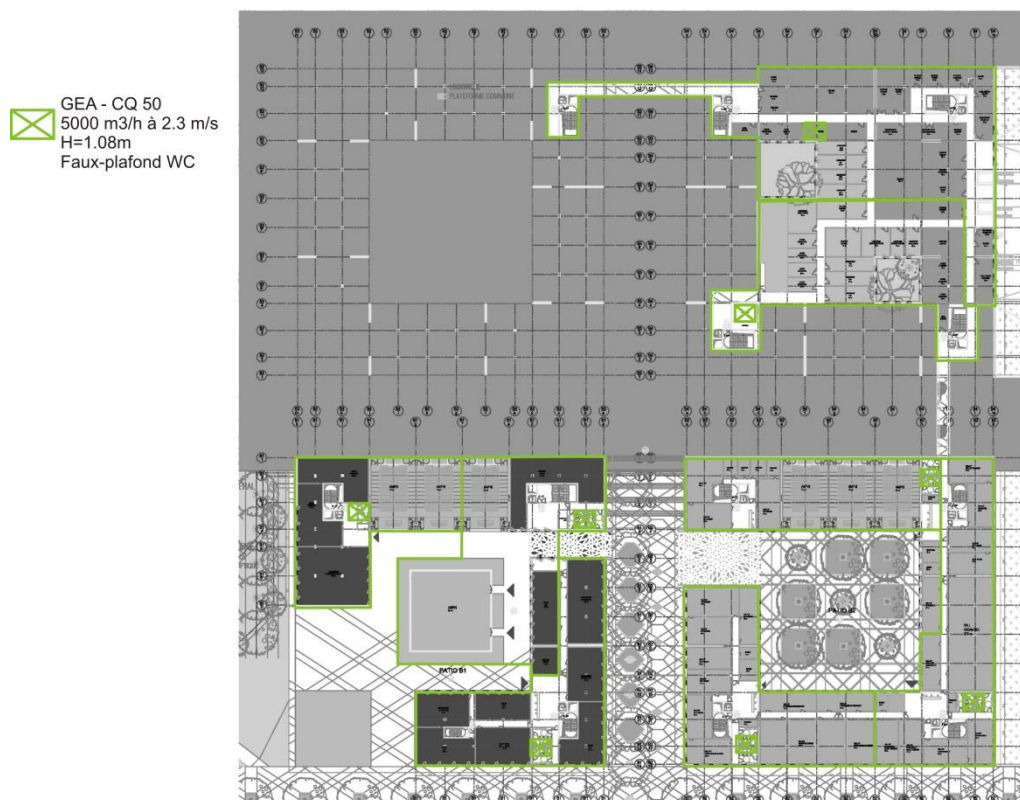


Figure 34 - Plan d'implantation des CTA – B1B2 RDC – B3B4 SS

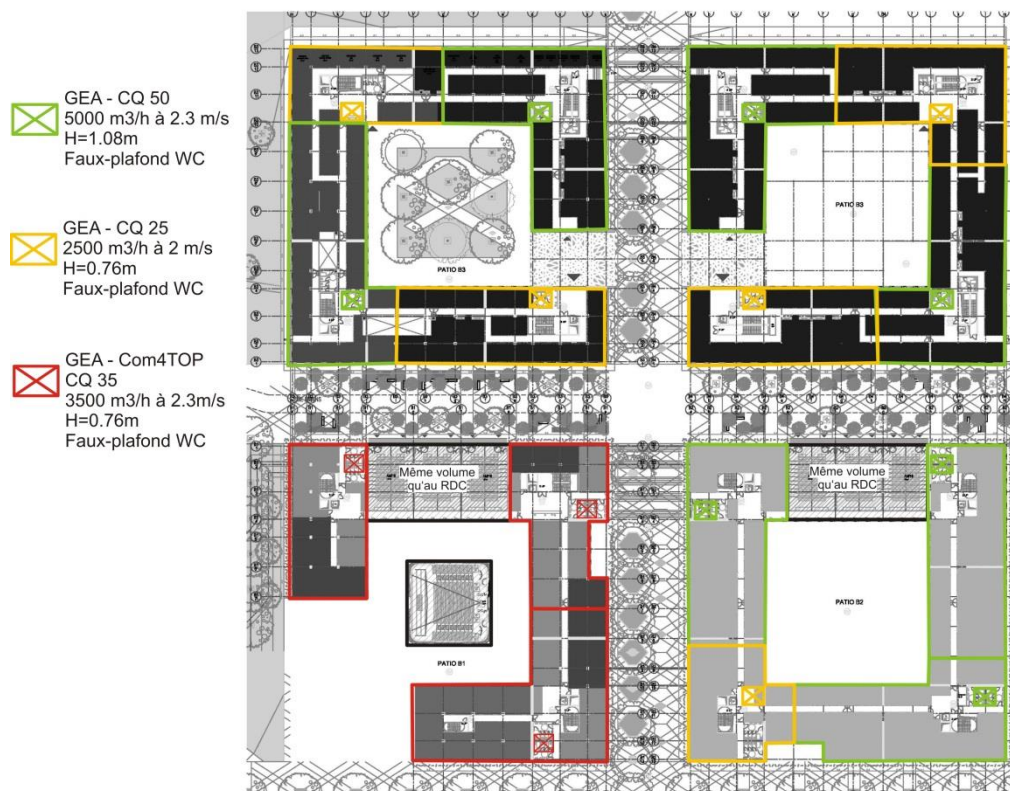


Figure 35 - Plan d'implantation des CTA – B1B2 R1 – B3B4 RDC

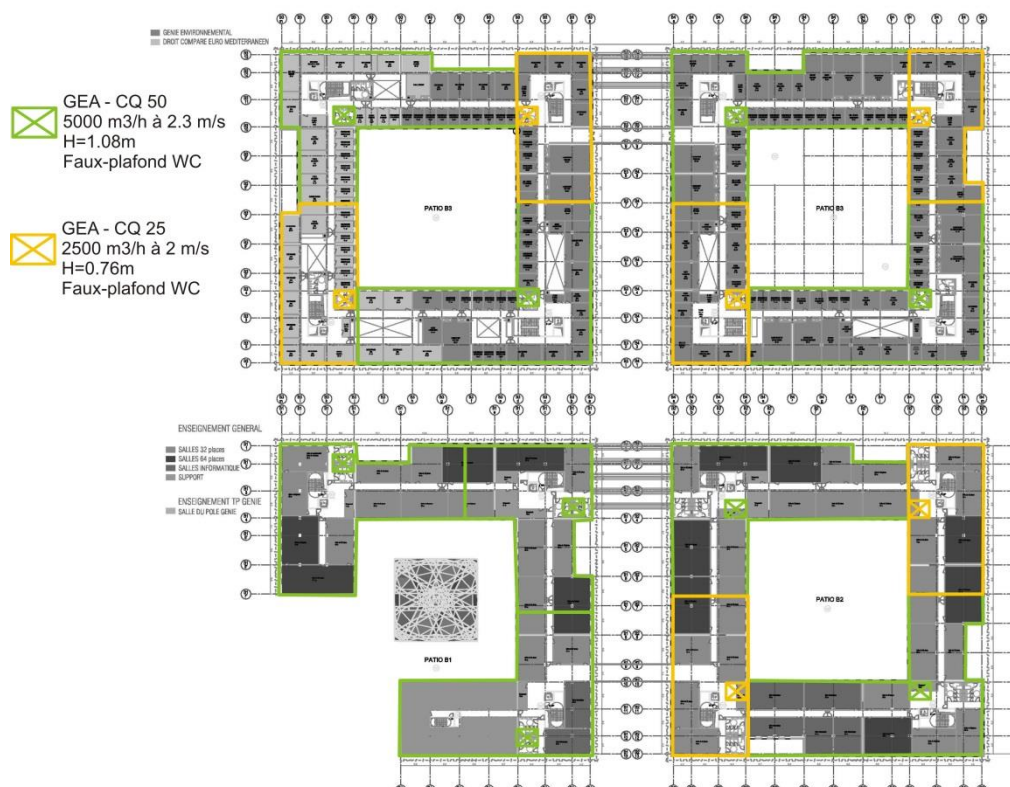


Figure 36 - Plan d'implantation des CTA – B1B2 R2 – B3B4 R1

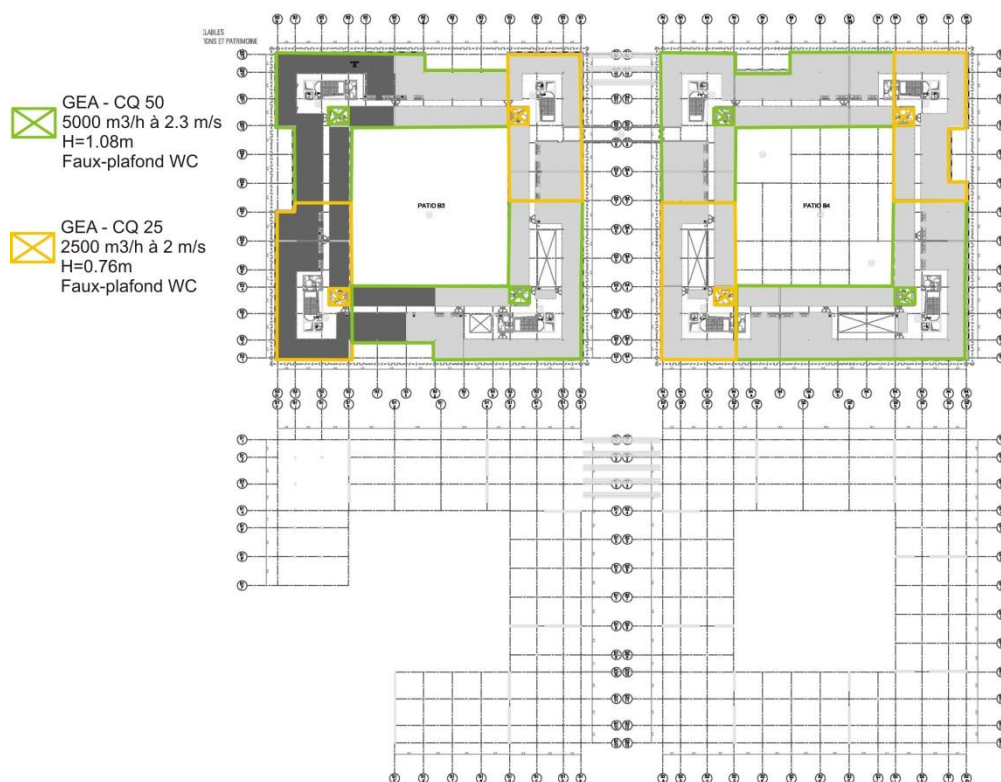


Figure 37 - Plan d'implantation des CTA – B3B4 R2

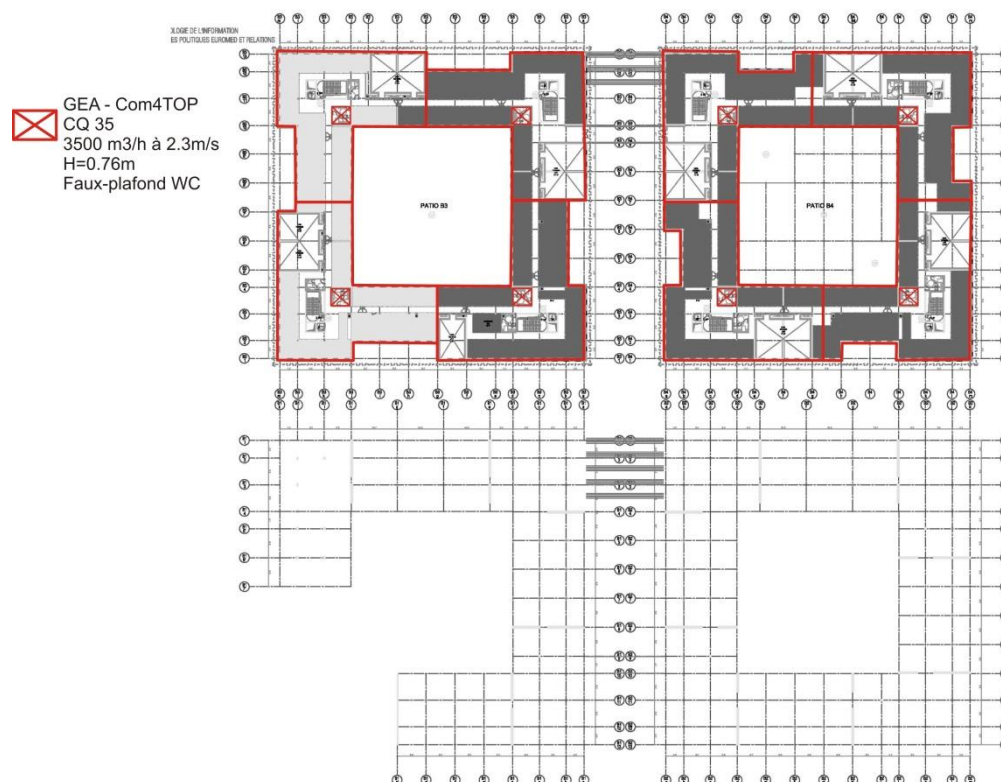


Figure 38 - Plan d'implantation des CTA – B3B4 R3

II.4.4) Dimensionnement des puits canadiens

Bâtiments d'enseignement

Dans le cas d'une ventilation simple flux, un puits canadien pourra être installé pour préconditionner l'air neuf des bâtiments d'enseignement. A partir des débits réglementaires nécessaires et de la température du sol, il a été possible de dimensionner une installation de puits canadien. Ainsi, chaque bâtiment nécessite en moyenne de préconditionner un débit d'air neuf d'un peu plus de 14m³/s.

Avec une vitesse d'air soufflé dans les pièces d'environ 1m/s pour maximiser le confort intérieur, cela implique une section globale du conduit d'environ 14m² par bâtiment. Grâce à ces paramètres et selon le type d'installation, la longueur de l'échangeur air/sol peut être déterminée. En effet, un seul conduit gérant tout l'air neuf avec une redistribution à sa sortie vers chaque CTA est possible. Cependant, il est aussi possible de créer un radier de plusieurs conduites créant un réseau et permettant de réduire la longueur de chaque tube.

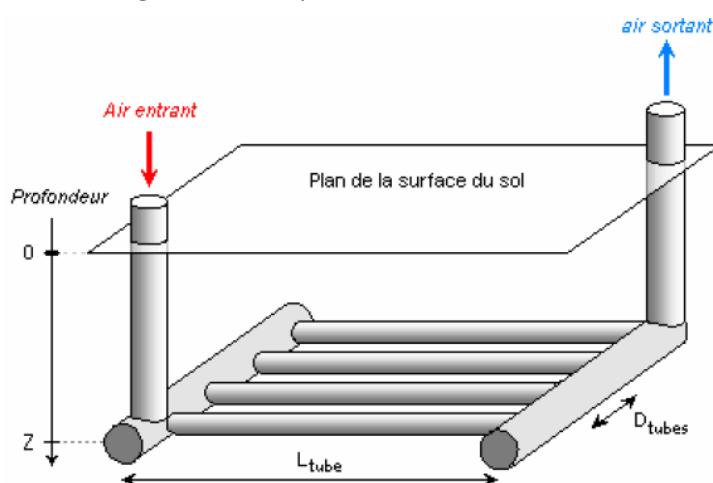


Figure 39 - Exemple d'un puits canadien en réseau

Nombre de conduites par bâtiment	Sections carrées (m ²)	Diamètre équivalent (m)	Longueur par conduite (m)	Vitesse d'air (m/s)	Débit par conduite (m ³ /h)
1	14.3	4.27	228	1	51600.3
10	1.43	1.35	72	1	5160.0
20	0.717	0.96	51	1	2580.0

Ainsi, si les puits canadiens peuvent être une solution qui fonctionne, le fait est que l'importance des débits nécessaires au renouvellement d'air hygiénique des bâtiments d'enseignement amène des longueurs qui sont rédhibitoires.

II.5. Approvisionnement énergétique

II.5.1) *Production centralisée*

La mutualisation des systèmes de production de chaleur et de froid est un élément important de la conception du campus. En effet, cette mutualisation permet de mettre en place des synergies entre les différents programmes. Ainsi, lorsque la future piscine demandera une grande quantité de chaleur, elle pourra être approvisionnée en partie par la chaleur extraite du système de climatisation venant des data center des bâtiments de recherche et du cœur de site.

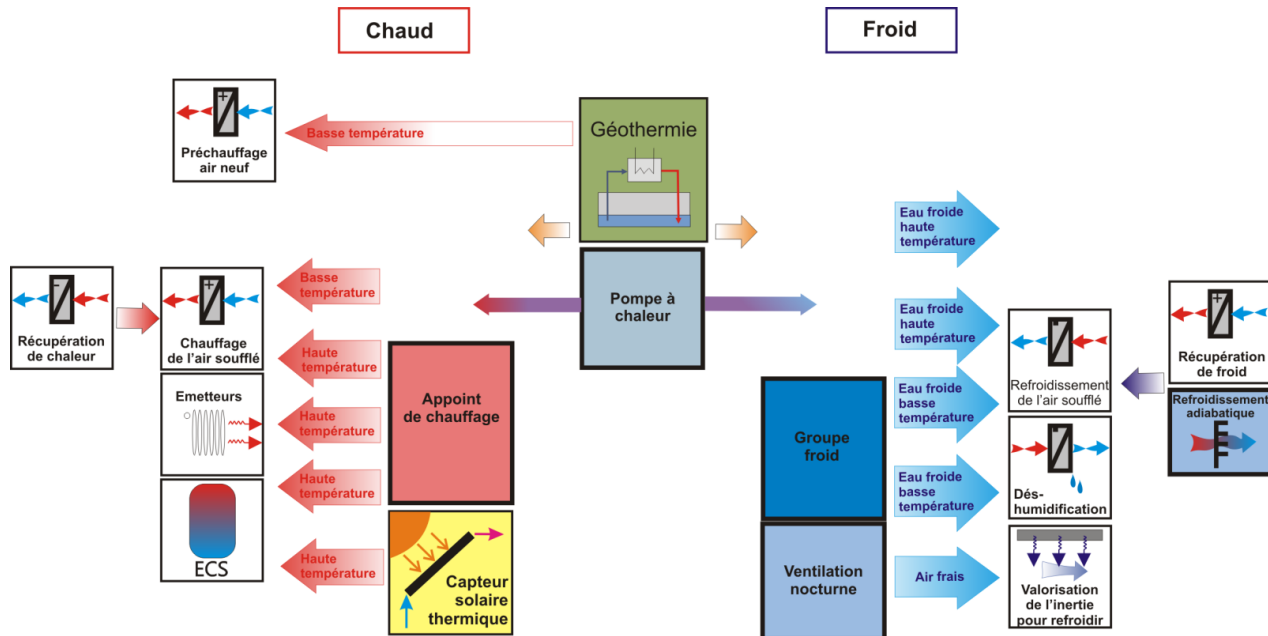


Figure 40 – Concept de production d'énergie à base de géothermie

Le principe de créer un équipement de production commun à tout le campus permet à la fois de créer un réseau énergétique et de dimensionner de manière optimale les capacités de production de chaleur et de froid.

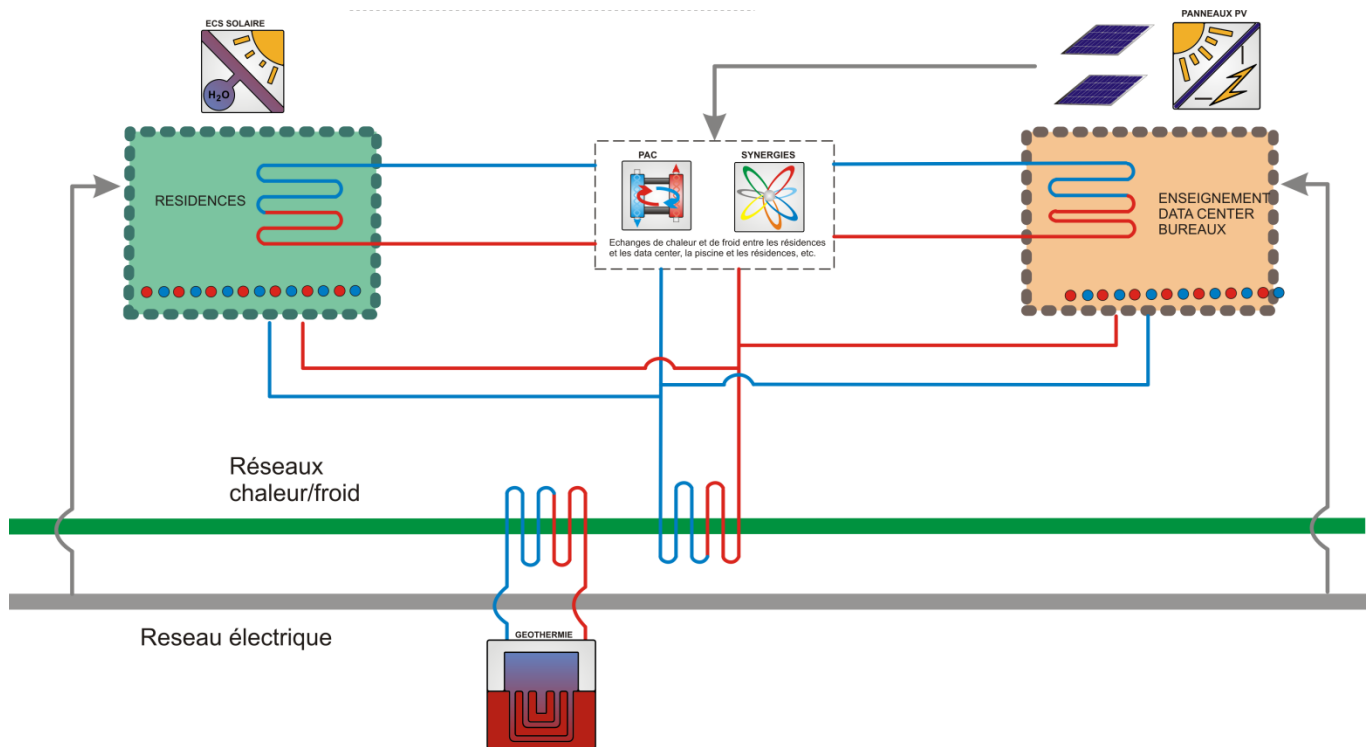


Figure 41 - Synergies et stratégies d'approvisionnement

II.5.2) Réseau énergétique

L'objectif de Transsolar est de créer une boucle énergétique souterraine sur le campus de l'UEMF dans le but de créer un réseau d'échanges thermiques et électriques entre les différents ensembles qui de par leurs usages différents auront des besoins qui pourront se compléter. Ainsi, la chaleur extraite des data center des bâtiments d'enseignement et de l'administration pourra être utilisée pour le chauffage des logements. De même, la future piscine pourra être alimentée de cette manière pour chauffer l'eau et l'air. Cette boucle comprendrait un réseau de chaleur, un réseau de froid ainsi qu'un réseau électrique afin de créer une connexion totale entre les bâtiments.

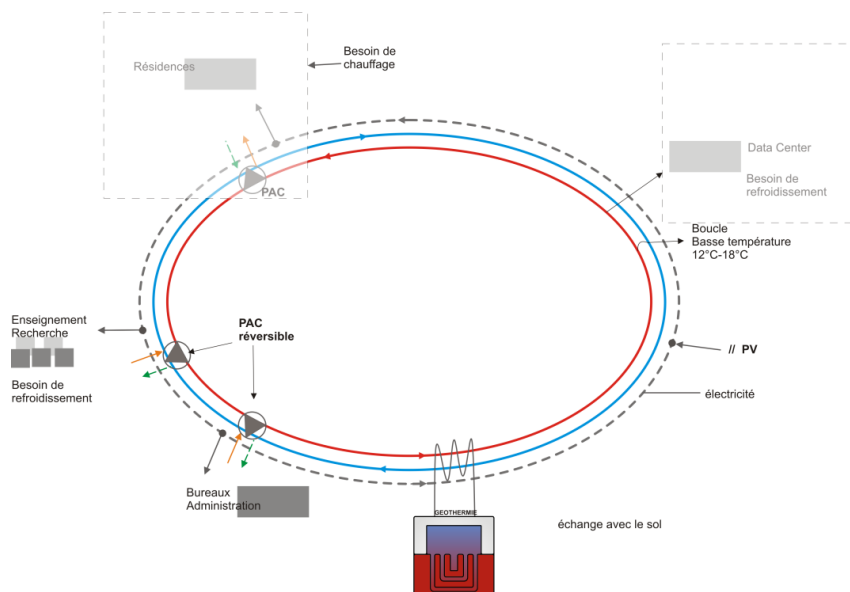


Figure 42 - Boucle énergétique

II.5.3) Synthèse

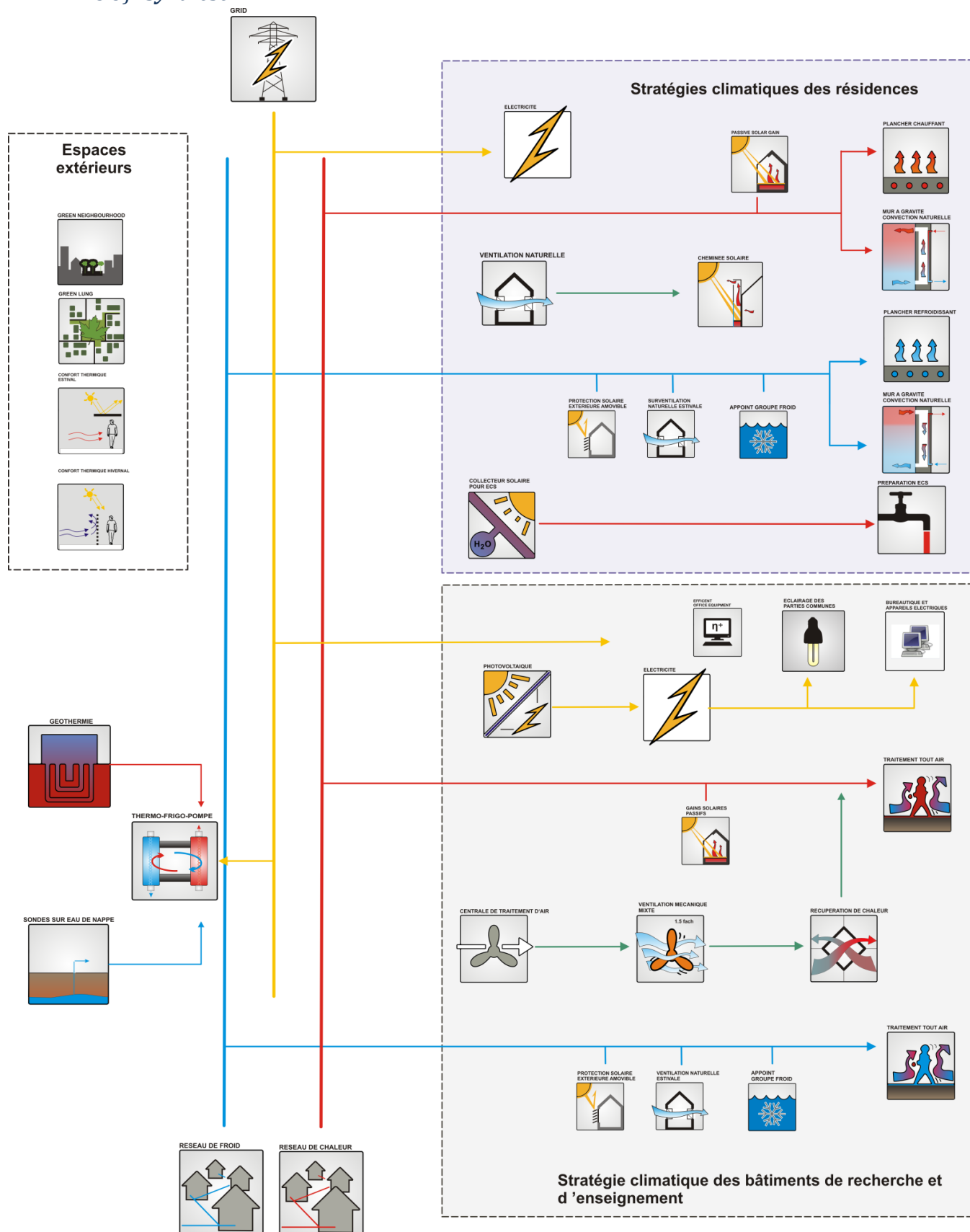


Figure 43 - Synthèses des stratégies d'approvisionnement et de traitement des logements et des bâtiments d'enseignement

La production de chaleur et de froid par géothermie est une composante majeure de notre conception de l’approvisionnement énergétique du campus de l’UEMF. A l’heure actuelle, Transsolar attend les résultats de l’appel d’offres pour les tests de réponses thermiques du sol qui sont nécessaires pour lancer le calcul de dimensionnement avec NOVEC. La brochure d’un bureau d’études spécialisé en géothermie est annexée ainsi que le cahier des charges technique des tests à réaliser rédigé par Transsolar.

III. Gestion des déchets

III.1. Rappel des volumétries de déchets

La gestion des déchets, notamment les déchets recyclables, fait l’objet de recommandations par tous les processus de certifications environnementales. Les suggestions faites ici proviennent du manuel technique du label BREEAM et du guide HQE – Bâtiments tertiaires.

La première étape du plan de gestion des déchets est d’établir une typologie des espaces du bâtiment afin de déterminer les types de déchets produits à stocker, évacuer et valoriser. L’UEMF peut se diviser en ces différents types d’utilisations :

- Zone de passage et d’accueil
- Restauration
- Zone de vie
- Bureaux
- Salles de cours
- Résidentiel
- Locaux techniques

Une distinction est à faire entre les locaux résidentiels et non résidentiels car les exigences réglementaires ne sont pas les mêmes. D’autre part, les surfaces de locaux doivent être fonction du volume de déchets produit ainsi que de la fréquence de collecte.

Tableau 1 - Volumétrie des différents types de déchets produits par les locaux de bureaux (en m3/jour)

OM	3.02
Emballages	11.08

Tableau 1 - Surfaces de stockage nécessaires pour les locaux

	Surface (m²)	Zones de stockage prévues (m²)	Comparatif BREEAM
Enseignement Recherche Administration	43068	162.5	89
Résidentiel	39754	132.5	13
Restauration	3115	15	80
TOTAL	85937	310	182

III.2. Recommandations à mettre en œuvre

La cible 06 - Gestion de déchets de la certification HQE met deux points en avant : la valorisation des déchets produits d'une part, et la qualité du système de gestion d'autre part. Il s'agit tout d'abord d'identifier des filières de valorisation telles que le réemploi, le recyclage ou l'incinération avec récupération d'énergie. Il faut ensuite mettre en œuvre une collecte dans le cadre de ces filières afin de tirer profit et réduire les impacts environnementaux des déchets. Concernant, le plan de gestion, quatre objectifs sont mis en place :

- Faciliter des actions des intervenants
- Encourager le tri à la source
- Faciliter la collecte
- Rester pérenne et minimiser les impacts

Trois critères sont à l'œuvre pour éviter les solutions impactant l'environnement de manière trop négative :

- Des espaces intérieurs doivent être spécialement conçus pour le stockage et le tri des déchets d'usage.
- Ces espaces doivent remplir les conditions suivantes :
 - Une signalétique claire doit être mise en place afin que le personnel d'entretien agisse efficacement.
 - Ils doivent être accessibles, dans un rayon de 20 mètres d'une entrée du bâtiment.
 - Enfin, la surface allouée à ces espaces de stockage et tri doit être suffisante pour la capacité de production de déchets du bâtiment.
- Selon le type de déchets produits sur site, des équipements supplémentaires doivent être mis en place.
 - Pour les déchets d'emballages et papiers, un compacteur est installé dans un local technique dédié et adapté (un socle en béton pour supporter le poids du compacteur, une alimentation électrique triphasée et un accès rendu possible aux véhicules venant collecter les déchets compactés).
 - Pour les déchets organiques et les déchets de nourriture, deux possibilités sont offertes. Des composteurs peuvent être mis en œuvre directement sur site dans un local dédié, ou un espace de stockage séparé pour ces types de déchets est conçu avant leur collecte pour valorisation extérieure. Pour ces espaces de stockage, une arrivée et une évacuation d'eau (siphon de sol) sont nécessaires afin d'assurer l'hygiène et l'entretien. Une ventilation appropriée doit être assurée dans les locaux de stockage.

D'autre part, les zones de livraisons des bâtiments doivent prévoir un espace suffisant pour le tri et pour stocker les emballages et palettes. Les équipements sportifs doivent présenter des zones de tri ainsi que les locaux techniques

Quant aux déchets compostables, des espaces de stockage extérieurs séparés sont requis et doivent être accessibles et accompagnés d'une signalétique et d'informations claires pour tous les habitants. Une des poubelles intérieures individuelles doit être réservée pour les déchets compostables tels que les restes de nourritures et tout autre déchet organique. Enfin, si aucun équipement de compostage n'est installé dans les espaces de stockage, un plan de gestion externe

de cette valorisation est nécessaire. Les composteurs ou réservoirs à déchets compostables ne doivent pas être situés à proximité des fenêtres du bâtiment.

III.3. Implantation des locaux de stockage intermédiaire et des points de collecte sur les plans APD

Les surfaces nécessaires à chaque bâtiment sont précisées sur le plan masse ci-dessous :



Figure 44 - Plan de gestion globale des déchets

De manière plus précise, Transsolar s'est attaché à localiser des zones propices au stockage intermédiaire des déchets dans l'enceinte des bâtiments avant leur évacuation sur les points de collecte extérieurs.

III.3.1) *Bâtiments d'enseignement*

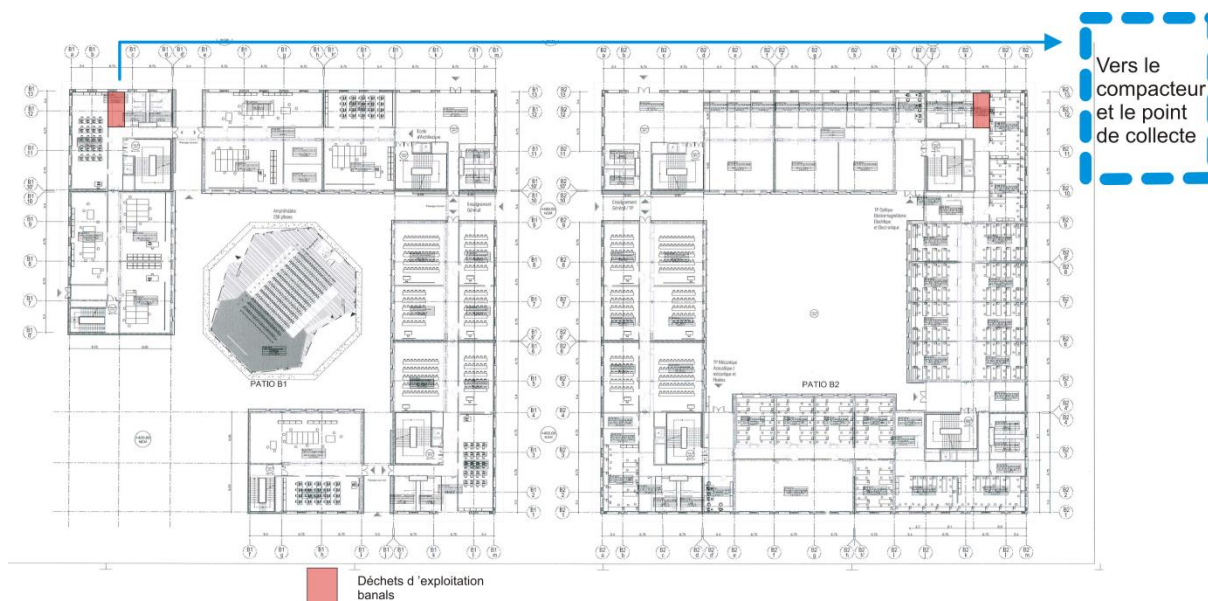


Figure 45 - Localisation des locaux déchets sur les plans APD du rez-de-chaussée B1 et B2

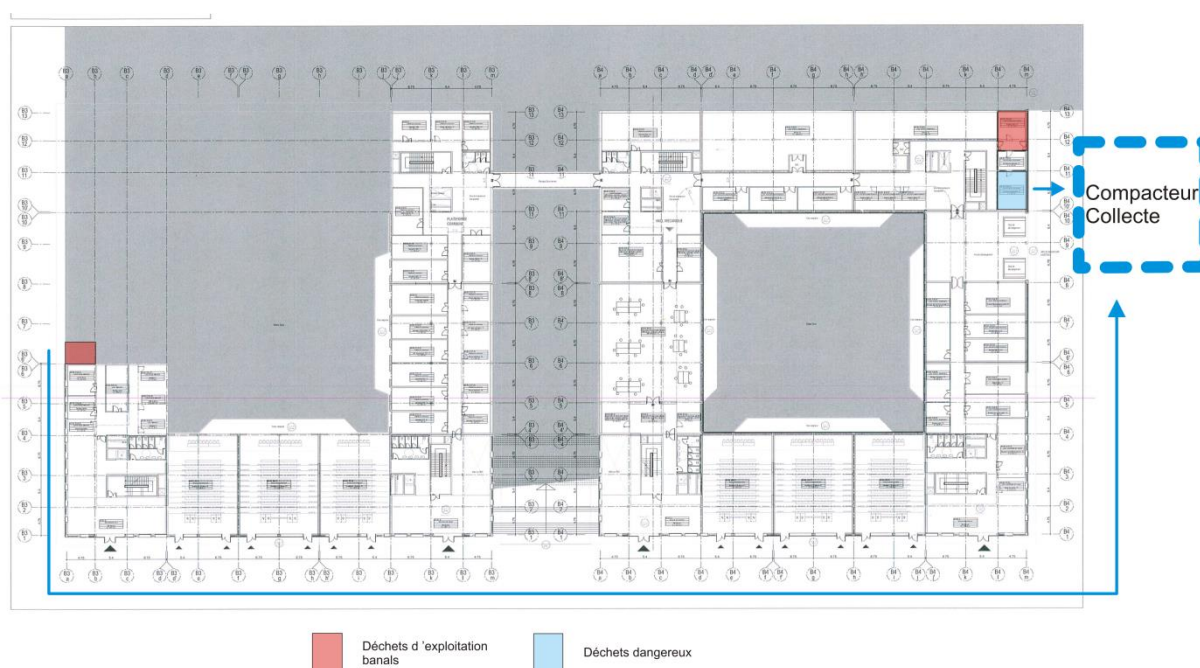


Figure 46 - Localisation des locaux déchets sur les plans APD du rez-de-chaussée B3 et B4

IV. Gestion des eaux

IV.1. Rappel des estimations

Les eaux de pluie potentiellement récupérables ainsi que les besoins sanitaires en eau ont été estimés à partir de la pluviométrie mensuelle de Fès associée à l'imperméabilisation du terrain. A

partir de ces chiffres, il a été possible de déterminer des volumes de stockage nécessaires et un objectif en termes de couverture des besoins en eau non potable.

Métrés (m²)	Type d'activités	Eau potable (m3)	Eau non potable (m3)		Eaux de pluie (m3)				Eau grise (m3)	Eau noire (m3)
			Lavage du linge	Douches	Arrosage	Nettoyage	WC	Total Besoins EP		
39754	Résidentiel	14123.9	10202.2	27994.5	8420.6	3733.6	18354.3	30508.6	38196.7	18354.3
24681	Bureaux	4630.0	0.0	2136.9	0.0	57.9	7123.1	7181.0	2136.9	7123.1
1900	Gymnase	249.4	0.0	4987.5	0.0	1828.8	1246.9	3075.6	4987.5	1246.9
3115	Restauration	11480.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2520.2	2520.2	0.0	2520.2
16486	Université	16224.5	0.0	0.0	0.0	2761.6	8630.0	11391.7	0.0	8630.0
85936	TOTAL	46709	10202	35119	8421	8382	37875	54678	45321	37875

Besoins	Volume/%
Total des besoins annuels d'eau (m3) :	146707
Total des besoins annuels en eau non potable (arrosage, nettoyage, WC, lavage du linge) (m3) :	64879
Total des besoins en EP (définis dans 'Surface activités') (m3) :	54677
Besoins effectivement couverts par des EP (m3) :	10543
Pourcentage de couverture des besoins en EP (%) :	19.3%
Pourcentage de couverture des besoins en eau non potable par des EP (%) (exigence HQE) :	16.3%

A partir de ces estimations, nous avons été capables de fixer un objectif en termes de couverture des besoins en eau de pluie de 20%. Cela nous a permis de dimensionner les citernes souterraines à mettre en place pour stocker les eaux de pluie. Le volume total des cuves souterraines est de 350 m3 réparties selon le plan ci-dessous.

Potentiel de récupération	Volume (m3)
Volume d'eau de pluie sur la parcelle	20974
Volume infiltré directement (imperméabilisation imparfaite des surfaces récupératrices)	5243
Volume ruisselé	15730
Volume stocké et réutilisé	10543
Volume rejeté au réseau	0
Ratio d'EP récupérée	50%

IV.2. Rappel des recommandations

IV.2.1) *Réduction de la consommation d'eau potable*

Deux objectifs sont définis pour la demande en eau potable :

- Limitation des besoins sanitaires en eau, par exemple grâce à des dispositifs hydro-économiques.
- Limiter le recours à l'eau potable pour des usages autres que « alimentaires » et « hygiène corporelle » (HQE).

Ainsi, pour répondre à la première exigence, des cibles pour les débits maximaux sont attribuées aux différents types de dispositifs sanitaires équipant le projet (tableau 1).

Tableau 1 – Débits autorisés d'eau pour les dispositifs sanitaires

Dispositif	Débit Max
Chasse d'eau à double commande	3L/6L
Urinoir	1L
Robinet de lavabo	3L/min
Douche	6L/min

D'autre part, l'eau potable n'est pas nécessaire pour certaines utilisations telles que les WC, l'arrosage et l'entretien (nettoyage) du bâtiment. Dans ces cas-là, les eaux grises ainsi que les eaux pluviales peuvent après traitement remplacer l'eau potable. Cela nécessite donc un deuxième réseau d'eau qui n'est pas potable sur la parcelle et implique d'importantes économies d'eau. Ce deuxième point est approfondi dans la suite de la notice.

IV.2.2) Cycle de l'eau

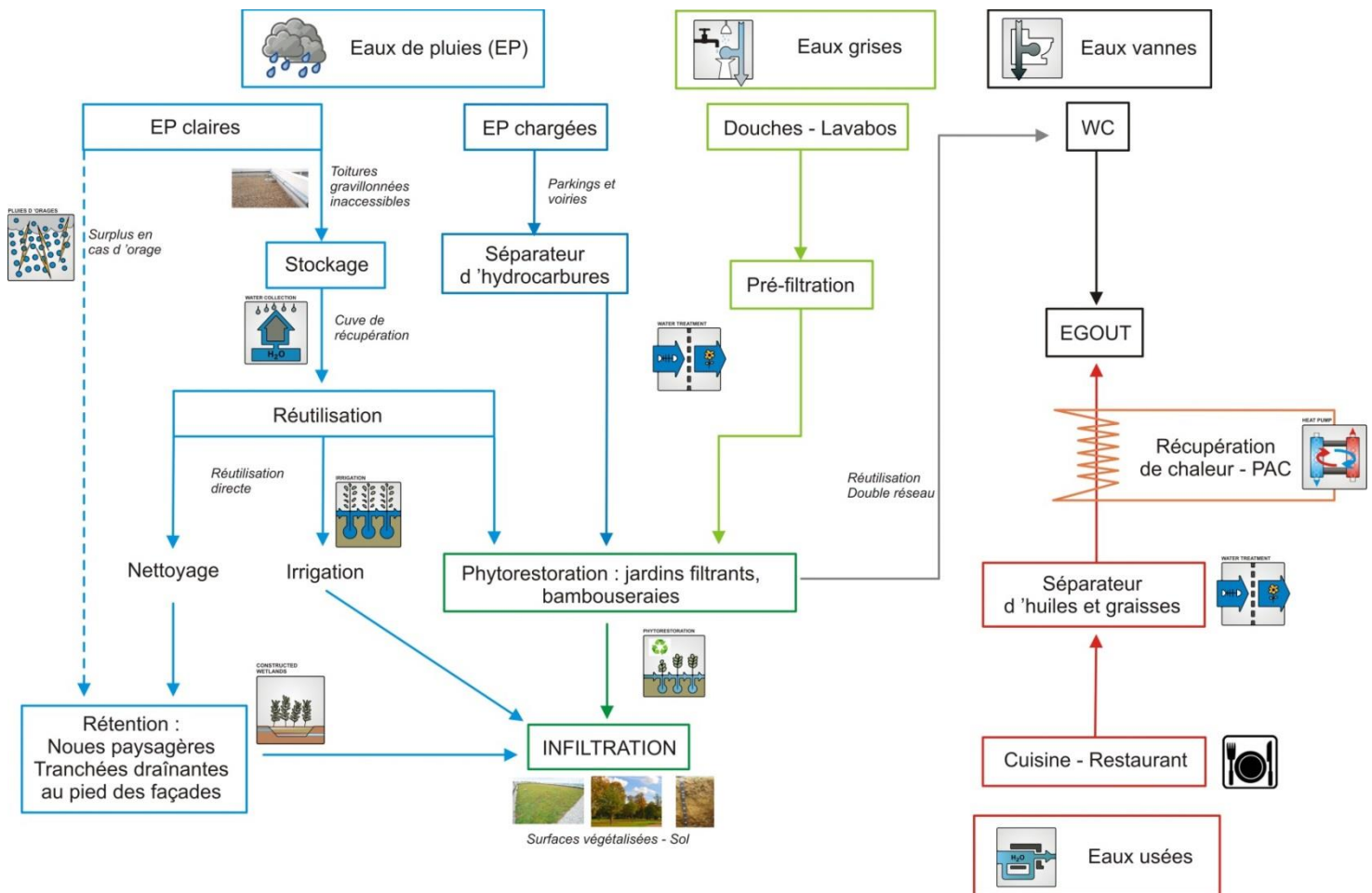


Figure 47 - Cycle de l'eau sur le terrain de l'UEMF

La figure 52 présente les différentes interventions et interactions entre les eaux potentiellement récupérables et les eaux à traiter dans le projet. Des estimations des diverses quantités ont été effectuées et seront présentées plus bas. Les eaux à gérer sur le site sont de quatre types :

- Les eaux de pluies
- Les eaux grises, ou eaux usées peu chargées
- Les eaux vannes très chargées
- Les eaux usées sortant des cuisines

Les eaux de pluie sont elles-mêmes à diviser en deux parties qui sont les eaux pluviales claires réutilisables collectables sur les toitures et avec d'autres dispositifs de stockage ainsi que les eaux pluviales chargées ruisselant sur les parkings et voiries. Dans la gestion des eaux envisagée et afin d'utiliser au mieux le potentiel du projet, les eaux de pluie claires sont récupérées sur toute la surface de toiture du chantier puis stockées dans des cuves souterraines en béton réparties régulièrement sur tout le site. Cependant, les volumes de ces installations de stockage seront à dimensionner plus précisément afin que la récupération d'eau s'accomplisse de manière optimale. En effet, il faut tenir compte des besoins du site et des périodes de

l'année afin de ne pas surdimensionner le stockage. Cela amène à un volume de stockage qui ne peut pas absorber toutes les précipitations en cas d'épisode pluvieux intense tels que les orages : ces précipitations sont ruisselées directement dans des volumes de rétention tels des noues paysagères ou des tranchées drainantes au pied des façades.

Les eaux de pluies stockées vont quant à elles être réutilisées soit directement pour le nettoyage des façades et l'irrigation soit de manière indirecte après un traitement de phytorestauration. Les eaux réutilisées directement pour le nettoyage seront ensuite drainées via les tranchées au pied des façades et infiltrées en même temps que les eaux d'irrigation grâce aux surfaces végétalisées.

Les eaux de pluie chargées provenant des voiries passent tout d'abord un séparateur d'hydrocarbures afin de les décontaminer puis rejoignent le traitement de phytorestauration pour infiltration. De même, les eaux grises provenant des douches et des lavabos sont préfiltrées avant de rejoindre bassins filtrants.

De cette manière, les bassins filtrants paysagers envisagés rassemblent les eaux de pluie chargées, les eaux grises ainsi que la partie des eaux de pluie claires non utilisée pour le nettoyage et l'irrigation. A la sortie des différents bassins filtrants (ou champs de bambous filtrants), ces eaux sont envoyées dans un réseau auxiliaire qui alimente les chasses d'eaux. Grâce aux divers procédés de récupération, ce gisement d'eau paraît assez important pour éviter l'utilisation d'eau potable dans les toilettes (bien qu'une connexion au réseau d'eau potable soit nécessaire afin de pallier à toute éventualité). Une évacuation des bassins filtrants vers les surfaces végétalisées pour infiltration est aussi proposée afin de réguler le débit de fuite et la hauteur des bassins.

Les eaux usées sortant des cuisines du site traversent un filtre à huiles et graisses puis un système de récupération de chaleur (pompe à chaleur) afin de les valoriser puis terminent leur course dans les égouts. Les eaux vannes sont récupérées à la sortie des toilettes et sont envoyées directement aux égouts.

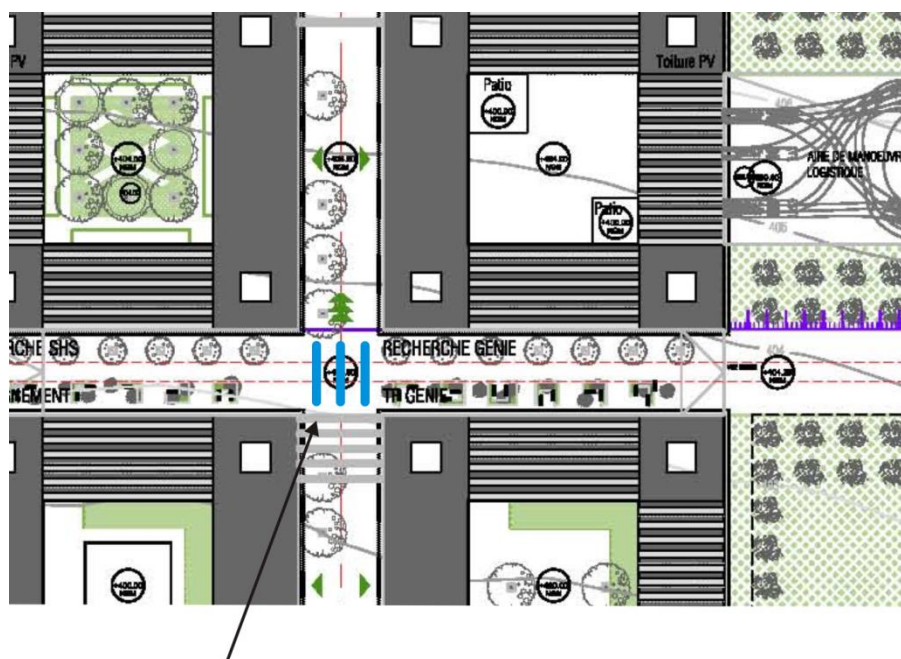
IV.3. Récupération des eaux de pluie

IV.3.1) *Dimensionnement des volumes de stockage de la partie enseignement et recherche*

Avec les hypothèses actuelles de surfaces de toitures et de besoins en eau des bâtiments B1 à B4, 70% des eaux de pluies sont récupérées et valorisées grâce à une réutilisation directe (arrosage, nettoyage) ou via un réseau auxiliaire pour les chasses d'eau. Cette récupération permet de couvrir environ 25% des besoins en eau de pluie, ce qui représente 12% des besoins totaux en eau du site. Par ailleurs, grâce à l'importante surface perméable des espaces verts, les eaux de pluies ne devraient pas avoir à être évacuées par le réseau d'égout, même en cas d'épisode pluvieux intense, grâce aux systèmes d'infiltrations prévus. Cependant, des précisions devront être apportées avec l'équipe paysagiste quant aux besoins en eau pour l'arrosage des espaces verts, car ils dépendent en grande partie des espèces plantées. Les résultats des calculs de pluviométrie et de stockage des eaux pluviales sont annexés à la fin du rapport.

Les volumes de stockage actuellement proposés prennent en compte le potentiel de récupération d'EP et essaient de prévenir les besoins en irrigation des patios et autres espaces plantés lors des périodes sèches. Ce volume permettrait selon une autre alternative d'approvisionner en eau le nettoyage de façades.

IV.3.2) Implantations des cuves par bâtiments



Triple citerne acier souterraine 3x120m3

Figure 48 - Répartition des volumes de stockage d'EP et des parcelles perméables

Pour rappel, les volumes actuels de stockage sont décrits sur la figure 67 ci-dessus. Cela ne représente que les volumes à aménager pour la tranche 1. Trois citernes en acier d'un volume respectif de 120m³ seront installées côte à côte sous le croisement des deux rues de la zone d'enseignement. Elles regrouperont ainsi les eaux pluviales des toitures des quatre bâtiments B1 à B4.



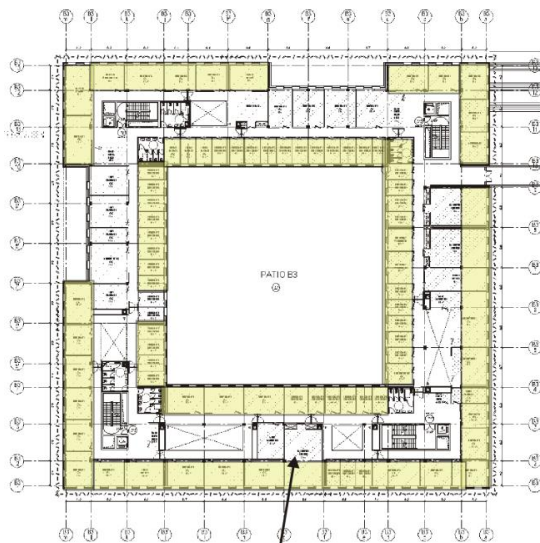
Figure 49 - Citerne acier avec filtration intégrée AQUAE

Concernant les autres espaces, les cuves de stockage des EP pourraient là aussi être souterraines et incorporés sous les surfaces minéralisées telles que les parkings des résidences et de l'administration ainsi que la cour minérale et la cour administrative.

V. Annexes

V.1. Inertie des parois verticales – bâtiments d'enseignement

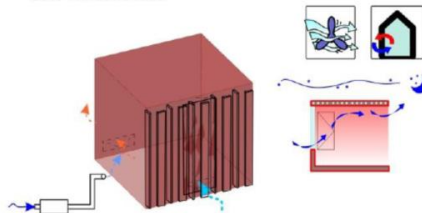
Zone de bureau modélisée - Hall



Surface modélisée : Comprend les salles de classe, les laboratoires et les bureaux des quatre bâtiments.



Régime 04 – Hybrid Ventilation + flushnight,
30% Windows ratio



Hypothèses fonctionnement - Labs - Classe

Densité d'occupation	3m ² /pers
Puissance équipement	60W sensible / personne
Puissance éclairage	47W/m ² phase d'opération
Infiltration	12W/m ² (entre 7h et 22h)
Vitrages	ACH= 0.1 vol/h
Débit de ventilation	30%
Ventilation régulée selon température extérieure et occupation:	ACH= 5 vol/h
Ventilation naturelle si 19°C < Tamb < 26°C et flushnight	
Ventilation mécanique selon SIA 2024 si ventilation naturelle OFF	
T air soufflé	22°C (hiver) / 18°C (été)

Refroidissement	Maximum (26°C, Tamb-7°C)
Chauffage	Journée 19°C - Nuit 10°C
Régulation	ON - OFF 8h00 - 19h00

Hypothèses fonctionnement - Bureaux

Densité d'occupation	8 m ² /pers
Puissance équipement	60W sensible / personne
Puissance éclairage	17.5W/m ² phase d'opération
Infiltration	12W/m ² (entre 7h et 22h)
Vitrages	ACH= 0.1 vol/h
Débit de ventilation	30%
Ventilation régulée selon température extérieure et occupation:	25m ³ /h.pers
Ventilation naturelle si 19°C < Tamb < 26°C et flushnight	
Ventilation mécanique selon SIA 2024 si ventilation naturelle OFF	
T air soufflé	22°C (hiver) / 18°C (été)

Refroidissement	Maximum (26°C, Tamb-7°C)
Chauffage	Journée 19°C - Nuit 10°C
Régulation	ON - OFF 8h00 - 19h00

Enveloppe : 2 variantes

Façade

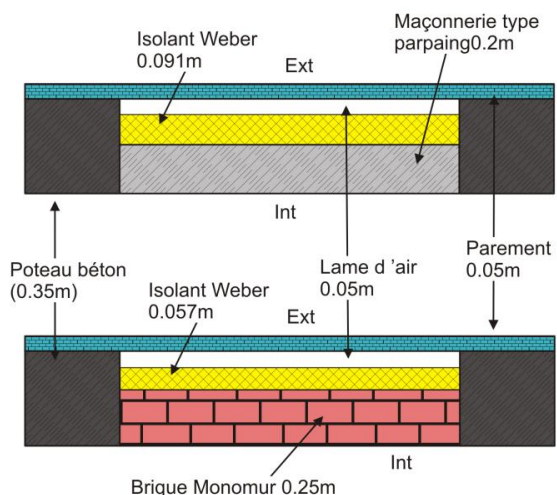
- Double vitrage
- $U_g = 1.05 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ / $g_{\text{value}} = 0.331$
- $U_f = 2 \text{ W/(m}^2\text{.K)}$ / Part de cadre = 10%
- Brise-soleil

Variante A - $U=0.21 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Maçonnerie Parpaing 0.2m 0.96W/mK
- Isolant Weber 0.022W/mK
- Lame d'air (rattrapage nu extérieur des poteaux)
- Parement extérieur

Variante B - $U=0.209 \text{ W/m}^2\text{K}$

- Brique Monomur - Kasbah System 0.14W/mK
- Isolant Weber 0.022W/mK
- Lame d'air (rattrapage nu extérieur des poteaux)
- Parement extérieur



Résultats globaux

Il existe très peu d'écart au niveau énergétique entre le remplissage des murs en maçonnerie ou en brique Monomur.

Globalement sur l'étage, moins de 1% de différence persiste.

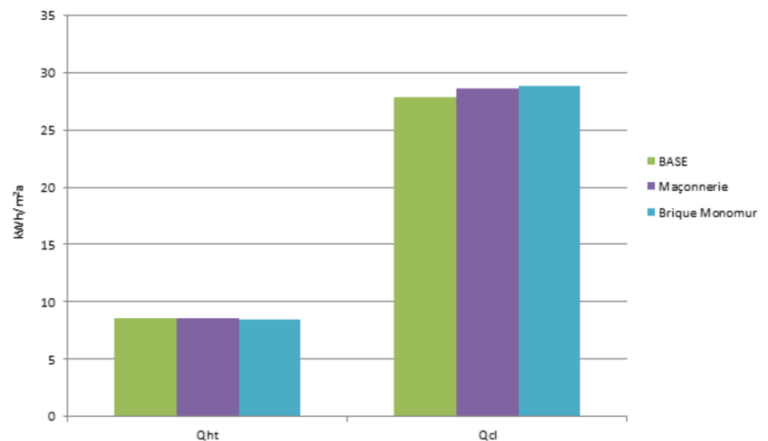
Cette similarité des résultats est due au fait que les planchers haut et bas présentent une inertie thermique importante en surface. La zone bénéficie donc de ces surfaces. Ainsi, l'inertie thermique des parois verticales est donc négligeable face aux parois horizontales. Cela signifie que les planchers nécessitent d'être lourds et d'être activés, c'est-à-dire au contact de l'air de la zone.

L'avantage de la brique Monomur est sa conductivité plus faible qui permet de diviser l'épaisseur d'isolant par presque 2.

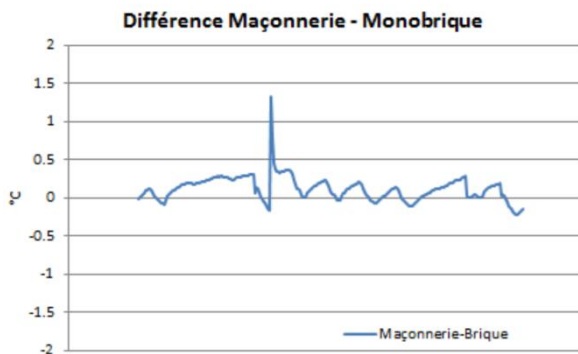
Dans le tableau de résultats, la version base correspond à la simulation thermique réalisée lors de la phase APS, dont les façades étaient composées de béton avec isolation extérieure.

TOTAL		
kWh/m²a	Qht	Qcl
BASE	68.7347	222.628
Maçonnerie	68.2954	228.637
Brique Monomur	67.9618	231.082

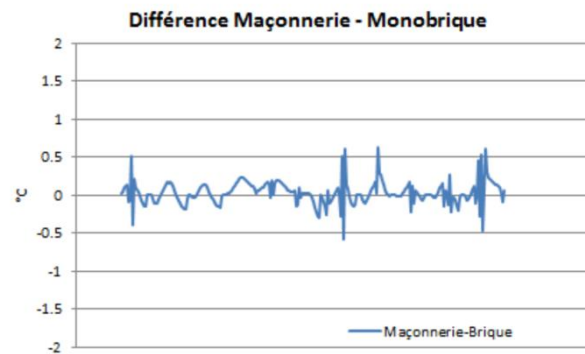
Besoins finaux en chaud et froid de l'étage R1 des bâtiments d'enseignement - recherche



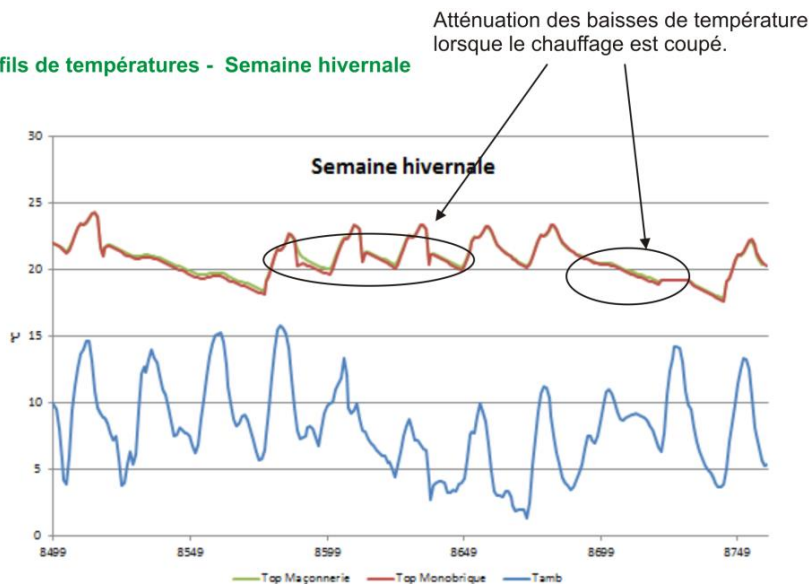
Profils de températures - Semaine hivernale



Profils de températures - Semaine estivale



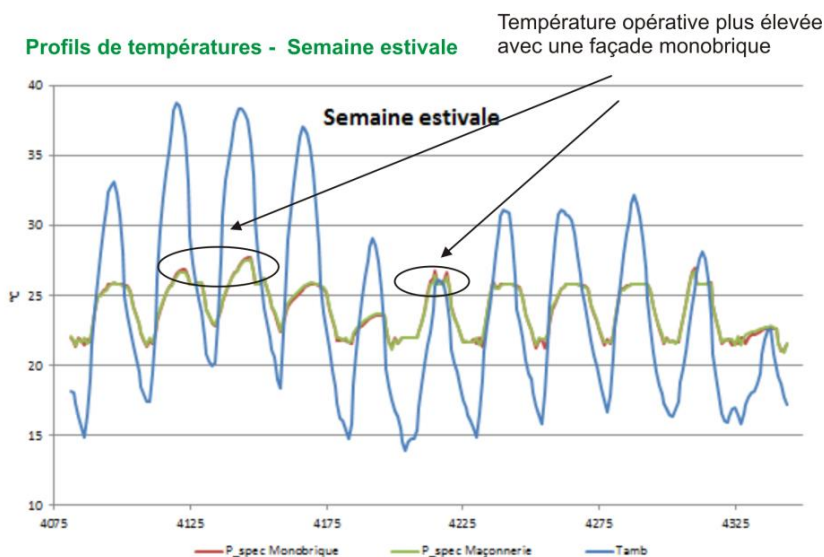
Profils de températures - Semaine hivernale



Les températures opératives des zones ne sont pas impactées par les changements d'inertie thermique ni en hiver ni en été. Encore une fois, cela est dû à la surface limitée des parois extérieures comparées aux planchers haut et bas.

L'écart de température sur les semaines caractéristiques entre le modèle avec maçonnerie et le modèle avec brique monomur varie entre 0.2 et -0.2. Quelques minima et maxima existent mais relèvent plus d'une température extrême très rarement atteinte.

Profils de températures - Semaine estivale



On remarque tout de même une légère tendance au niveau des courbes de température : la maçonnerie classique atténue légèrement les variations de température en hiver et bloque les températures opératives légèrement plus bas en été.

On retrouve la même tendance que pour les températures opératives : les écarts sont faibles et seule une différence se fait au niveau de spics de demande de traitement thermique.

En été, la façade en maçonnerie amène à une demande en refroidissement légèrement plus faible au niveau des pics de température en journée.

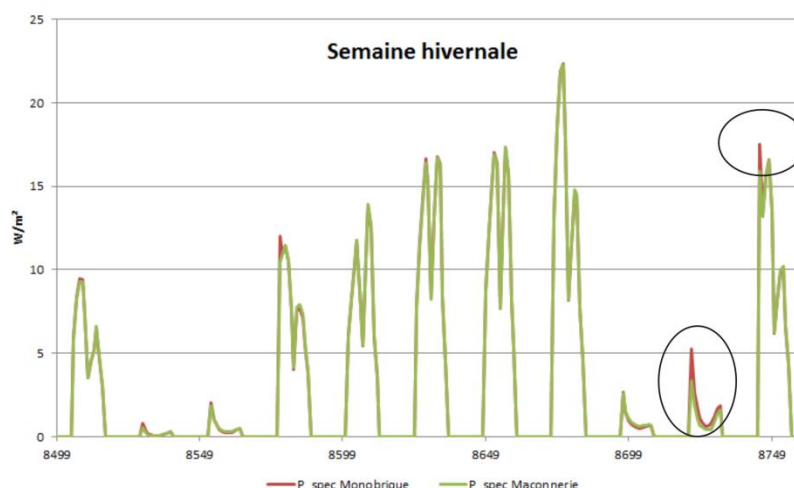
De même en hiver, l'inertie thermique plus importante de la maçonnerie réduit légèrement la demande en chauffage. c'est notamment visible les jours non occupés.

Cependant, sur le bilan annuel, l'intérêt énergétique est limité.

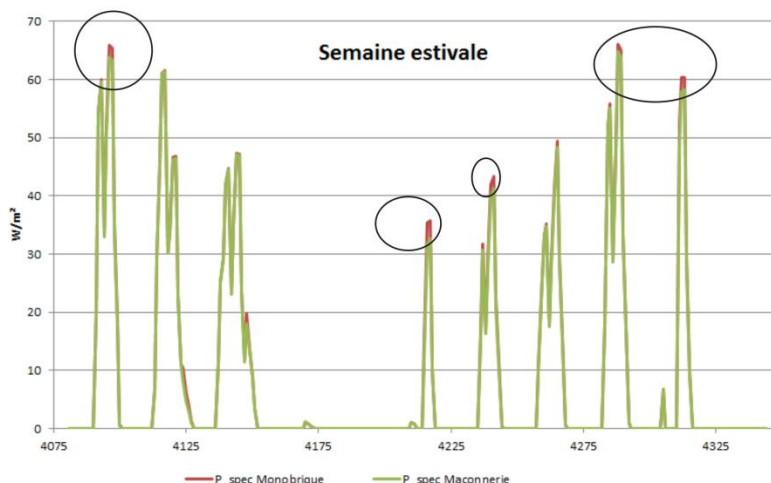
D'autre part, il ne faut pas omettre qu'utiliser une façade en brique Monomur permet de diviser quasiment par deux l'épaisseur d'isolant pour atteindre la valeur de coefficient de transfert thermique utilisée pour ces simulations.

Ce gain paraît faible dans le cas d'un isolant très performant comme le WEBER 0.022, mais cela permettra de garder une épaisseur de façade convenable (45cm) même avec un isolant plus classique (0.035W/mK).

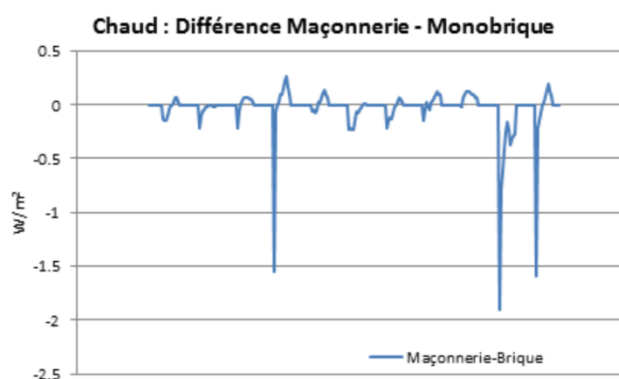
Profils de puissances- Semaine hivernale



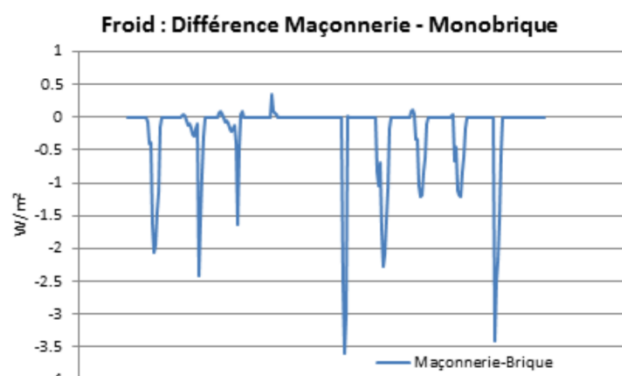
Profils de puissances- Semaine estivale



Profils de puissances- Semaine hivernale

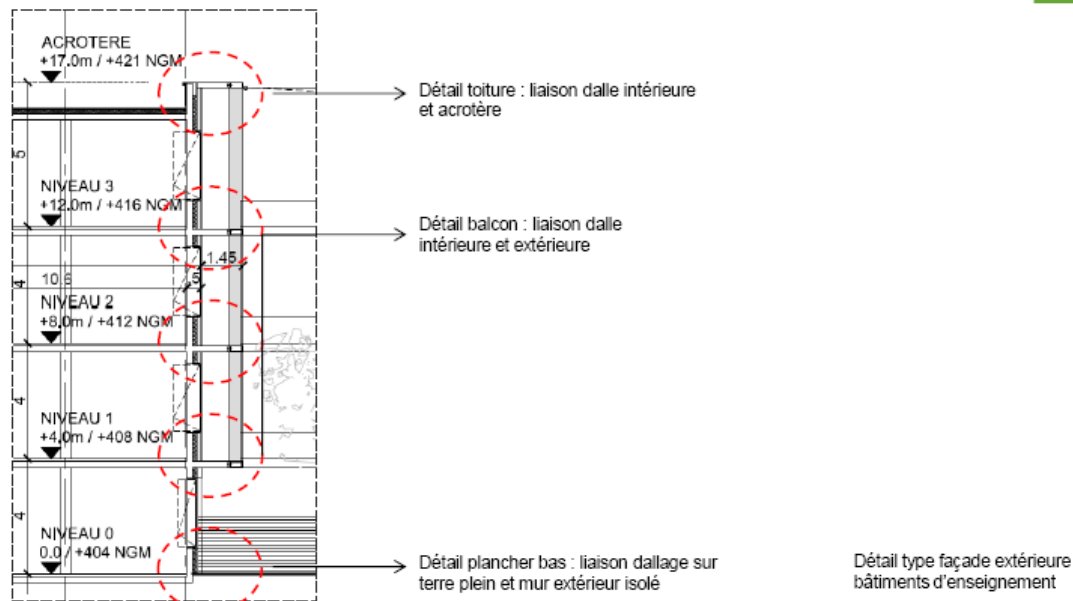


Profils de puissances- Semaine estivale



V.2. Rupture de ponts thermiques

PONTS THERMIQUES MUR AVEC ISOLATION EXTÉRIEURE



TRANSOLAR KlimaEngineering | Stuttgart Munich New-York Paris

10 mars 2015

2

PONTS THERMIQUES_RT 2012

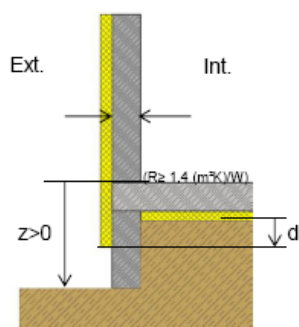
Méthode de calcul de ponts thermiques par rapport au Coefficient linéique (Ψ)
(valeurs par défaut)



- Détail plancher au sol : liaison dallage en béton sur terre plein, mur extérieur et soubassement en béton

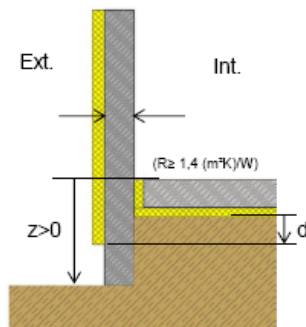
ITE 1.1.1

Mur en béton plein ou maçonnerie courante (15-30 cm) avec isolation extérieure et dallage en béton isolé ($R \geq 1,4$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)) en sous-face sur toute sa surface



ITE 1.1.3

Mur en béton plein ou maçonnerie courante (15-30 cm) avec isolation extérieure et dallage en béton isolé ($R \geq 1,4$ ($\text{m}^2\text{K}/\text{W}$)) en sous-face sur toute sa surface avec rupture isolante en droit du dallage



ITE 1.1.1

z (en cm)	$d < 0$ (cm)	$0 \leq d < 20$ (cm)	$20 \leq d < 40$ (cm)	$40 \leq d < 60$ (cm)	$d \geq 60$ cm
$z < -70$	0,60	0,31	0,32	0,27	0,23
$-70 \leq z < -40$	0,65	0,42	0,34	0,29	0,25
$-40 \leq z < -20$	0,73	0,45	0,36	0,31	0,26
$-20 \leq z < +20$	0,88	0,49	0,38	0,35	0,28
$+20 \leq z < +40$	0,95	0,56	0,46	0,38	0,31
$+40 \leq z < +100$	1,10	0,75	0,61	0,42	0,33
$+100 \leq z$	1,10	0,80	0,60	0,49	0,35

Cas de base

ITE 1.1.3

z (en cm)	$d < 0$ (cm)	$0 \leq d < 20$ (cm)	$20 \leq d < 40$ (cm)	$40 \leq d < 60$ (cm)	$d \geq 60$ cm
$z < -70$	0,47	0,27	0,22	0,20	0,18
$-70 \leq z < -40$	0,55	0,29	0,24	0,21	0,19
$-40 \leq z < -20$	0,60	0,35	0,26	0,23	0,20
$-20 \leq z < +20$	0,72	0,38	0,28	0,25	0,22
$+20 \leq z < +40$	0,80	0,48	0,33	0,27	0,23
$+40 \leq z < +100$	0,81	0,52	0,39	0,30	0,24
$+100 \leq z$	0,82	0,54	0,41	0,34	0,25

Majoration

TRANSOLAR KlimaEngineering | Stuttgart Munich New-York Paris

10 mars 2015

3

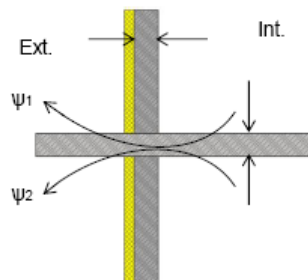
PONTS THERMIQUES_RT 2012

Méthode de calcul de ponts thermiques par rapport au Coefficient linéique (Ψ)
(valeurs par défaut)

- Détail balcon : liaison dalle intérieure et extérieure

ITE 2.2.1

Mur en béton plein (20-25 cm) avec isolation extérieure et dalle en béton (20cm)

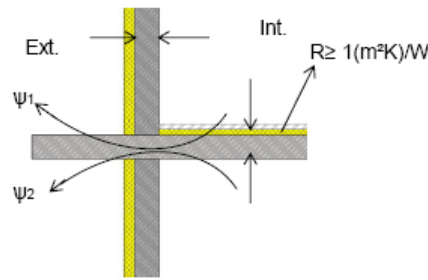


$\Psi = 1,03$

Répartition : $\Psi_1 = 0,5\Psi$ et $\Psi_2 = 0,5\Psi$

ITE 2.2.2

Mur en béton plein (20-25 cm) avec isolation extérieure et dalle en béton (20cm) avec chape flottante sur isolante



$\Psi = 1,03$

Répartition : $\Psi_1 = 0,35\Psi$ et $\Psi_2 = 0,65\Psi$

Majoration : +4% si $R < 1(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$

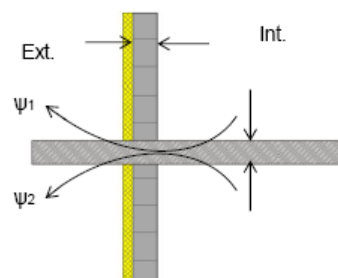
PONTS THERMIQUES_RT 2012

Méthode de calcul de ponts thermiques par rapport au Coefficient linéique (Ψ)
(valeurs par défaut)

- Détail balcon : liaison dalle intérieure et extérieure

ITE 2.2.3

Mur en maçonnerie courante (20-25 cm) avec isolation extérieure et dalle en béton (20cm)



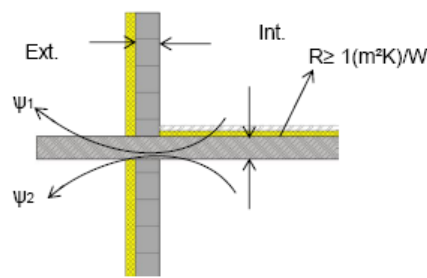
$\Psi = 0,85$

Répartition : $\Psi_1 = 0,5\Psi$ et $\Psi_2 = 0,5\Psi$

Majoration : +5% si chaînage non noyé

ITE 2.2.4

Mur en maçonnerie courante avec isolation extérieure et dalle en béton avec chape flottante sur isolante



$\Psi = 0,85$

Répartition : $\Psi_1 = 0,3\Psi$ et $\Psi_2 = 0,7\Psi$

Majoration : +4% si $R < 1(\text{m}^2\text{K})/\text{W}$
+5% si chaînage non noyé

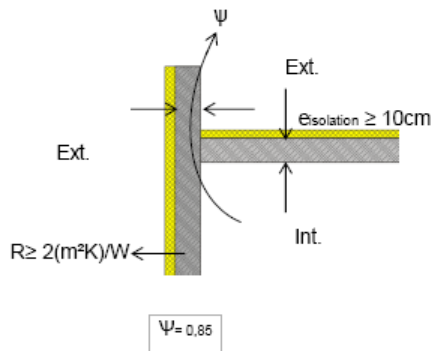
PONTS THERMIQUES_RT 2012

Méthode de calcul de ponts thermiques par rapport au Coefficient linéique (Ψ)
(valeurs par défaut)

- Détail toiture : liaison dalle intérieure et acrotère

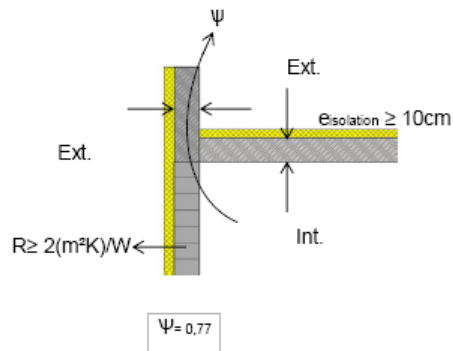
ITE 3.1.1

Mur bas en béton plein (20-25 cm) avec
isolation extérieure et plancher en béton
(20cm) sans remontée d'isolant côté terrasse



ITE 3.1.3

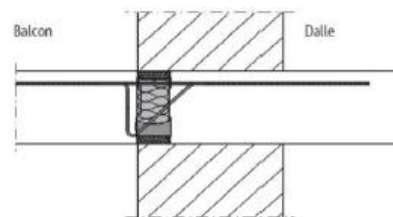
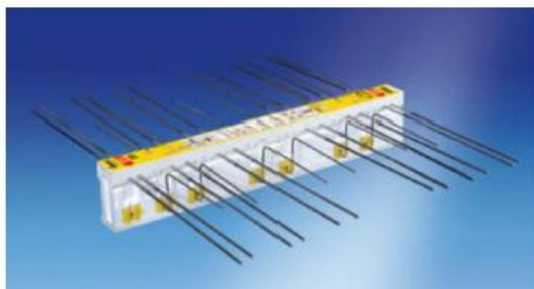
Mur bas en maçonnerie courante (20-25 cm) avec
isolation extérieure et plancher en béton (20cm) sans
remontée d'isolant côté terrasse



RUPTEURS THERMIQUES

Schock Rutherma Modèle K

- Liaison entre la dalle de balcon en porte à feux et la dalle intérieure
- En isolation extérieure ou répartie*.



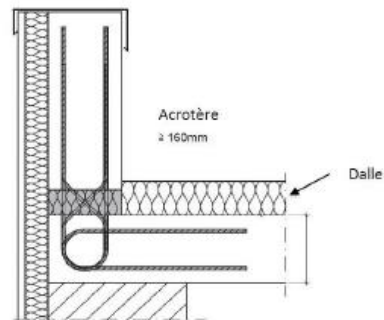
- Epaisseur dalle balcon = 0.18 m
 - Résistance thermique isolation façade < 2.5 m².K/W
 - Mur béton = 180mm
- ➔ $\Psi = 0,17 - 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

* Dalle extérieure d'entre 160 à 200 mm

RUPTEURS THERMIQUES

Schock Rutherma Modèle A

- Liaison entre un acrotère et la dalle intérieure
- En isolation extérieure ou répartie



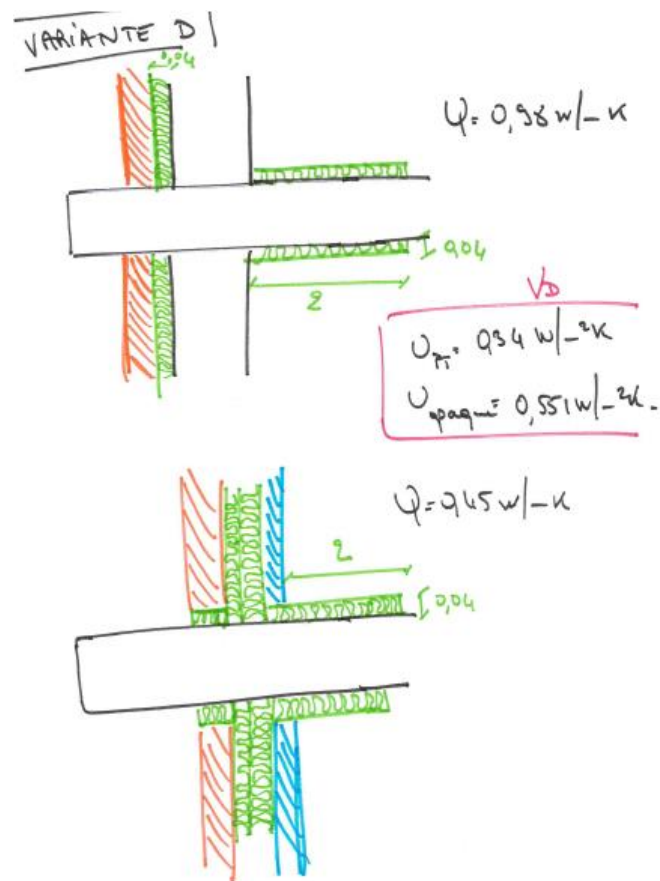
- Acrotère $\geq 0.20m$
 - R90
- $\Psi=0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$**

RUPTEURS THERMIQUES

Tableau comparatif

Détail	Ψ Cas de base (W/m ² K)	Ψ avec rupteur pont thermique (W/m ² K)
Dallage sur terrain plein, mur extérieur béton ou maçonnerie courante	0,98 (ITE 1.1.1)	0,27-0,33 (ITE 1.1.3)
Dalle intérieure-extérieure mur béton	1,03	0,40- 0,17 (Schock Rutherma Modèle K)
Dalle intérieure-extérieure maçonnerie courante	0,85	0,37-0,16 (Schock Rutherma Modèle K)
Acrotère et la dalle intérieure Mur en béton	0,85	0,14 (Schock Rutherma Modèle A)

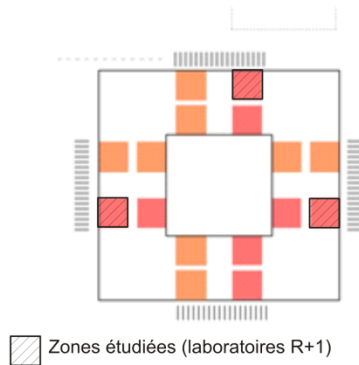
- Le coefficient de transfert thermique U équivalent de la façade avec des murs verticaux en béton atteint 0.5W/m²K sans rupteurs et 0.3W/m²K avec.
- Ces valeurs sont calculés à partir de l'avis technique du CSTB qui prend en compte 10cm d'isolation à 0.04W/mK. La façade envisagée est plus performante, ce qui réduira encore les ponts thermiques.



Proposition retenue de traitement des ponts thermiques sans rupteur au niveau des dalles de planchers des bâtiments d'enseignement et recherche : l'isolant est de type polyuréthane avec une conductivité thermique de l'ordre de 0.022 W/mK .

V.3. Brise-soleil – Bâtiments d’enseignement et recherche

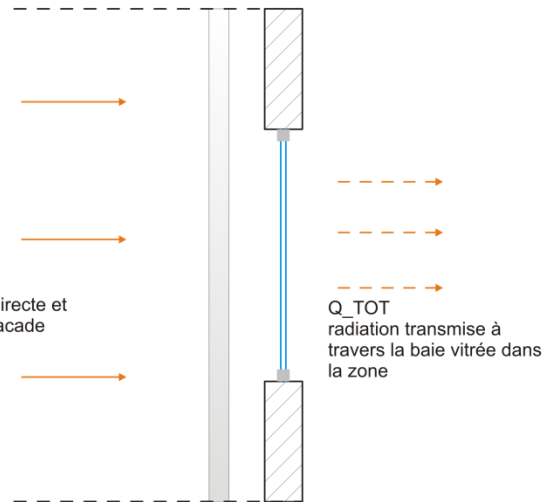
Facteur solaire total - Simulations TRNSYS



Hypothèses de façade

<u>Cadre:</u>	
Taux de cadrage:	10%
Taux de vitrage:	90%
<u>Vitrage:</u>	
g_vitrage:	33.1%
Transmission solaire:	25.9%
Transmission visuelle:	45.5%
Ratio vitrage/facade:	66%

IT
radiation totale (directe et
indirecte) sur la facade



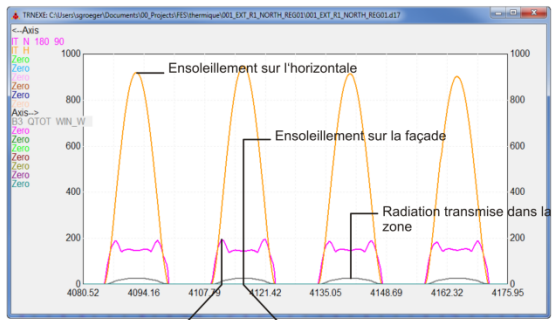
Cette simulation ne prend pas les reflexions sur les éléments d'ombrage extérieur en compte.
Le facteur solaire de la protection solaire fixe varie selon l'angle d'incidence de la radiation.

Calcul du facteur solaire total de la baie vitrée:

$$g_{\text{tot}} = \frac{Q_{\text{TOT}}}{IT} = \frac{\text{radiation transmise dans la zone à travers la baie vitrée}}{\text{radiation incidente sur la facade}} = g_{\text{prot_sol}} \times \text{taux_vitrage} \times g_{\text{vitrage}}$$

Résultats de la période estivale

Facade NORD:



radiation transmise maximale:

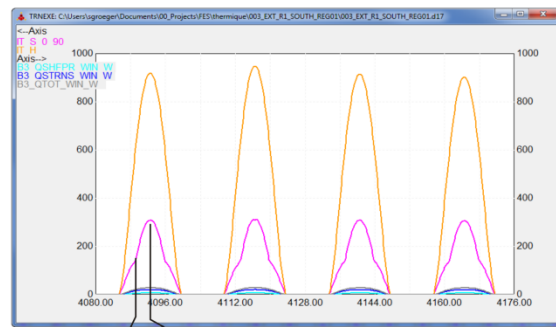
IT_max = 195 W/m²
Q_TOT = 16 W/m²

g_tot = 8%

g_prot_sol = 27%

IT = 145 W/m²
Q_TOT_max = 28 W/m²
g_tot_max = 19%
g_prot_sol = 64%

Facade SUD:



radiation transmise maximale:

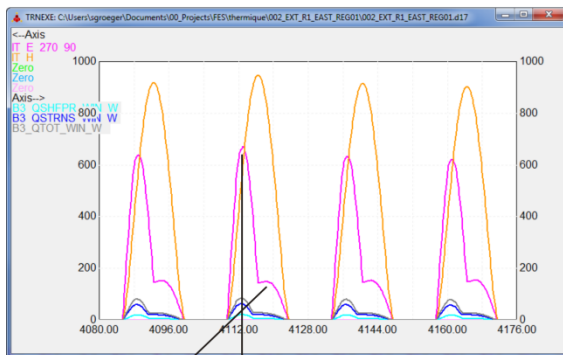
IT = 115 W/m²
Q_TOT = 17 W/m²

g_tot = 15%

g_prot_sol = 50%

IT = 312 W/m²
Q_TOT_max = 29 W/m²
g_tot_max = 9%
g_prot_sol = 30%

Facade EST:



radiation transmise maximale:

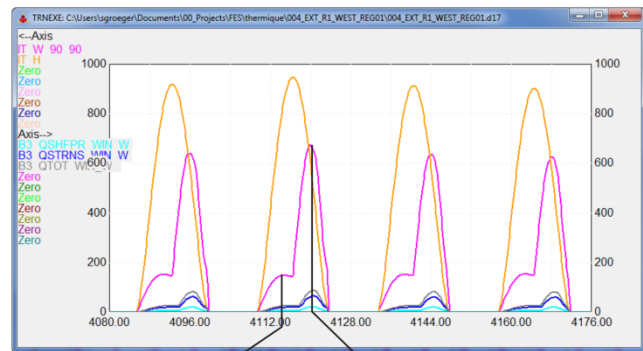
IT = 152 W/m²
Q_TOT = 26 W/m²

g_tot = 17%

g_prot_sol = 57%

IT = 673 W/m²
Q_TOT_max = 85 W/m²
g_tot_max = 13%
g_prot_sol = 44%

Facade OUEST:



radiation transmise maximale:

IT = 148 W/m²
Q_TOT = 25 W/m²

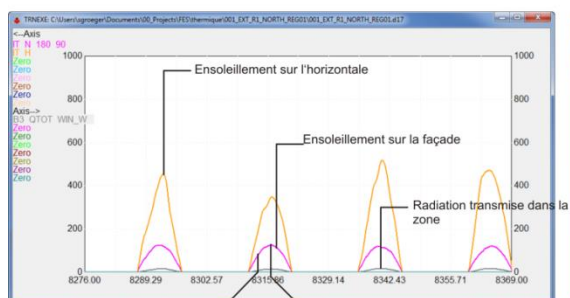
g_tot = 17%

g_prot_sol = 57%

IT = 660 W/m²
Q_TOT_max = 89 W/m²
g_tot_max = 13%
g_prot_sol = 44%

Résultats de la période hivernale

Facade NORD:

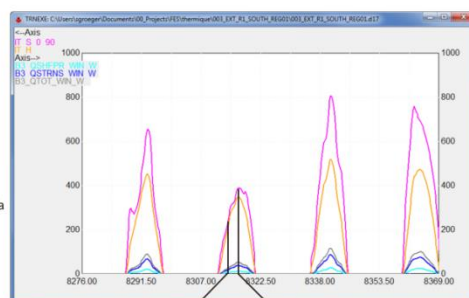


radiation transmise maximale:

IT = 84 W/m²
Q_TOT = 10 W/m²
g_tot = 12%
g_prot_sol = 40%

IT = 126 W/m²
Q_TOT_max = 15 W/m²
g_tot_max = 12%
g_prot_sol = 40%

Facade SUD:

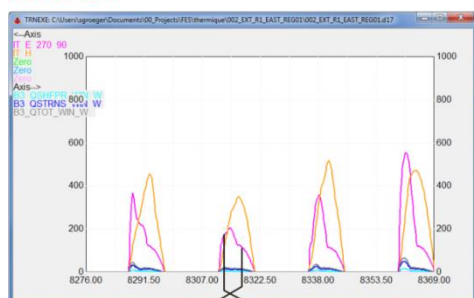


radiation transmise maximale:

IT = 247 W/m²
Q_TOT = 28 W/m²
g_tot = 11%
g_prot_sol = 37%

IT = 390 W/m²
Q_TOT_max = 54 W/m²
g_tot_max = 14%
g_prot_sol = 47%

Facade EST:

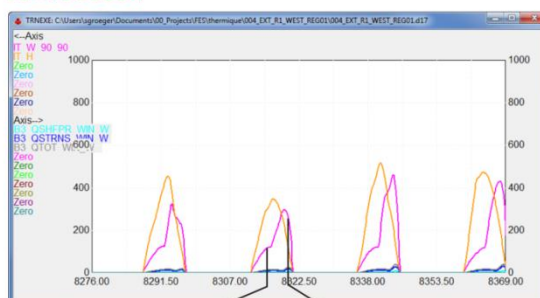


radiation transmise maximale:

IT = 111 W/m²
Q_TOT = 15 W/m²
g_tot = 14%
g_prot_sol = 47%

IT = 180 W/m²
Q_TOT_max = 22 W/m²
g_tot_max = 12%
g_prot_sol = 40%

Facade OUEST:



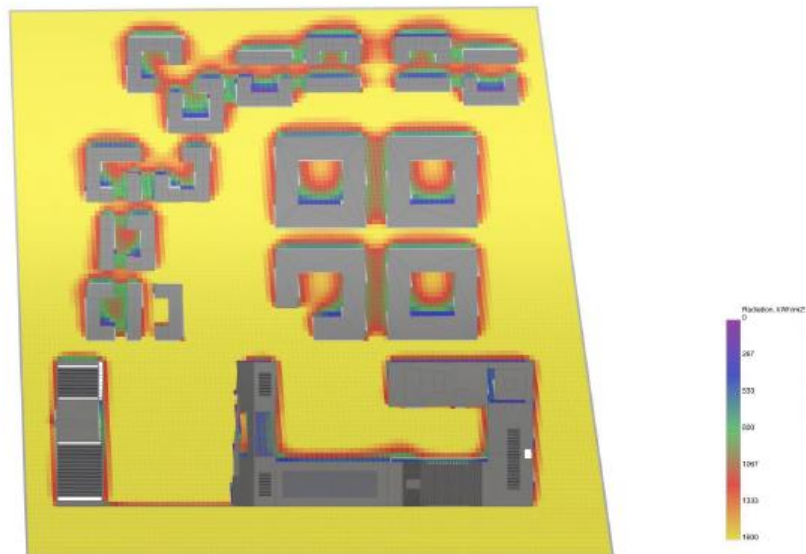
radiation transmise maximale:

IT = 117 W/m²
Q_TOT = 14 W/m²
g_tot = 12%
g_prot_sol = 40%

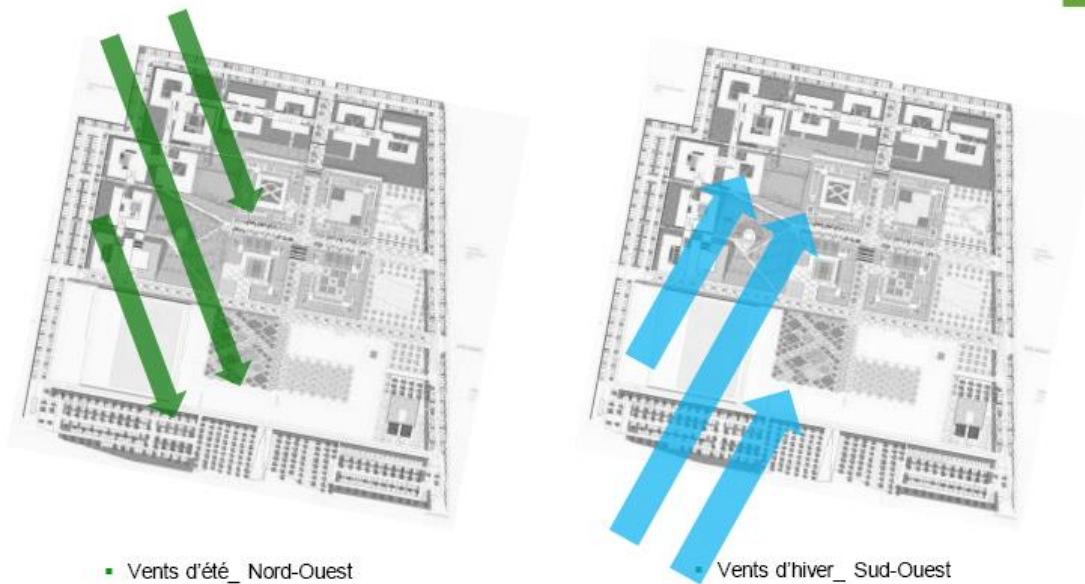
IT = 259 W/m²
Q_TOT_max = 26 W/m²
g_tot_max = 10%
g_prot_sol = 34%

V.4. Confort extérieur

CONDITIONS CLIMATIQUES_ IRRADIATION SOLAIRE_21 JUIN

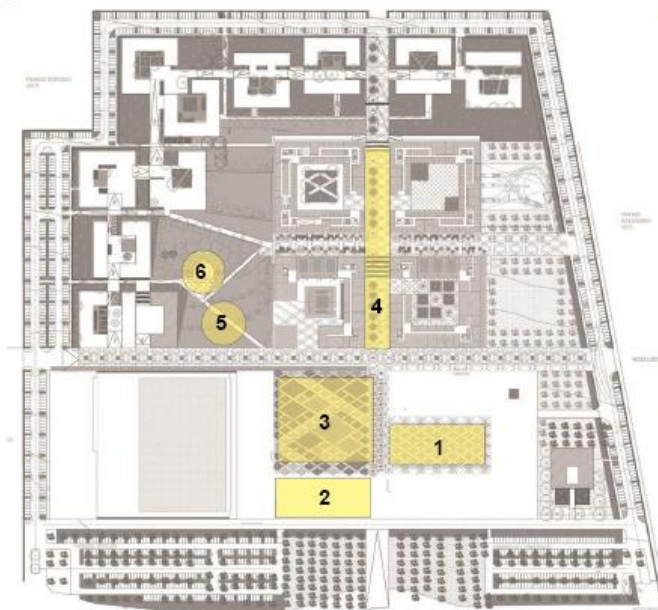


CONDITIONS CLIMATIQUES_ VENTS

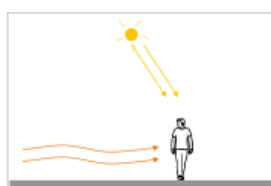


PLAN DES ESPACES EXTÉRIEURS

- 1_Cour Administrative
- 2_Forum
- 3_Jardin d'honneur
- 4_Cardo
- 5_Pelouse
- 6_Amphithéâtre

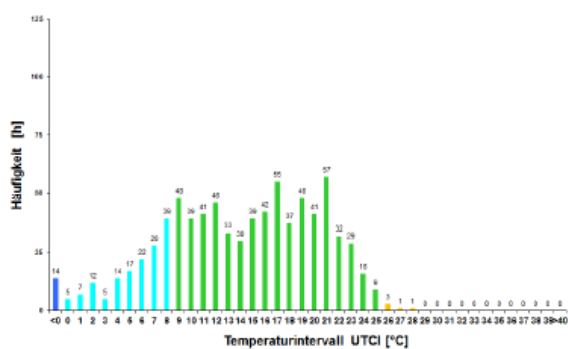


1. COUR ADMIN_BASE

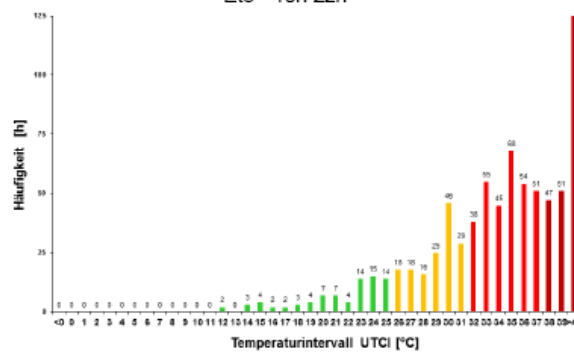


- Sol de pierre
- Sans ombre
- Pas de protection au vent

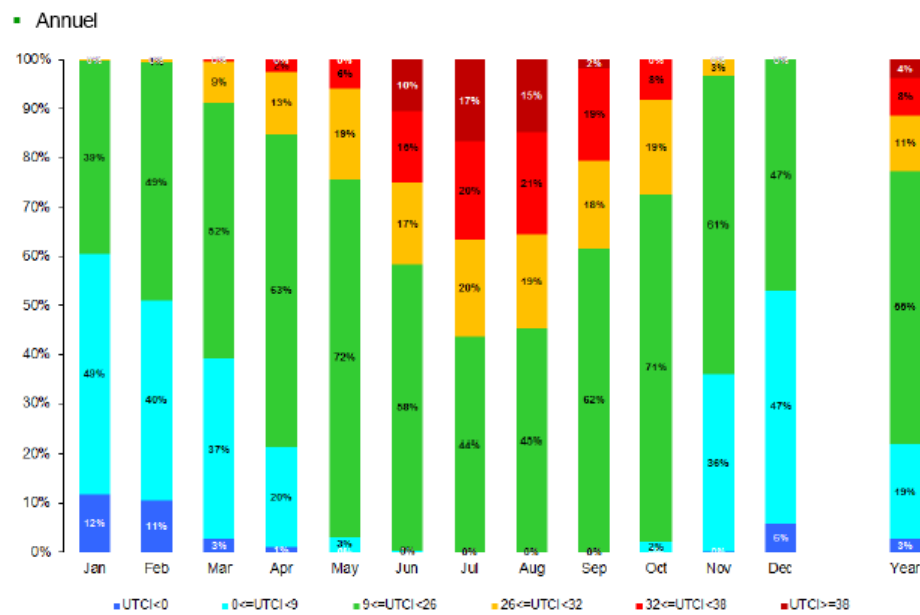
■ Hiver - 10h 22h



■ Eté - 10h 22h



1. COUR ADMIN BASE



1. COUR ADMIN_VARIANTES

■ Été

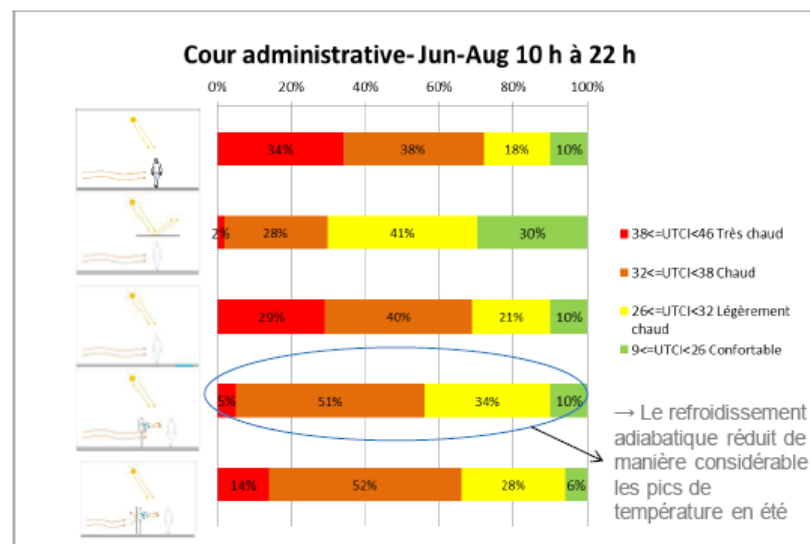
Base

Ombre

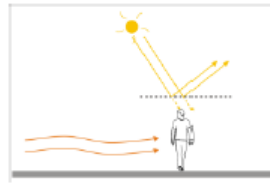
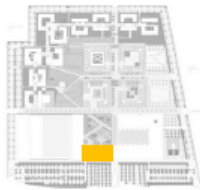
Adiabatique_bassin-0.1

Adiabatique_brumisateur-0.4

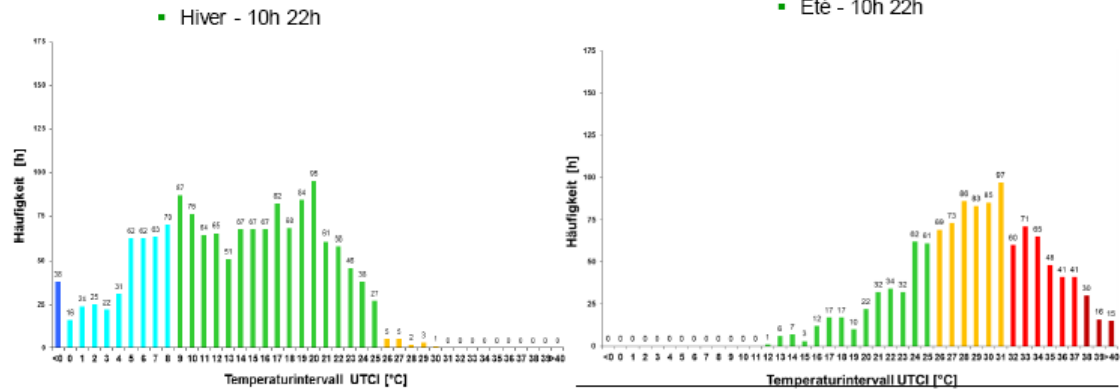
Adiabatique 0.4 et paravent



2. FORUM_BASE



- Sol clair
- 50% d'ombrage
- Vent

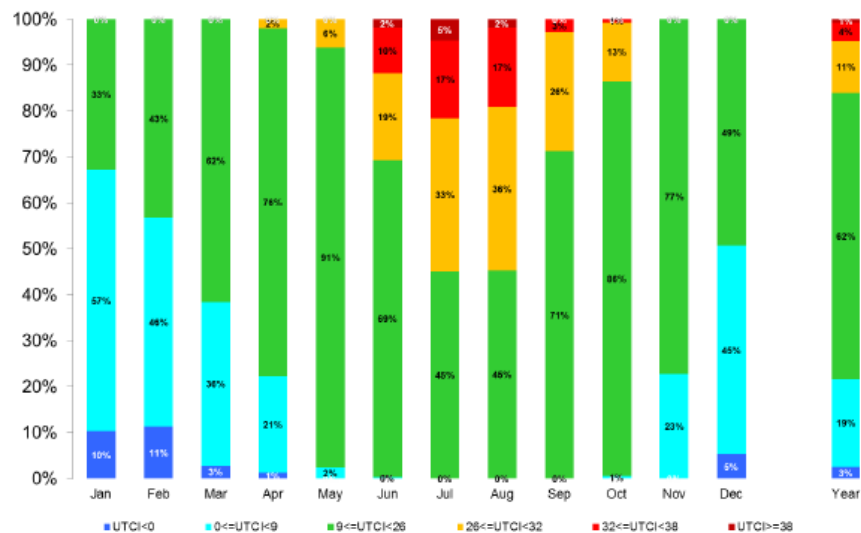


14 avril 2015

9

2. FORUM_BASE

■ Annuel

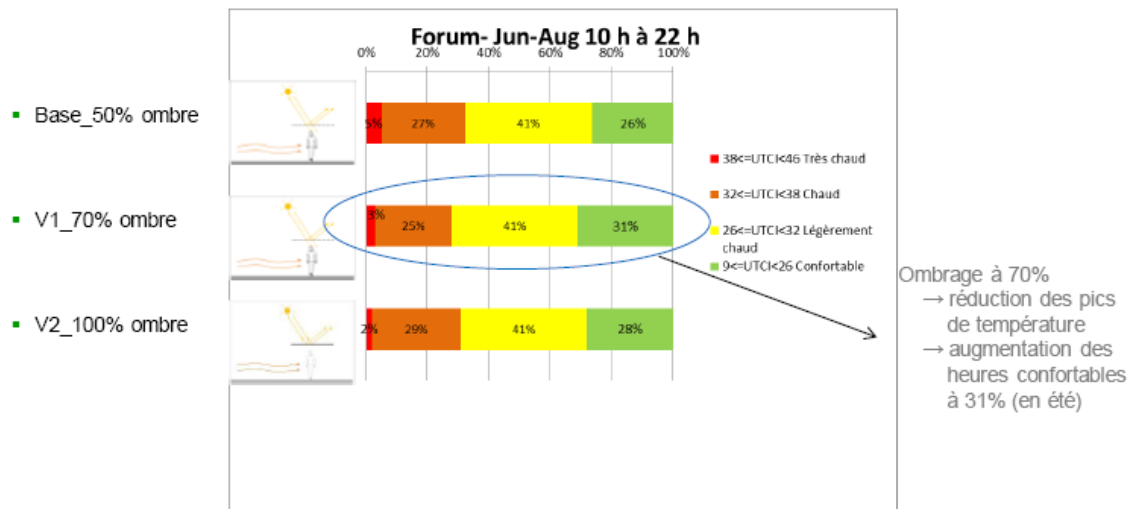


TRANSSOLAR KlimaEngineering | Stuttgart Munich New-York Paris

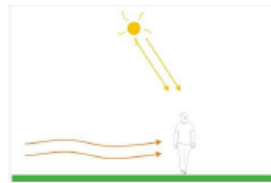
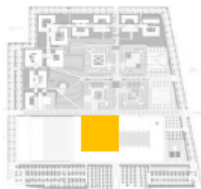
14 avril 2015

10

2. FORUM _ VARIANTES

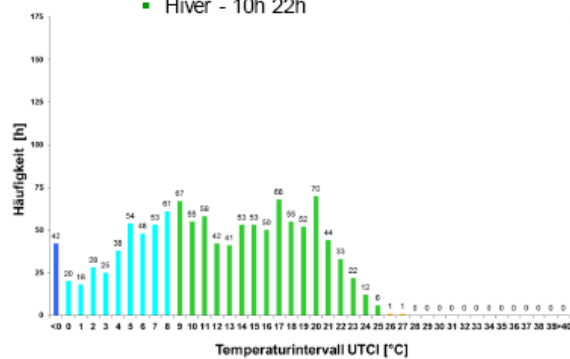


3. JARDIN D'HONNEUR_ BASE

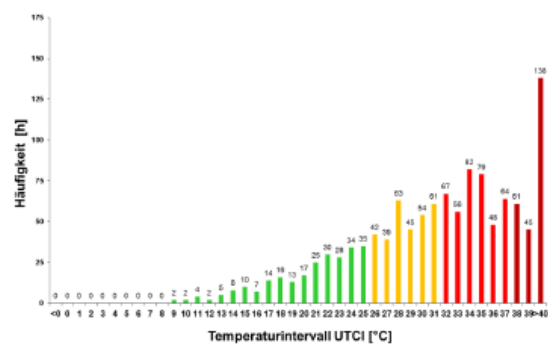


- Végétation + sol clair
- Vent

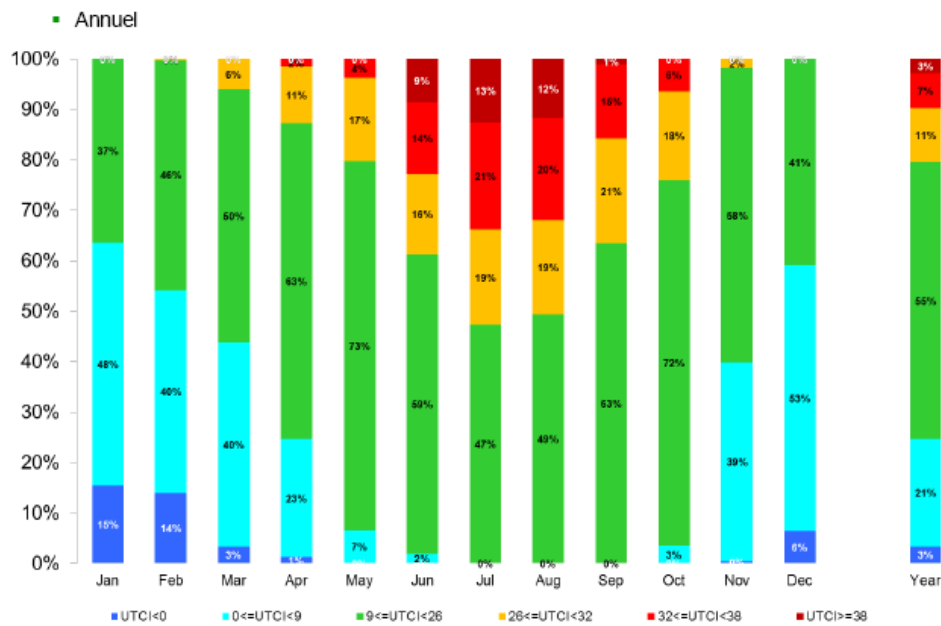
■ Hiver - 10h 22h



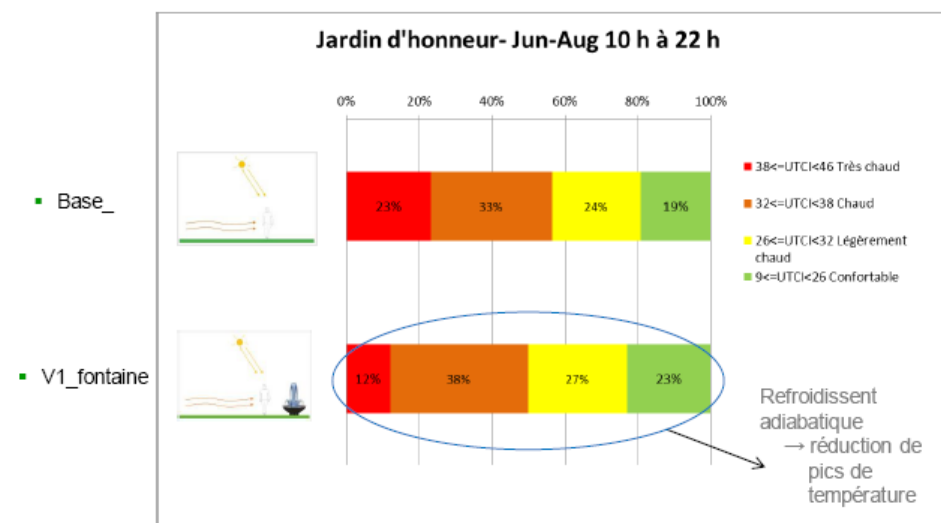
■ Été - 10h 22h



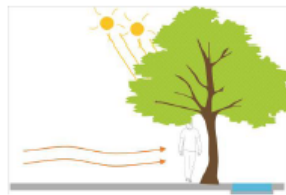
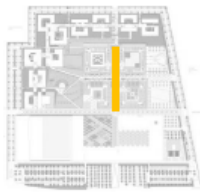
3. JARDIN D'HONNEUR_ BASE



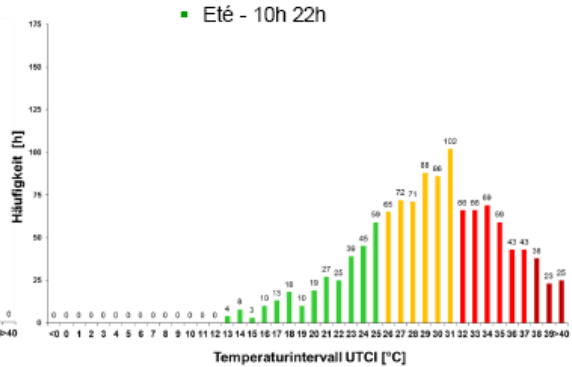
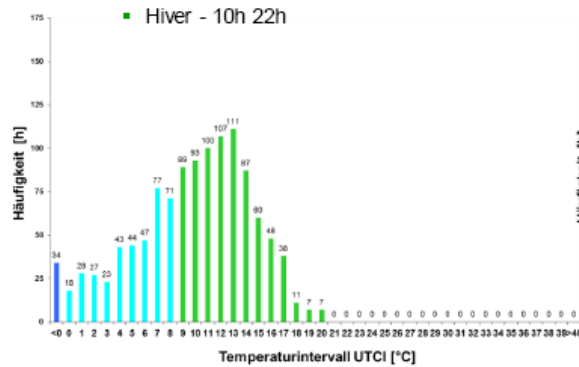
3. JARDIN D'HONNEUR_ VARIANTES



4. CARDO_BASE

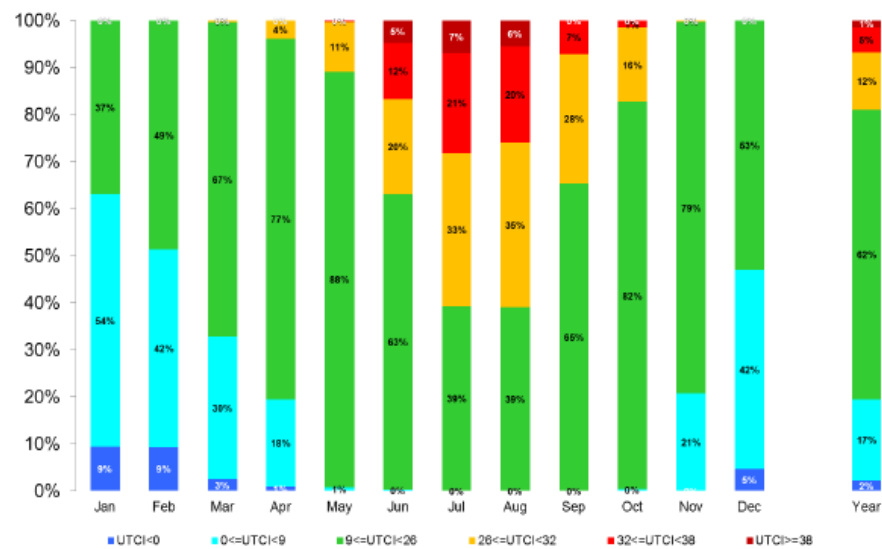


- Sol clair + végétation
- Ombres des façades
- Arbres
- Eau calme
- Vent



4. CARDO_BASE

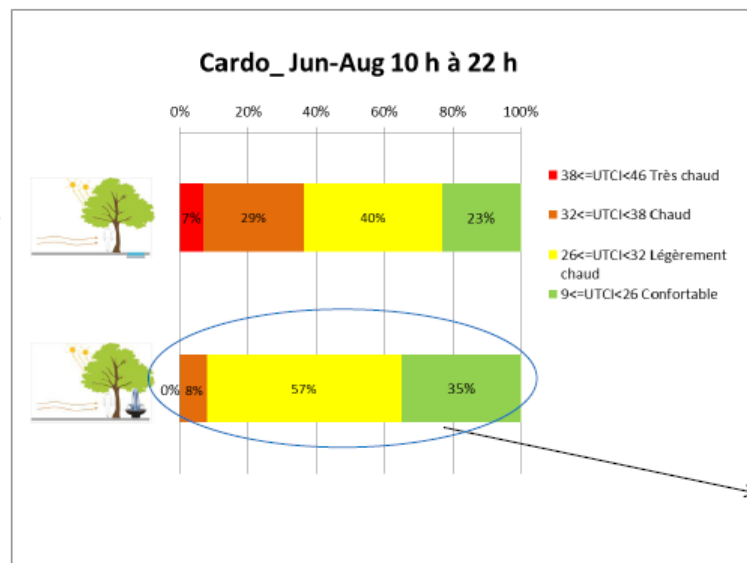
■ Annuel



4. CARDO_VARIANTES

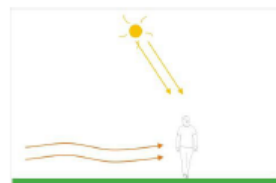
■ Base_eau calme

■ V1_eau en mouvement



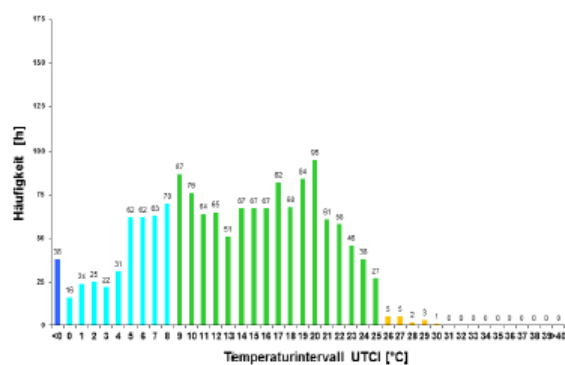
Refroidissent adiabatique
→ réduction des pics de température
→ augmentation des heures confortables à 35% (en été)

5. PELOUSE_BASE

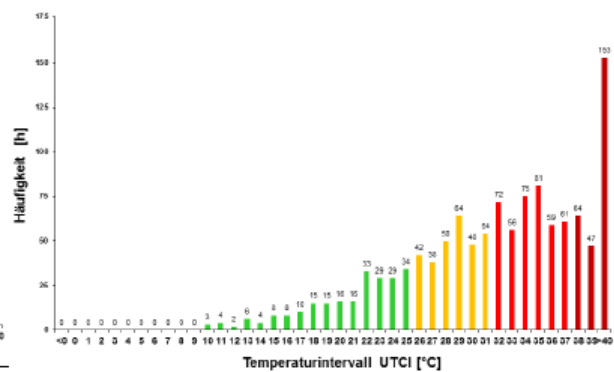


- Végétation sans ombrage
- Vent

■ Hiver - 10h 22h

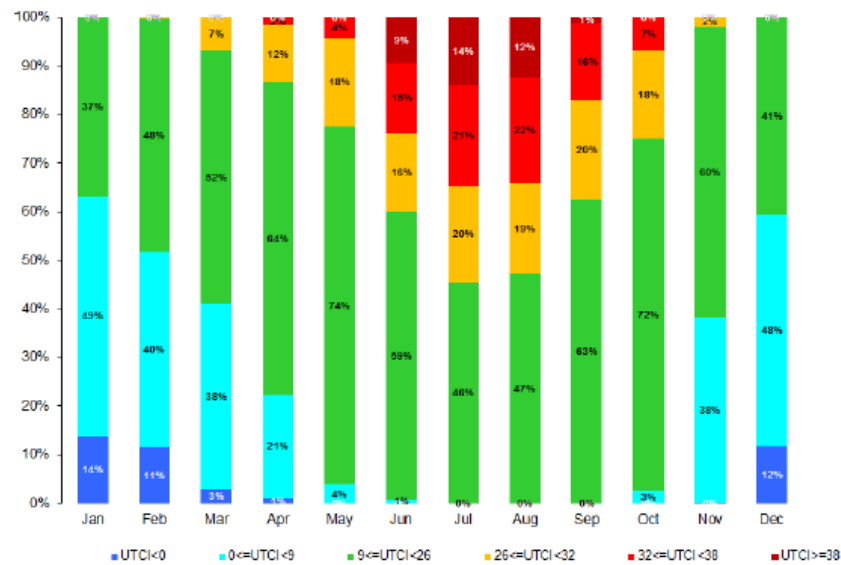


■ Eté - 10h 22h



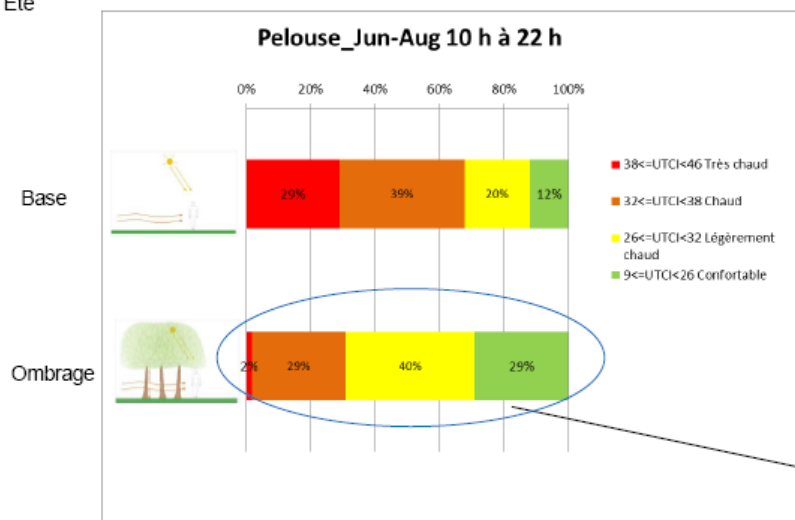
5. PELOUSE_BASE

■ Annuel



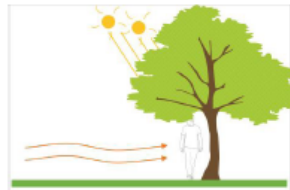
5. PELOUSE_VARIANTES

■ Été

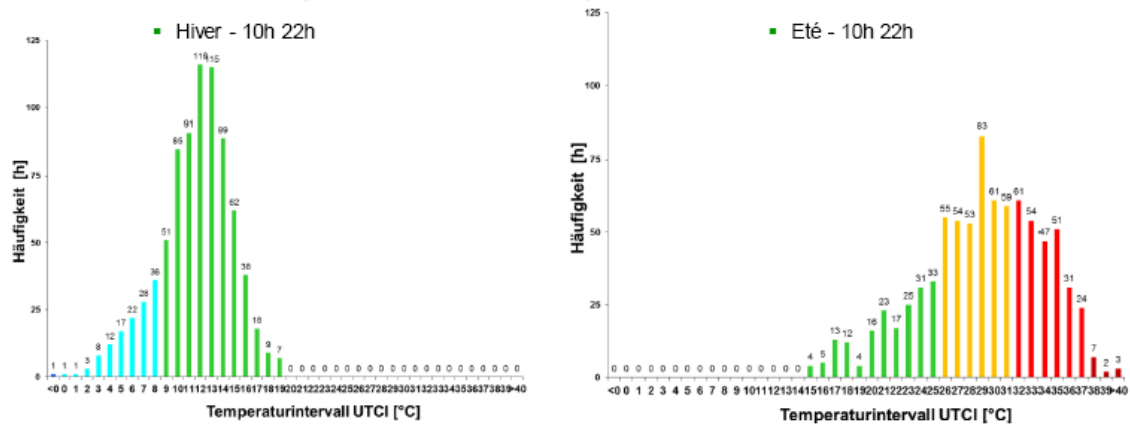


L'augmentation de la densité des arbres permet le passage des vents et réduit l'impact du rayonnement solaire
 → réduction des pics de température
 → augmentation des heures confortables à 29% (en été)

6. AMPHITHEATRE_BASE



- Végétation
- Sombres des arbres
- Vent



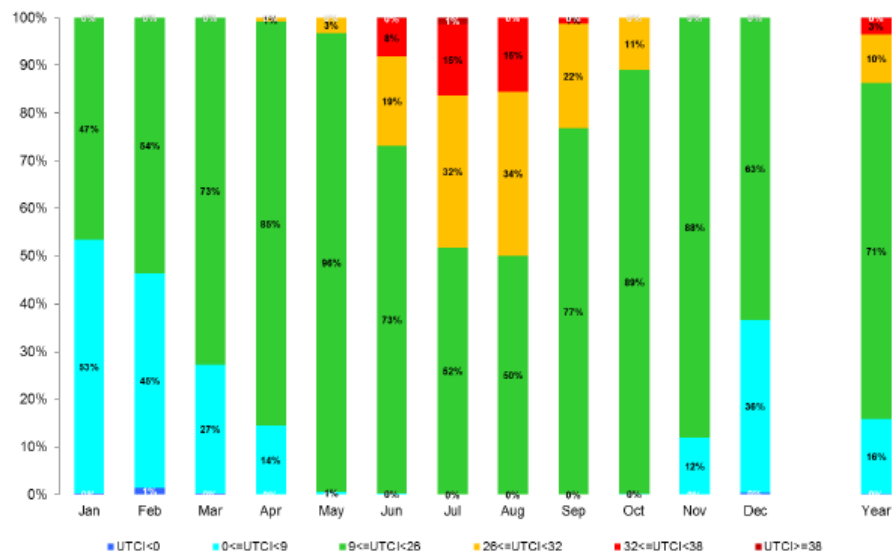
TRANSSOLAR KlimaEngineering | Stuttgart Munich New-York Paris

14 avril 2015

27

6. AMPHITHEATRE_BASE

■ Annuel



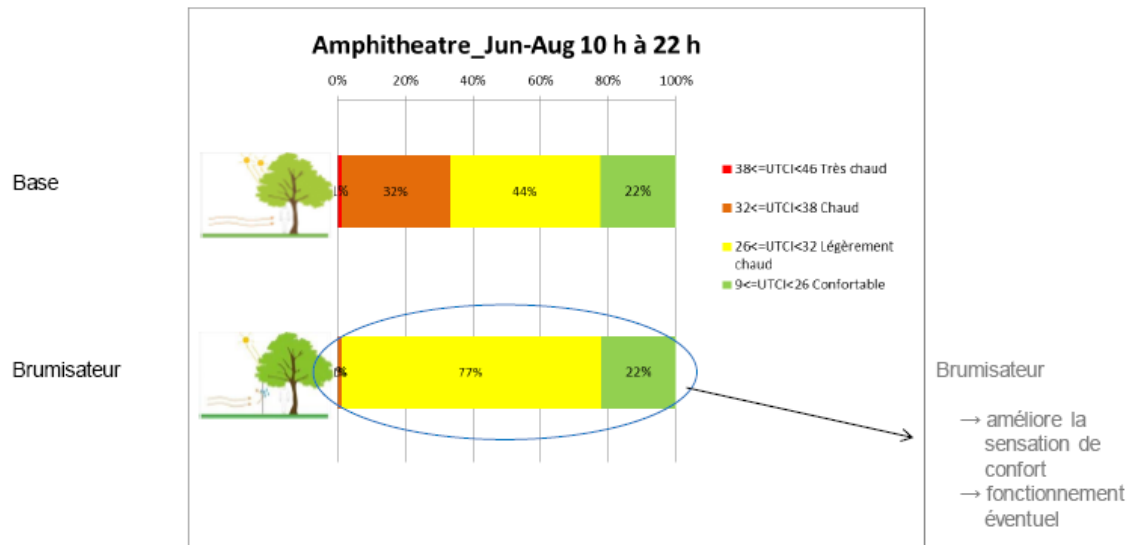
TRANSSOLAR KlimaEngineering | Stuttgart Munich New-York Paris

14 avril 2015

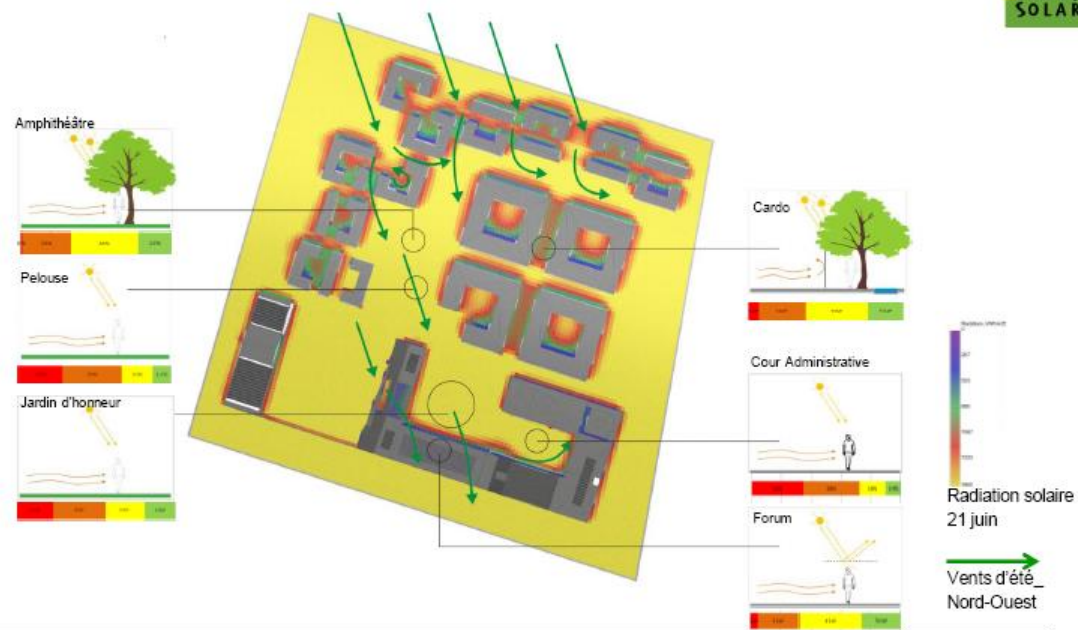
28

6. AMPHITHEATRE_VARIANTES

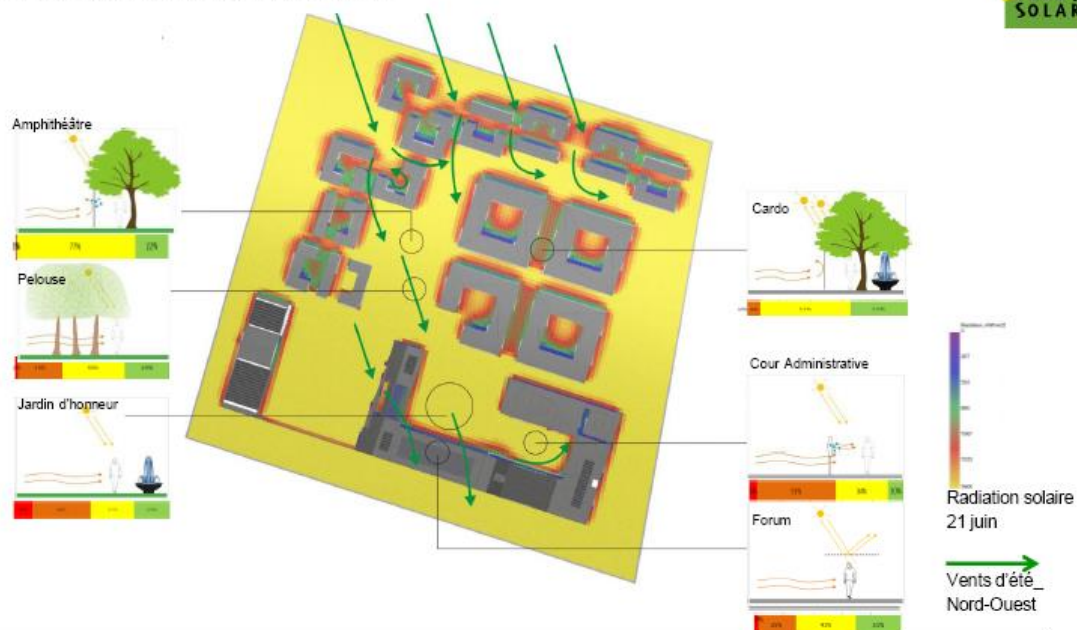
■ Été



COMFORT D'ETE_BASE



COMFORT D'ETE_RECOMENDATIONS



TRANSOLAR KlimaEngineering | Stuttgart Munich New-York Paris

14 avril 2015

31

CONCLUSIONS

- Les fontaines et les dispositifs brumisateurs permettent l'abaissement de la température de l'air par rafraîchissement adiabatique
- Leur incorporation permet d'améliorer significativement le confort thermique dans le période estival dans les espaces extérieurs qui n'ont pas de protections solaires : Cour Administrative, Jardin d'Honneur, Cardio.
- Favoriser les ombrages et les augmenter dans les espaces où ils sont prévus : Forum, avec l'augmentation du facteur d'ombre; Pelouse, avec l'augmentation de la densité des arbres
- Il est important de noter que les arbres contribuent au même phénomène du rafraîchissement adiabatique par évapotranspiration

RANSOLAR KlimaEngineering | Stuttgart Munich New-York Paris

14 avril 2015

32

V.5. Cahier des charges technique des tests de réponse thermique du sol nécessaires



Consulting en Ingénierie environnementale

Université Euro-Méditerranéenne de Fès

Tests géothermie

Version: 01
Date: 27 Février 2015

Arnaud Billard

TRANSSOLAR SAS
11-13 Rue Martel
75010 Paris
<http://www.transsolar.com>

Table of content:

1	Préambule.....	81
2	Test de pompage eau de nappe	82
2.1	Objet des tests :.....	82
2.2	Résultats des tests à présenter :	82
2.3	Schéma:	82
3	Test de réponse thermique	83
3.1	Objet des tests:.....	83
3.2	Résultats des tests à présenter :	83
3.3	Photos et schémas:.....	84

Preamble

Le but de ce document est de décrire les points principaux constitutifs des résultats attendus des tests de géothermie à réaliser sur le site du projet de l'UEMF. Ces deux tests permettront d'accéder aux potentiels énergétiques du sol, dans le cadre d'une mise en œuvre d'une pompe à chaleur géothermique. Les deux tests sont :

- Tests de pompage de la nappe phréatique
- Tests de réponse thermique du sol

Dans les deux études, le concept envisagé est la mise en place d'une pompe à chaleur de façon à alimenter, tant que faire se peut, le projet via des énergies renouvelables. Les tests devront permettre d'accéder aux capacités thermiques de la nappe et du sol, de façon à prendre une décision sur la pertinence de ces installations dans le cadre du projet envisagé.

Test de pompage eau de nappe

OBJET DES TESTS :

Les tests de pompage de nappe permettront de connaître exactement la nature de la nappe phréatique et son potentiel énergétique. L'objectif étant par ces tests de juger et jauger de la pertinence de la mise en œuvre d'une pompe à chaleur sur nappe pour le projet.

RESULTATS DES TESTS A PRESENTER :

Les points constitutifs des tests de pompage sont :

- Description des modes opératoires des tests de pompage
- Description des couches géologiques du site
- Profondeur, quantité et qualité des eaux souterraines sur site
- Direction des flux d'eaux souterraines sur site
- Spécification des attendues des fluctuations au regard des températures et directions
- Dimensionnement des puits de puisage et de réinjection et distance entre puits de puisage et de réinjection de façon à éviter toute interaction entre eux (pollution thermique).
- Analyse des tests de pompage indiquant :
 - >>> Température des eaux pompées : lors des pompages et estimation de l'évolution de la température d'eau sur une période annuelle ;
 - >>> Le débit maximum utilisable sur site ;
 - >>> Le rabattement de nappe post pompage de longue durée ;
 - >>> La pollution des eaux pompées ;
 - >>> La différence de température maximale atteignable sur site pour réinjection ;
 - >>> L'estimation des puissances obtenues à partir des résultats d'une pompe à chaleur sur nappe.

SCHEMA:

La figure ci-dessous présente le fonctionnement schématisé d'une pompe à chaleur sur nappe :

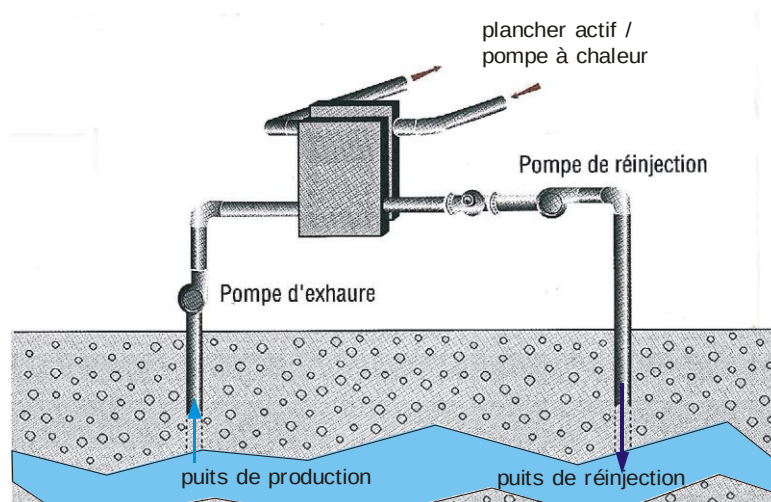


Schéma: utilisation de la nappe phréatique via une pompe à chaleur

Test de réponse thermique

OBJET DES TESTS:

Les tests de réponse thermique permettront de connaître exactement le potentiel énergétique du sol, dans le cadre de la mise en œuvre d'un système de pompe à chaleur relié à un système de sonde énergétique et/ou de pieux énergétique pour le projet.

RESULTATS DES TESTS A PRESENTER :

Les points constitutifs des tests de pompage sont :

- Description hydrogéologique et géologique du sol
- Température de la terre avec l'injection de chaleur
- Tests de conductivité thermique permettant d'accéder aux informations que sont :
 - Températures du fluide (départ – retour) en fonction du débit et du temps
 - Identification de la conductivité thermique du sol (fournir le taux de transfert de chaleur en W/m°K ou Btu/hr ft F)
- Fournir des recommandations sur la profondeur des sondes énergétiques pour le système géothermique envisagé.

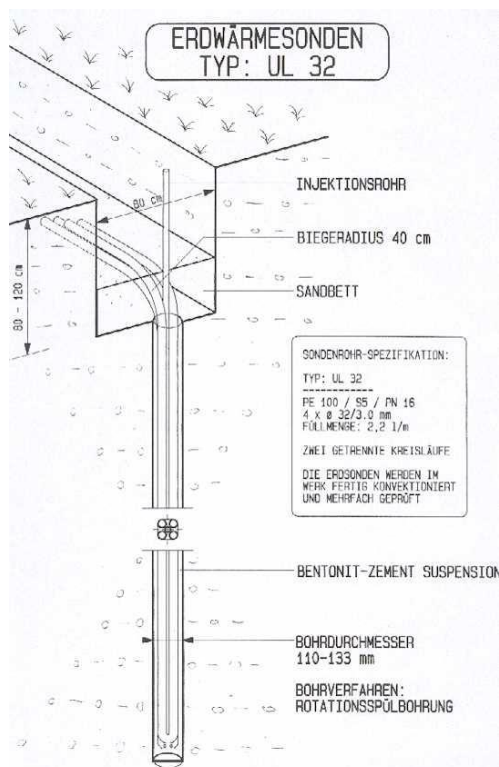
Les puissances estimées pourront être fournies à l'entreprise qui réalise les tests de façon à identifier les besoins envisagés du projet.

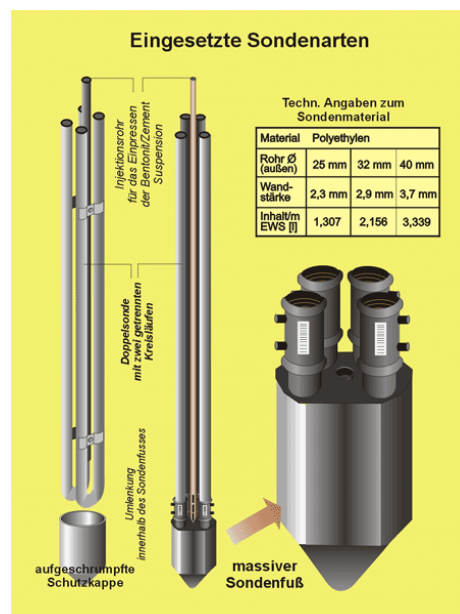
Photos et schémas:

Les photos ci-dessous présentent des sondes énergétiques et des pieux énergétiques :



Photos: pieux énergétiques (activation thermique des pieux de fondation)





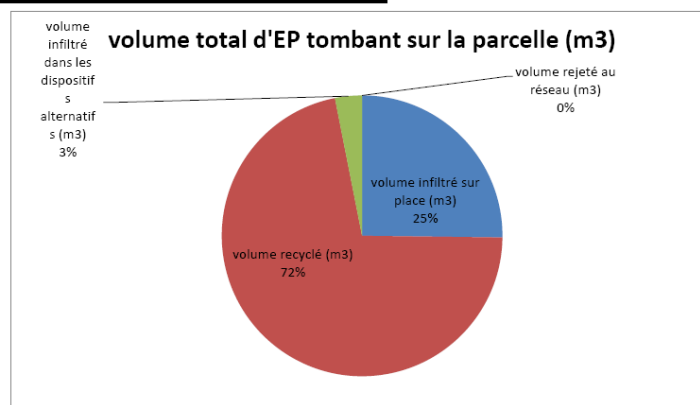
Photos et schémas: sondes énergétiques

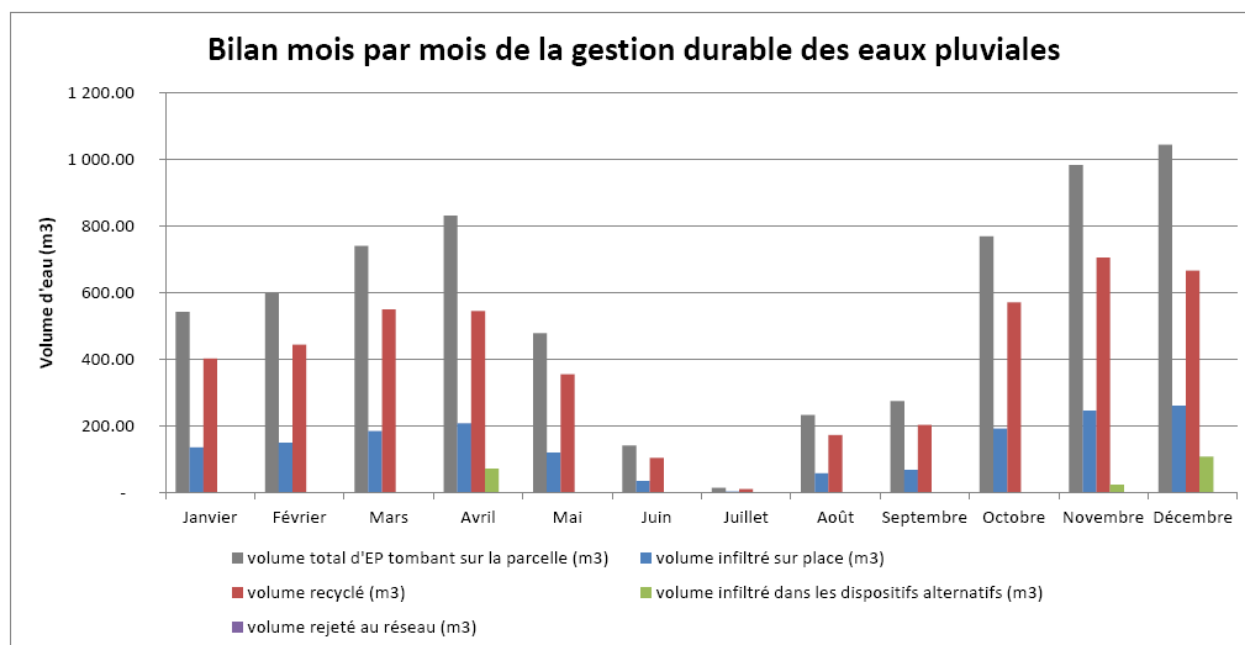
V.6. Gestion des eaux pluviales – Bâtiment d'enseignement

Gestion durable de l'assainissement

Volume annuel d'EP tombant sur la parcelle (m3) :	6 655.82		
dont infiltré sur place (m3) :	1 663.96		
dont ruisselé (m3) :	4 991.87	dont recyclé pour consommation (m3):	4 737.06
		dont infiltré dans les dispositifs alternatifs (m3) :	204.88
		dont rejeté au réseau (m3) :	-

Pourcentage d'eau pluviale non rejetée au réseau annuellement (%) (exigence HQE) = 100%





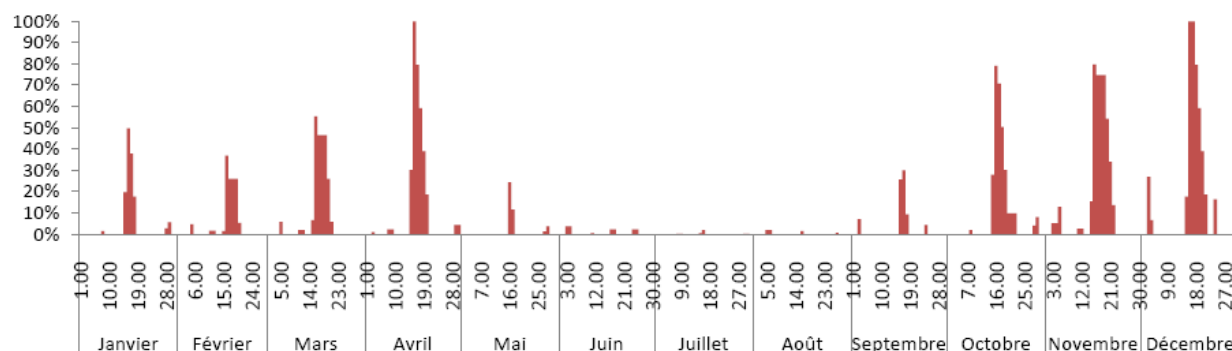
Bilan projet

Total surface (m ²) :	41167
Total des besoins annuels d'eau (m3) :	41564
Total des besoins annuels en eau non potable (arrosage, nettoyage, WC, lavage du linge) (m3) :	18573
Total des besoins en EP (définis dans 'Surface activités') (m3) :	18573
Besoins effectivement couverts par des EP (m3) :	4737
Pourcentage de couverture des besoins en EP (%) :	25.5%
Pourcentage de couverture des besoins en eau non potable par des EP (%) (exigence HQE) :	25.5%

Bilan Triple citerne Bâtiments d'enseignement

Mois	Taux de remplissage moyen	Taux de recouvrement moyen	Taux de remplissage moyen (2e année)	Taux de recouvrement moyen (2e année)
Janvier	4%	25%	4%	25%
Février	5%	31%	5%	31%
Mars	8%	35%	8%	35%
Avril	11%	36%	11%	36%
Mai	1%	22%	1%	22%
Juin	1%	7%	1%	7%
Juillet	0%	1%	0%	1%
Août	0%	11%	0%	11%
Septembre	3%	14%	3%	14%
Octobre	10%	35%	10%	35%
Novembre	15%	45%	15%	45%
Décembre	15%	45%	15%	45%
Moyenne ou total	6%	25%	6%	25%
Evolution annuelle				

Taux de remplissage de la citerne 1ère année (%)



Taux de recouvrement des besoins en EP 1ère année (%)

