

PROJET METAMORPHOSE

CONCEPT ÉNERGÉTIQUE POUR LE QUARTIER DURABLE DES PLAINES-DU-LOUP



Version 1 - édition mars 2010

Table des matières

Préambule	4
Résumé à l'attention des décideurs & planificateurs	10
Eco gestion des eaux	18
Matériaux	28
Climat intérieur & eau chaude sanitaire	38
Lumière & appareils électriques	52
Mobilité induite	60
Ressources & systèmes de conversion d'énergie	70
Synthèse et analyse du cycle de vie du quartier	86
Annexe 1 «Eco gestion des eaux»	92
Annexe 2 «Matériaux»	93
Annexe 3 «Climat intérieur & eau chaude sanitaire»	95
Annexe 4 «Lumière & appareils électriques»	96
Annexe 5 «Mobilité induite»	98
Annexe 6 «Projet MEU»	99
Annexe 7 «Tour d'horizon de cinq éco-quartiers européens»	101
Glossaire	108
Bibliographie	112

Pilotage

Liman Ulrick, *Responsable de l'unité bâtiments durables* - SLG - CLP - Ville de Lausanne

Georges Ohana, *unité développement stratégique* - SIL - Ville de Lausanne

Equipe

Rémi Bouilloux, *Ingénieur en physique du bâtiment*. **Climat intérieur et ECS, Lumière et appareils électriques**

Henri Burnier, *Ingénieur EPFL*. **Eau potable**

Thierry Dewarrat & Franck Reinhardt, *Ingénieurs EPFL*. **Ressources et systèmes de conversion d'énergie**

Ulrick Liman, *Ingénieur en physique du bâtiment*. **Matériaux & énergie grise, Mobilité Induite, Synthèse & analyse du cycle de vie du quartier**

Georges Ohana, *Ingénieur EPFL*. **Coordination lausanne avec le projet MEU (Management Energétique Urbain)**

Dominique Zürcher, *Ingénieur EPFL*. **Eco-gestion des eaux**

Collaboration

Daniel Litzistorf, *Ingénieur EPFL*. **Coordination avec l'étude d'impact environnementale sur les Plaines-du-Loup**

Darren Robinson, *Prof., Dr. en physique du bâtiment*. *Leso PB - EPFL*. **Outil de simulation City Sim, Tour d'horizon de cinq éco-quartiers européens**

Ville de Lausanne

Direction de la culture, du logement et du patrimoine

Service du logement et des gérances, unité bâtiments durables

Services industriels lausannois

Unité développement stratégique

Direction des travaux

EauService, Service d'assainissement, Office de coordination des risques environnementaux

Concept énergétique édition mars 2010 disponible sous www.lausanne.ch/ecoquartier

Préambule

1. Contexte

Le rapport-préavis n° 2007/19 « Projet Métamorphose » définit une réflexion globale et approfondie sur la manière de réaliser de grands équipements utiles à Lausanne et sa région. Cette réflexion se décline en quatre grands axes de travail que sont : la redistribution de nombreuses installations sportives sur le territoire, la réactualisation du projet de nouvel axe de transport public desservant le nord, la mise en place d'une procédure de participation citoyenne innovante et enfin, la réalisation d'un éco-quartier situé sur le secteur Pontaise - Blécherette, le long de la route des Plaines-du-Loup.

Le rapport-préavis mentionné ci-dessus a permis de définir treize principes de durabilité intégrant les aspects sociaux, économiques et environnementaux d'un quartier. S'agissant du domaine environnemental, voici les postulats de la Ville de Lausanne :

* *Préservation du sol et de la biodiversité*

Contenir l'étalement urbain en favorisant une densification raisonnée impliquant une valorisation optimale et cohérente du sol. Il s'agira de trouver le juste équilibre entre les espaces construits, d'une part, et les espaces naturels de qualité, garants du maintien de la biodiversité animale et végétale, d'autre part.

* *Eco gestion de l'eau*

Restaurer le cycle naturel de l'eau et préserver la ressource locale en eau douce. Appliquer des mesures d'efficacité quant à l'utilisation de l'eau potable et de précaution quant à la gestion des eaux pluviales (valorisation, rétention, infiltration). Encourager une gestion soutenable de la ressource en eau potable et des eaux usées dans le quartier.

* *Tendance zéro déchet*

Réduire les flux de déchets générés durant toutes les phases de vie du quartier, depuis la construction jusqu'à la démolition. Favoriser les matériaux et produits dont l'analyse du cycle de vie les révèle comme étant performants de ce point de vue (optimisation des parts recyclées et/ou recyclables dans la constitution des matériaux, etc.). Il s'agira également de rendre le tri des déchets ménagers ergonomique et systématique, voire d'encourager le compostage des déchets verts dans le quartier. Le flux résiduel devra être valorisé soit dans les filières de recyclage soit énergétiquement.

* *Matériaux locaux et durables*

Transformer l'utilisation, voire l'offre de matériaux de construction, afin d'aboutir à un impact positif tant sur l'environnement que sur l'économie locale.

Il s'agira dans un premier temps de réduire la consommation de matériaux en adoptant un concept constructif simple, flexible et fonctionnel puis, dans un second temps, de favoriser les matériaux locaux, réutilisés, recyclés et renouvelables. Cette démarche systématique permettra de réduire le contenu en énergie grise des bâtiments, les émissions dues aux transports, d'encourager le tissu économique local et la valorisation des ressources indigènes.

* *Zéro carbone et qualité de l'air*

Développer un concept énergétique de quartier neutre du point de vue du réchauffement climatique et des pollutions locales de l'air. Systématiser les bâtiments énergétiquement sobres, efficaces et renouvelables : architecture bioclimatique, techniques de production et de distribution de l'énergie à haut rendement exergétique, mesures de limitation des pollutions atmosphériques et des pollutions de l'air intérieur aux bâtiments. Une attention particulière sera portée sur les éventuelles synergies énergétiques entre les différents producteurs et consommateurs dans le périmètre du quartier, voire dans son voisinage immédiat (gestion cyclique des ressources énergétiques, gestion en cascade de la chaleur, etc.).

* *Transports durables*

Déconditionner le réflexe de la voiture particulière en prenant des mesures d'encouragement vis-à-vis des modes de transports publics et doux. Les principaux bénéfices visés sont la réduction de l'emprise des espaces habituellement dédiés à la voiture dans le quartier au profit d'espaces publics et naturels de qualité, la réduction des nuisances sonores et polluantes. Eprouvées dans d'autres

éco-quartiers, les mesures suivantes se sont révélées particulièrement efficaces : limitation des possibilités de stationnement longue durée sur le domaine public intérieur au quartier; incitation financière au renoncement à la possession d'un

véhicule individuel motorisé; mise à disposition des résidents de véhicules électriques ou au gaz grâce à un système de réservation intranet (carsharing); connexion performante au réseau de transports publics et loyer comprenant l'abonnement.

2. Périmètre

La présente étude ne traite que du périmètre de l'éco-quartier qui s'articule en trois zones distinctes, à savoir le secteur des Plaines-du-Loup, du Bois Gentil (comprenant la prison qui sera conservée) et de la Pontaise. Ces trois secteurs représentent un total de 26.7 ha et la surface constructible à disposition, déduction faite des équipements sportifs ou publics et des accès principaux, est de 19.4 ha.

Partant de l'hypothèse d'un coefficient d'utilisation du sol (CUS) de 1.8, la surface brute de plancher totale devrait atteindre les 348'840 m². Enfin, pour garantir une mixité fonctionnelle, condition propice au dynamisme du quartier, 30% des surfaces ou 105'000 m² seront dédiées aux activités et 70% ou 245'000 m² à l'habitat. A ce stade, nous pouvons estimer que le quartier accueillera environ 2'750 places de travail et de 2'400 à 2'500 logements soit environ 4'600 habitants.



Plaines_du_Loup



Bois Gentil



Pontaise

Ilots	Surface cadastrale	Surface sport	Surface équip. publics	Surface dom. public	Surface espaces publics	Surface constructible
Plaines-du-Loup	13'9042	-7'000	-6'500	-8'000	-15'000	102'542
Pontaise	89'562	-24'000	-3'000	-4'000	-5'000	53'562
Bois-Gentil	38'696	0	0	0	-1'000	37'696
Total en m²	267'300	-31'000	-9'500	-12'000	-21'000	193'800

Tableau 1 : Surfaces constructibles par îlot

3. Objectif de l'étude

L'objet de ce rapport est multiple; il s'agit principalement de :

- * Réaliser un état des lieux des connaissances, des bonnes pratiques et des techniques dans les différents domaines de l'environnement et de l'énergie en milieu urbain.
- * Identifier les différents niveaux de performances environnementales accessibles dès aujourd'hui ou dans un avenir proche et, plus spécifiquement, démontrer l'accessibilité des performances décrites dans la documentation SIA D0216 « Objectifs de performance énergétique SIA » relative au concept de « Société à 2000 watts ».
- * Définir une liste de recommandations permettant d'atteindre les objectifs de performance énergétique de la « Société à 2000 watts ».
- * Collaborer à l'élaboration d'un outil de management environnemental urbain (MEU) servant à évaluer les différents scénarii énergétiques et projets d'aménagement urbain.

En résumé, ce rapport vise trois ambitions principales que sont : la traduction et la déclinaison des cibles environnementales adoptées par la Municipalité de Lausanne concernant l'éco-quartier des Plaines-du-Loup; la fourniture des conditions cadres permettant d'atteindre les objectifs environnementaux à moindre coût, en intégrant la thématique de l'aménagement durable dès le stade de la planification; la constitution d'un recueil de solutions holistiques et transversales offrant aux décideurs et planificateurs une base de réflexion aidant à la prise de décision depuis le concours d'urbanisme jusqu'à la réalisation des projets d'architecture.

3.1. Scénarii environnementaux

Gestion des déchets

Ce domaine sera traité dans une phase ultérieure et ne sera donc pas abordé dans ce présent rapport.

Gestion des eaux

En préambule, il convient de préciser que les aspects liés à la gestion des eaux seront traités de manière spécifique et indépendamment des considérations purement énergétiques du quartier. Cet aspect de la qualité environnementale du quartier est détaillé dans le chapitre "Eco-gestion des eaux".

Réduction des besoins & production d'énergie

Afin de structurer l'étude énergétique, le rapport scinde les dépenses énergétiques en quatre postes principaux : 1) les matériaux de construction, 2) le climat intérieur et l'eau chaude sanitaire, 3) la lumière et les appareils électriques, 4) la mobilité induite. Ces différents postes ont été volontairement calqués sur le découpage retenu dans la documentation SIA D0216. Par ailleurs, pour chacun d'eux et afin de confronter les exigences de la « Société à 2000 watts » à des niveaux de performance actuelle et intermédiaire, les trois scénarii décrits ci-dessous seront établis :

- * « **Etat Actuel** », correspondant pour chaque poste de consommation énergétique au respect des normes en vigueur et à l'état de l'art dans le secteur du bâtiment ainsi qu'aux comportements usuels en terme de mobilité.
- * « **Efficacité** », correspondant au respect de valeurs cibles en termes de consommation et à la mise en oeuvre de constructions répondant à de hauts standards environnementaux (Minergie P Eco®, etc.).
- * « **Société 2000 watts** » compatible avec « l'objectif de la Confédération » décrit en page 7 et qui, de manière synthétique, revient à limiter les consommations en énergie primaire, tous postes confondus, à 125 kWh/m².an.

4. Société 2000 watts

4.1. Concept et enjeux

La société à 2000 watts est un concept issu des Ecoles Polytechniques Fédérales qui vise à une prise en considération transversale des consommations énergétiques. En 2010, la société suisse consomme environ 55'000 kWh/pers.an. A considérer que cette consommation énergétique serait fournie par un moteur fonctionnant à la même puissance tout au long de l'année, celui-ci posséderait une puissance de 6300 watts/p. Comparativement, l'Afrique sollicite un moteur de 500 watts/p, un pays européen, un moteur de 6000 watts/p et la société nord américaine est dotée d'un moteur de 12000 watts/p.

Ce concept repose sur deux fondements. Le premier est une répartition équitable des ressources énergétiques à l'échelle planétaire, c'est-à-dire que 2000 watts/p permettent de couvrir l'ensemble des besoins actuels de l'humanité. Le second est une gestion durable de nos ressources et la limitation du phénomène de réchauffement climatique. C'est pourquoi, en parallèle à l'objectif de limiter les consommations en énergie primaire à 17'500 kWh/p.an, ce concept impose de contenir les émissions de gaz à effet de serre (GES) à 1 tonne /p.an. Finalement, l'enjeu climatique impose que, sur les 2000 watts disponibles, seuls 500 watts soient d'origine fossile ou nucléaire, le reste provenant d'énergies renouvelables.

En résumé et s'agissant de la société suisse, cet objectif revient à réduire d'ici 2100 les consommations d'énergie primaire d'un facteur 3 et les émissions de GES d'un facteur 9.

4.2. Combien de watts à disposition dans le secteur du bâtiment ?

Comme décrit précédemment, les 2000 watts/p représentent la puissance nécessaire à l'ensemble des secteurs d'activité de la société, à savoir : l'habitat, le transport, l'industrie, l'agriculture, etc. Dans le cadre de cette étude, seul le secteur du bâtiment étant pris en compte, la puissance nécessaire est en réalité de 840 watts/p ou environ 125 kWh/m²A_E.an¹.

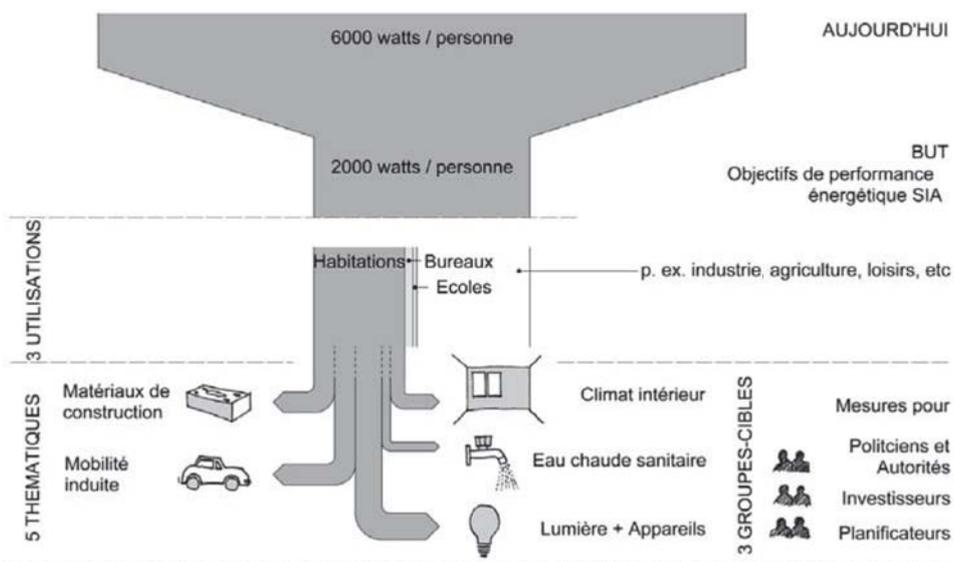


Schéma 1 : Documentation SIA D0216 "Objectifs de performance énergétique"

¹ Dans le cadre du document SIA D0216, l'hypothèse de 60 m²A_E/pers est retenue. Ce ratio permet donc de convertir les 7'360 kWh/pers.an à disposition dans le secteur du bâtiment en 125 kWh/m²A_E.an (avec A_E la surface de référence énergétique, cf. «Glossaire»).

4.3. Valeur cible A, une garantie d'exemplarité

Le concept de société 2000 watts se décline en deux cibles :

- * **La cible A, qui signifie bâtir de manière compatible avec la «Société 2000 watts».** Les performances requises pour atteindre la valeur cible A sont élevées, mais réalisables avec les moyens techniques connus à ce jour. Plusieurs exemples de constructions neuves et de transformations atteignent déjà ces performances et ont fait leurs preuves.
- * **La cible B, qui signifie bâtir de manière facilement adaptable à la «Société 2000 watts».** Les bâtiments respectant cette cible consomment 25% de plus que ceux conformes à la valeur cible A, mais sont préparés en vue de devenir compatibles avec la société 2000 watts lors d'une transformation ultérieure. Un bâtiment facilement adaptable à la société 2000 watts serait par exemple, une construction possédant une enveloppe du type Minergie P® ou Passivhaus®, mais dont la production de chaleur serait assurée par une chaudière à gaz. Au bout de 25 ans, durée de vie de la chaudière, si le bâtiment est converti à une source de chaleur renouvelable, il pourrait alors prétendre à devenir compatible à la société 2000 watts et ainsi atteindre la valeur cible A.

Dans le cadre de la réalisation de l'éco-quartier des Plaines-du-Loup, l'objectif de la Ville de Lausanne est clairement d'atteindre la valeur cible A, afin d'obtenir, dès la livraison, un quartier compatible à la «Société 2000 watts».

S'agissant d'un objectif global à l'échelle du quartier, cela autorisera au gré des PPA une diversification des objectifs de performances par objet. Par ailleurs, comme décrit précédemment, le concept de société 2000 watts est par définition transversal, c'est-à-dire qu'il intègre l'ensemble des dépenses énergétiques du secteur d'activité considéré. Par conséquent, si la cible globale est unique (valeur cible A pour l'habitat = 440 MJ/m²A_E.an et 480 MJ/m²A_E.an pour les bureaux, cf. tableau 2), un jeu de vases communicants entre les différents postes de consommation peut tout à fait être envisagé et ainsi apporter la flexibilité nécessaire à la diversité des cas de figure rencontrés dans le secteur du bâtiment. En d'autres termes, une consommation moindre dans le poste "Lumière + Appareils électriques" permettra par exemple de dégager un crédit dans le domaine de la mobilité.

Poste de consommation	Abréviation	Energie primaire [MJ/m ² .an]	
		Habitations	Bureaux
Matériaux de construction	PE _{ge} (énergie grise)	100	100
Climat intérieur	PE _h (chauffage)	45	30
	P _{hil,lü} (énergie auxiliaire ventilation)	25	70
Eau chaude sanitaire	PE _{ww} (eau chaude sanitaire)	40	10
Lumière + appareils	PE _{el} (électricité)	130	130
Mobilité induite	PE _{mob} (mobilité)	100	140
Valeur cible A		440	480

Tableau 2 : Valeur cible A pour les habitations et les bureaux selon la documentation SIA D0216

Résumé à l'attention des décideurs & planificateurs

Afin de simplifier la lecture du présent document, les chapitres “Matériaux”, “Climat intérieur & eau chaude sanitaire”, “Lumière & appareils électriques”, “Mobilité induite” et “Ressources & système de conversion d'énergie” sont résumés ci-dessous. La lecture de ces quelques pages permettra d'avoir une vision d'ensemble rapide des mesures constructives, techniques et comportementales permettant d'atteindre le scénario «Société 2000 watts» retenu par la municipalité, tout en le comparant aux deux autres niveaux de performances énergétiques décrits dans les scénarii “Etat actuel” et “Efficacité”. Ce rapport constitue une aide à la décision facilitant la prise en considération de l'objectif énergétique dès le stade du concours d'urbanisme. En complément, la Ville entend évaluer les performances environnementales globales des projets reçus au stade du concours d'urbanisme, à l'aide des outils «CitySim» développé par l'EPFL en coordination avec le projet de management énergétique urbain (MEU) et de «SméO, fil rouge pour la construction durable» fruit d'un partenariat entre la Ville de Lausanne et le Canton de Vaud.

1. Hypothèses de travail

Afin d'établir les besoins en énergie, l'ensemble des simulations effectuées se sont basées sur les surfaces brutes de plancher et la répartition précédemment mentionnée des affectations (30% administratif, 70% logement). Par ailleurs, compte tenu des objectifs de densification (CUS = 1.8) et après simulation de l'influence de la morphologie des bâtiments sur les besoins en énergie (cf. chapitre “Matériaux” et “Climat intérieur & eau chaude sanitaire”), nous avons défini un bâtiment étalon, servant de base à la définition des besoins énergétiques du quartier. Il s'agit donc d'un volume moyen réaliste à l'échelle du quartier.

Caractéristiques dimensionnelles du bâtiment étalon (volume moyen à l'échelle du quartier)	
Surface brute de plancher	2540 m ²
Facteur de forme (A_{th}/A_E , cf. «Glossaire»)	0.95
Taux de vitrage moyen des façades	40%
Masque solaire global (cf. chapitre «Climat intérieur & ECS», paragraphe 2.3)	22.5°

Tableau 1 : Dimensions moyennes des bâtiments à l'échelle du quartier

Scénario	Matériaux & morphologie	Enveloppe & production de chaleur	Lumière & électricité	Eclairage extérieur	Mobilité induite
Etat actuel	Mode constructif A (béton préfabriqué, PUR, cadres alu, etc.); $A_{th}/A_E < 1.4$; $SBP_{moy} = 2'000 \text{ m}^2$	Valeur limite SIA 380/1 édition 2009; chauffage à distance	Valeur limite SIA 380/4	Valeurs actuelles	Parc automobile et comportements actuels
Efficacité	Mode constructif B/C (traditionnels : BA ou briques, isolation périph. en XPS, cadres bois-métal); $A_{th}/A_E < 1$; $SBP_{moy} = 3'000 \text{ m}^2$	Minergie P®; masque solaire moyen < 20°; pompe à chaleur (sondes de 300m de profondeur) + solaire thermique (30% des besoins en ECS)	Valeur cible SIA 380/4	Réduction nocturne des intensités sauf sur axes principaux	Parc automobile aux normes UE 2020 ¹ + comportements actuels
Société 2000 watts	50 % mode constructif D (ossature bois, laine minérale, cadres bois); 50% mode constructif B/C; $A_{th}/A_E < 0.9$; $SBP_{moy} = 3'000 \text{ m}^2$	Passivhaus®; masque solaire moyen < 20°; pompe à chaleur (sondes de 500m de profondeur) + solaire thermique (30% des besoins en ECS)	Valeur cible SIA 380/4 + environ 45% des besoins couverts par des énergies renouvelables (par ex. 45'000 m ² de PV)	Scénario «Efficacité» + lampadaires solaires couplés à des détecteurs de présence sur le domaine privé	Parc automobile aux normes UE 2020 + comportements modifiés (report modal : 56% des km parcourus en TP ou mobilité douce, taux d'occupation des voitures: +14%/ 2005) + 4'500 m ² de PV ²

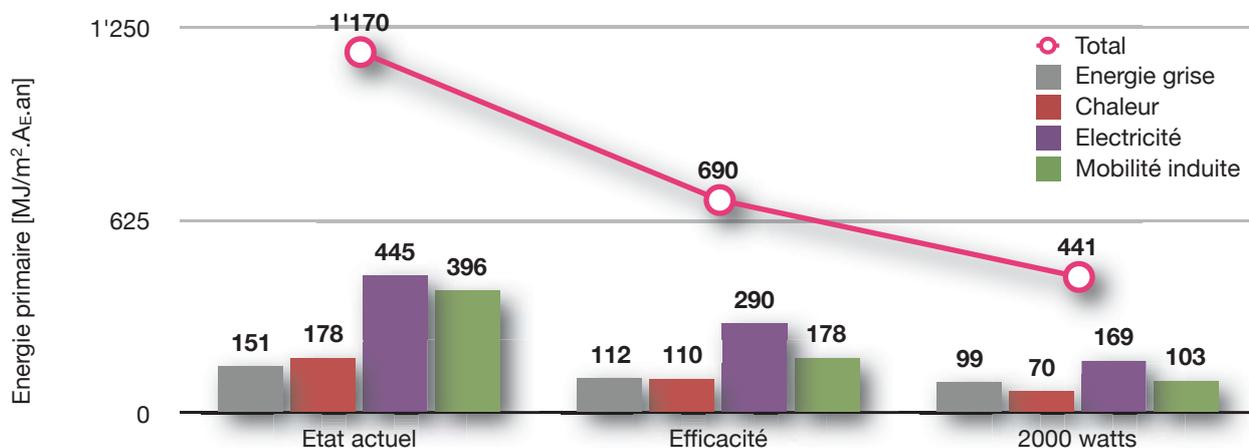
Tableau 2 : Synthèse des mesures à appliquer par poste de consommation d'énergie

¹ Normes UE 2020 véhicules consommant au maximum 3.5l/100 km et émettant moins de 90 gCO₂/km.

² 4'500 m² de capteurs solaires photovoltaïques dédiés à couvrir les besoins des véhicules électriques ou à air comprimé.

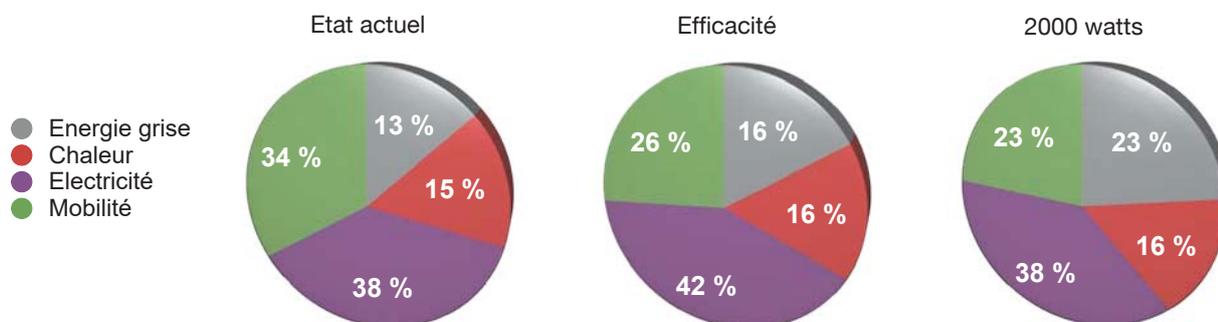
2. Synthèse des consommations en énergie primaire du quartier

Les modélisations et simulations effectuées selon les hypothèses des tableaux 1 et 2 ont permis d'effectuer les bilans en énergie primaire à l'échelle du quartier des Plaines-du-Loup. Les résultats sont résumés dans le graphique ci-dessous.



Graphique 1 : Besoins en énergie primaire à l'échelle du quartier

On constate que l'atteinte du scénario « Société 2000 watts » représente une réduction des consommations en énergie primaire d'un facteur proche de 3 par rapport au simple respect des normes et comportements actuels. Le scénario « Efficacité » reste quant à lui supérieur d'environ 56% à cet objectif ce qui démontre le niveau d'ambition de la Municipalité lausannoise qui a opté pour la réalisation d'un quartier «2000 watts» sur le périmètre des Plaines-du-Loup.



Graphique 2 : Part de chaque poste dans la consommation totale en énergie primaire

Si nous raisonnons non plus par scénario mais par poste de consommation, il est essentiel de remarquer que le couple «Energie grise» + «Chaleur» représente un enjeu majeur. En effet, il totalise actuellement environ 330 MJ/m²AE.an, ce qui correspond aux 3/4 de la valeur cible A de la «Société 2000 watts». Il est donc primordial de prendre les mesures constructives permettant de réduire d'un facteur 2 ces deux postes afin de dégager une marge de manoeuvre destinée à couvrir les besoins d'électricité et de mobilité pour lesquels l'effort à fournir est considérable. Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que si les domaines «Climat intérieur & ECS» et «Lumière & appareils électriques» représentent une part relative du bilan global quasiment constante pour les trois scénarii étudiés, à l'inverse, la part des «Matériaux» ne cesse d'augmenter au fur et à mesure que nous tendons vers la «Société 2000 watts». En conséquence, le défi de réduire les dépenses en énergie grise est un champ d'investigation désormais inéluctable et prioritaire.

3. Synthèse des consommations en énergie finale & émissions de GES²

Schéma 1 : Scénario «Etat actuel»

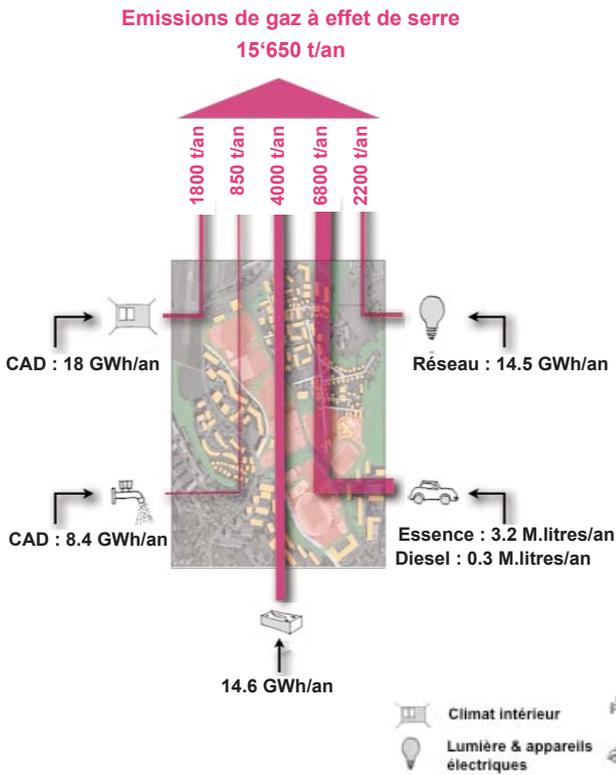
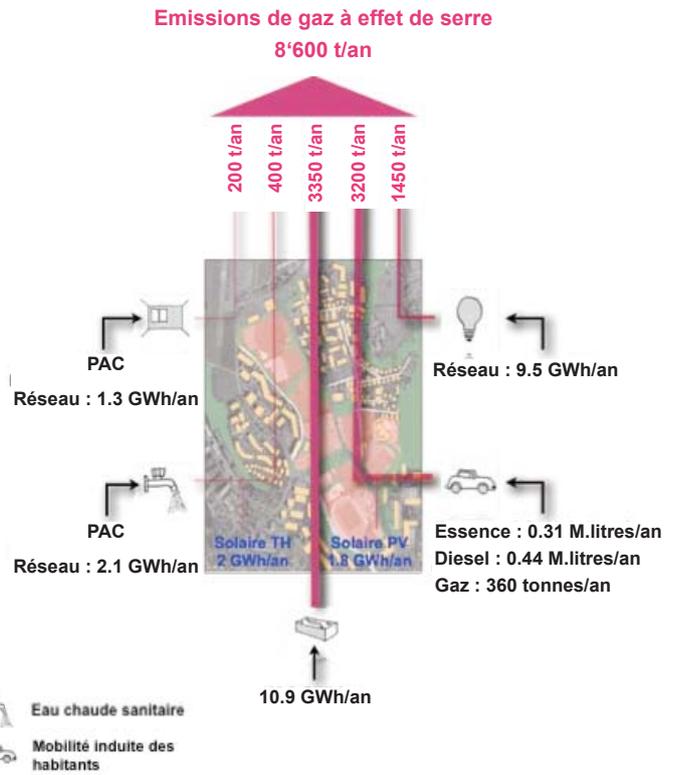
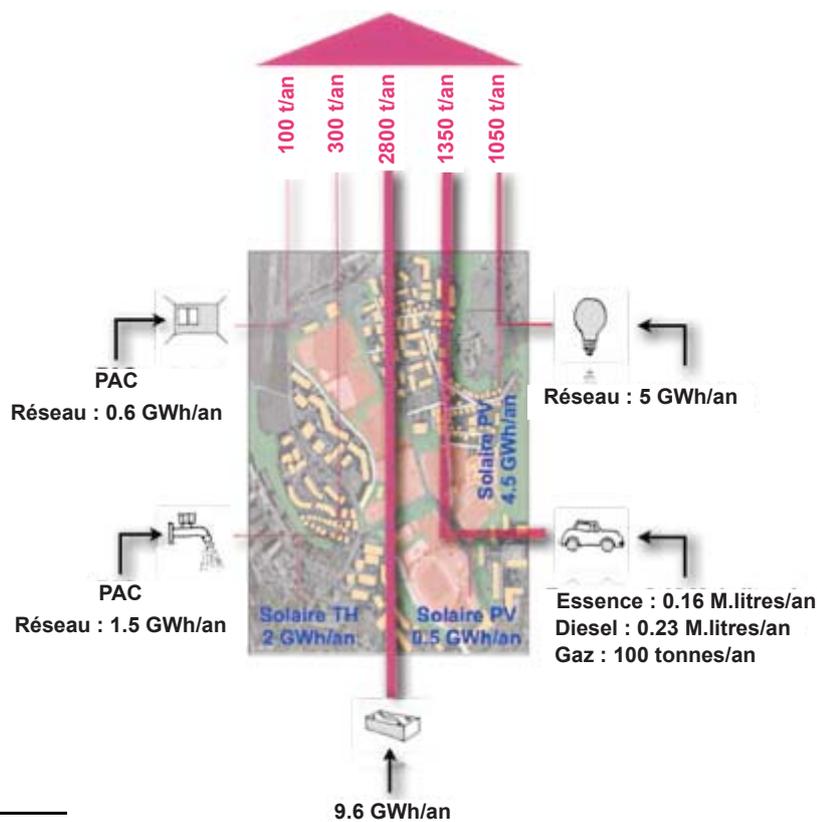


Schéma 2 : Scénario «Efficacité»



Emissions de gaz à effet de serre
5'600 t/an

Schéma 3 : Scénario «2000 watts»



Remarque
A ce stade, seule la variante PAC avec sondes géothermiques à 500m de profondeur est présentée. La variante «stockage saisonnier de chaleur renouvelable», sous réserve de la confirmation de sa faisabilité par un essai pilote, pourrait également être compatible avec le scénario «Société 2000»

² GES : gaz à effet de serre (cf. «Glossaire»).

4. Six actions pour un quartier à 2000 watts

A la vue de l'ensemble des investigations menées dans le cadre de cette étude, pour offrir les conditions cadres permettant au quartier des Plaines-du-Loup d'être compatible avec le concept de «Société 2000 watts», nous pourrions poser les principes de planification suivants :

- * **Développer une urbanisation dense**, préférant la contiguïté et les typologies sur cour à l'implantation de petits bâtiments (du type villas urbaines), tout en assurant un écart entre bâtiments permettant une valorisation optimale des apports solaires passifs (écartement entre bâtiments supérieur à une fois la hauteur des bâtiments alentour). A l'échelle du quartier, le fait de viser une SBP moyenne (cf. «Glossaire») de 3'000 m² par bâtiment permettra de réduire simultanément les consommations d'énergie primaire sur les deux premiers postes "Matériaux" et "Climat intérieur & eau chaude sanitaire", tout en préservant une marge de liberté quant aux aspects économiques et architecturaux. A ce stade, il est essentiel de préciser que cet objectif s'entend en moyenne sur le quartier et ne constitue en aucun cas une règle absolue à appliquer à chacun des bâtiments, sous peine de se retrouver en contradiction avec la diversité urbanistique et architecturale souhaitable et désirée pour ce quartier.
- * **Construire durable** en appliquant des standards élevés (du type Minergie P Eco[®], Passivhaus Eco[®] ou équivalent) et permettre ainsi de contenir les dépenses en énergie grise et de limiter les besoins de chaleur. Les principaux leviers d'action seront l'efficacité des volumes construits (qu'ils soient chauffés ou non), le choix de matériaux à faible contenu en énergie grise, la qualité thermique de l'enveloppe des bâtiments et, finalement, le recours à des systèmes de ventilation permettant de limiter de manière drastique les déperditions par renouvellement d'air.
- * **Opter pour des systèmes de production de chaleur efficaces et valorisant à plus de 2/3 des sources renouvelables d'énergie**. A ce stade, deux systèmes ont été évalués comme étant compatibles avec la «Société 2000 watts» et devraient donc être considérés. D'une part, les systèmes de pompes à chaleur couplés à des sondes géothermiques d'une profondeur minimale de 500m. D'autre part, et sous réserve de la réalisation d'une expérience pilote concluante, le stockage saisonnier de chaleur principalement renouvelable (solaire thermique ou chaleur estivale du CAD issue à plus de 85% de l'incinération des déchets ménagers).
- * **Réduire la consommation d'électricité d'origine fossile et nucléaire**, en adoptant des mesures d'efficacité (viser la valeur cible de la norme SIA 380/4) et en couvrant au minimum 45% des besoins résiduels (soit 12 kWh/m²A_E.an) à l'aide de sources renouvelables d'énergie. Nous pourrions par exemple imposer la production de 8 kWh/m²A_E.an par du photovoltaïque (soit 8 m² de capteurs PV pour 100 m² de SBP ou 28'000 m² à l'échelle du quartier) et couvrir les 4 kWh/m²A_E.an restant par le développement d'une offre électrique «éco-quartier» 100% renouvelable et locale (du type courant vert excluant l'achat de certificats).
- * **Inciter à des comportements vertueux en termes de mobilité**, en adoptant des mesures de soutien vis-à-vis de l'acquisition de véhicules efficaces (voitures à gaz, électriques, à air comprimé, etc.) et fournir les conditions cadres permettant de doubler les prestations kilométriques des transports publics au détriment des transports individuels motorisés. Nous pourrions imaginer inclure l'abonnement aux transports publics dans le montant du loyer, conditionner l'attribution et le prix des places de parc à la qualité écologique des véhicules, réserver un certain nombre de places de parc aux véhicules destinés à l'autopartage et enfin, couvrir localement et par des sources d'énergies renouvelables les dépenses des véhicules électriques ou à air comprimé de manière à réduire les consommations en énergie primaire (à l'échelle du quartier : 4'500 m² de capteurs photovoltaïques supplémentaires).
- * **Aider à une planification énergétique compatible avec la «Société 2000 watts» et à l'optimisation de la durabilité du quartier** à l'aide des plateformes «MEU» et de l'outil «SméO», depuis le stade du concours d'urbanisme, jusqu'au développement des projets d'architecture.

5. Evaluation des projets d'urbanisme par CitySim & SméO

5.1. CitySim

CitySim est un outil de simulation qui a été conçu pour soutenir la planification et la conception de projets urbains durables. Dans le cadre du projet de management énergétique urbain (MEU), un développement complémentaire mené par l'EPFL permettra de porter le périmètre d'utilisation de cet outil au quartier et finalement à la ville, pour laquelle un modèle de gestion de la mobilité sera ajouté. Dans sa version actuelle, CitySim permet et sera utilisé pour décrire et simuler les rendus du concours selon les étapes suivantes :

- * Définition de la topographie du site et choix de données climatiques associées à sa localisation;
- * Détermination et ajustement des caractéristiques des bâtiments à étudier;
- * Définition de la volumétrie des bâtiments en 3 dimensions, des sources d'énergie, des systèmes de stockage à modéliser et des systèmes énergétiques;
- * Analyse des flux d'énergie et des résultats obtenus pour différents scénarii.

Concrètement, le plan de masse est importé au format .dxf et les volumes sont créés en définissant la hauteur de chaque bâtiment.

Une fois les volumes créés, les caractéristiques physiques des bâtiments, liées au choix des matériaux, au taux de vitrage, etc., peuvent être attribuées. L'utilisateur peut enfin dupliquer un ou plusieurs des bâtiments, puis modifier à souhait les descendants de ces duplications (caractéristiques physiques, orientation, etc.).

Une fois la géométrie et les caractéristiques physiques du projet traitées, différents scénarii de fonctionnement peuvent être élaborés. L'outil simule alors la demande en énergie pour le chauffage, la ventilation, l'éclairage et le rafraîchissement ainsi que la consommation d'énergie primaire et les émissions de gaz à effet de serre en lien avec le choix des systèmes de conversion d'énergie. Enfin, la prise en compte de l'énergie grise liée aux matériaux de construction des bâtiments et infrastructures est en cours de développement et sera effective à l'occasion du concours d'urbanisme des Plaines-du-Loup.

Application au concours d'urbanisme des Plaines-du-Loup

Au stade du concours, afin de n'évaluer que la pertinence de la forme urbaine vis-à-vis de la thématique énergétique et d'assurer la comparabilité entre les différents projets, l'ensemble des caractéristiques techniques (mode constructif, qualité thermique des enveloppes, efficacité des systèmes de conversion d'énergie, etc.) sera uniformisé sur la totalité des bâtiments et pour tous les rendus. Dès lors, la demande en énergie primaire (chaleur et énergie grise) et les émissions de gaz à effet de serre associées seront simulées et permettront au jury d'être informé du niveau de performance de chacun des projets et de leur faculté à atteindre aisément ou non les objectifs de la «Société 2000 watts».

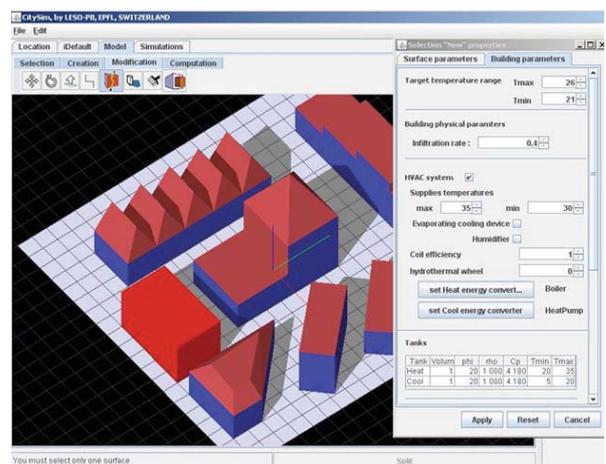


Schéma 1 : Interface CitySim - source Dr. Darren Robinson - LESO-PB EPFL.

5.2. SméO

Accessible via le site www.smeo.ch, cet outil d'aide à la décision sera utilisé pour agréger l'ensemble des critères de durabilité pertinents à l'échelle du quartier dans une vision holistique. La philosophie de cet outil est détaillée dans la publication «Jalons 6» accessible sous www.smeo.ch/files/global/Jalons6.pdf.

6. Synthèse du retour d'expérience de 5 éco-quartiers européens

Afin d'identifier les points forts à reproduire et les écueils à éviter lors de la planification de l'éco-quartier des Plaines-du-Loup, cinq expériences de quartiers durables ont été évaluées dans le cadre du projet de management énergétique urbain (MEU) : Vauban en Allemagne, BedZED en Angleterre, Eco-Viikki en Finlande, Hammarby et Bo01-Malmö en Suède (cf. annexe 7 et www.lausanne.ch/ecoquartier). La synthèse de ces cinq projets permet de faire ressortir les recommandations suivantes qui corroborent totalement les 6 actions pour un quartier «2000 watts» répertoriées en page 13.

Aspects environnementaux

- * **Conception thermique du bâtiment** : appliquer des normes ambitieuses en termes de performance énergétique ce qui permettra par ailleurs d'encourager l'innovation (système de ventilation passif à BedZED);
- * **Confort thermique** : définir des critères d'évaluation mesurant le risque de surchauffe estivale permet d'éviter des erreurs de conception (Eco-Viikki);
- * **Electricité** : exiger d'avoir recours à des appareils basse consommation (A++, EnergyStar, etc.);
- * **Energie** : offrir la possibilité de solliciter des énergies 100% renouvelables par exemple, en mettant en place un système de subventions (Malmö);
- * **Master plan** : définir des critères concernant l'orientation des bâtiments et leur écartement, pour optimiser la valorisation des gains solaires passifs;
- * **Matériaux de construction** : utiliser des matériaux non polluants et à faible contenu en énergie grise.
- * **Transport** : aménager de nouvelles lignes de transports publics en adéquation avec la taille et la densité du quartier;
- * **Traitement des déchets** : Etudier les principes d'écologie urbaine appliqués avec succès à Malmö et Hammarby tout en levant le doute sur l'efficacité énergétique du système d'aspiration sous vide. Alternatives : développer une collecte locale plus fréquente ou implanter une déchetterie de quartier;
- * **Gestion de l'eau** : imposer l'usage d'installations sanitaires à basse consommation d'eau. Exiger la collecte des eaux pluviales, leur rétention et leur évacuation en régime séparatif. Mettre en oeuvre un écoulement efficace des eaux superficielles (système de drainage urbain durable);
- * **Biodiversité** : encourager la biodiversité en mettant à la disposition des planificateurs et des concepteurs, des listes de recommandations à intégrer aux projets.

Aspects technico-économiques

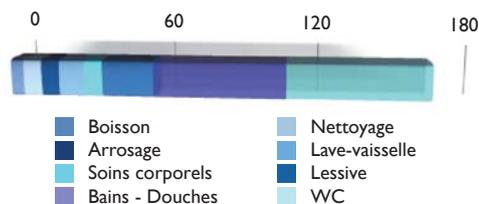
- * **Technologies innovantes** : établir des critères clairs permettant de juger les différentes propositions. Monter des projets pilotes et/ou de démonstration pour valider des solutions alternatives à plus petite échelle et au préalable;
- * **Suivi de la performance** : comparer les performances simulées avec les consommations réelles, afin de prendre des mesures correctives en cas de dérives notoires;
- * **Coûts & cycle de vie** : appliquer systématiquement un raisonnement économique calculé en coût global (investissement, frais d'entretien et d'exploitation);
- * **Maîtrise du foncier** : utiliser les droits de superficie sur les terrains publics, de manière à financer les infrastructures publiques et conserver un regard sur la qualité des constructions envisagées.

Eco gestion des eaux



1. Besoins en eau

A son domicile, chaque Suisse consomme environ 162 litres d'eau potable par jour, soit près de 60 m³ par an. Par ailleurs, seule une infime partie de cette eau est destinée à un usage alimentaire, le reste étant utilisé pour l'hygiène, le nettoyage ou les toilettes. Compte tenu des systèmes sanitaires actuels, un important potentiel d'économie est envisageable.



Economie d'eau

Les actions à entreprendre pour mener une politique de réduction des consommations comportent plusieurs axes et peuvent se résumer comme suit :

* Conception :

Lors de la phase d'avant-projet et de projet, sensibiliser l'architecte aux possibilités techniques permettant de réduire les consommations d'eau en phase d'exploitation.

Lors de la construction et du choix des appareils sanitaires, sensibiliser les futurs acquéreurs ou locataires aux gains écologiques et économiques réalisables.

Expliquer les avantages de l'économie d'eau sur l'environnement.

* Installation de débitmètres individuels

Le comptage individuel du volume d'eau consommé est essentiel pour conduire une politique de responsabilisation et d'intéressement financier à l'adoption de comportements respectueux de la ressource.

* Installations sanitaires

Les nouvelles technologies disponibles (douchette économe, mitigeur thermostatique, chasse d'eau à double commande, équipements sanitaires classe A/A/A, etc.) permettent de réduire les consommations d'eau d'environ 35% et d'espérer limiter le besoin quotidien à moins de 100 l/pers.

* Collaboration entre les différents acteurs

Dans le but de rapidement déceler les anomalies majeurs (fuites, etc.), La coopération entre les propriétaires ou locataires et les gestionnaires privés est une condition essentielle au suivi des consommations et à l'analyse de celles-ci.

* Arrosage des jardins

L'arrosage des jardins augmente sensiblement le volume d'eau potable consommée pour un ménage. Il est donc important de bien choisir les techniques et la période d'arrosage. Le choix des plantes adaptées à la région favorise également l'économie de la ressource en eau.

2. Gestion des eaux usées

Quelles que soient les solutions techniques appliquées pour obtenir une réduction des consommations d'eau, un élément reste intangible : la sensibilisation de la population et l'adaptation de certains comportements et automatismes sont nécessaires.

En se fixant un objectif de réduction de la consommation moyenne par habitant, il est avéré que le plus important poste d'économie possible porte sur l'eau sanitaire.

La charge énergétique actuelle de traitement des eaux usées (y compris incinération des boues) produites par habitant représente, pour une consommation moyenne de 87.6 m³/an, environ 254 MJ, qui n'est qu'en partie compensée par la production d'énergie issue de leur valorisation par incinération (165 MJ/hab.an). Il est souligné que ce bilan ne tient pas compte de la part liée à la production d'eau, dépendant de sa source (réseau, eau pluviale, eau grise traitée). Malgré tout, dès le moment où les eaux usées sont totalement traitées et qu'aucune pollution du milieu naturel par déversement ne se produit, l'impact global du cycle de l'eau peut être considéré en première approximation comme étant neutre.

En matière de gestion des eaux usées, les scénarii modélisés dans le cadre de la phase d'étude du PGEE (plan général d'évacuation des eaux lausannois), consacrée à l'élaboration de choix stratégiques de développement du système communal d'évacuation, montrent que :

- * la mise en régime séparatif et le pré-traitement des eaux claires ruisselées permettent d'obtenir un bilan environnemental positif (diminution de la charge polluante dans le milieu) dans le cas de la densification proposée sur le périmètre de l'éco-quartier;
- * le concept de rétention des eaux usées (bassins de stockage, zones de lagunage, etc.) dans les secteurs à développer lors de surcharge du réseau unitaire aval permet de maintenir un bilan environnemental globalement neutre (stabilisation des charges polluantes rejetées malgré l'augmentation de population).

La mise en place de techniques alternatives d'évacuation des eaux usées sanitaires (toilettes sèches NoMix) permettrait, en ouvrant la voie à de nouvelles filières de traitement et valorisation, de réaliser des économies d'eau. Toutefois, à l'heure actuelle et dans un habitat collectif, des problèmes d'acceptation par les utilisateurs, de stockage, de maintenance, de transport ou d'inexistence de filière de valorisation subsistent et rendent difficilement envisageable l'implantation de ce type d'installation sur l'éco-quartier.

2.1. Traitement sur site

Comparativement à la situation actuelle, la réalisation d'une installation de traitement local des eaux usées (dimensionnée pour les besoins de l'éco-quartier) pourrait permettre une gestion plus optimale des eaux usées produites, sans que celles-ci n'aient à transiter par le système d'évacuation et de traitement communal existant, présentant par ailleurs des problèmes périodiques de surcharge. Les effets de pics de production d'eaux usées, plus marqués pour des bassins versants compacts, seraient cependant à prendre en considération.

Le principal intérêt d'une installation de traitement des eaux usées délocalisée réside dans la possibilité de réutiliser sur place les effluents produits et ce, pour certains besoins spécifiques (cf. chap. 4.3 «Eaux grises»).

A ce stade, deux variantes d'installation de traitement des eaux usées sont envisageables :

- * STEP : l'investissement nécessaire pour une telle infrastructure est élevé d'autant plus qu'un concept d'installation enterrée devrait être préconisé dans ce cas (confinement des odeurs, réduction de l'emprise au sol, équivalent à environ 0.4 ha pour une STEP de 5'000 EH);
- * épuration extensive des eaux (roselière) : cette variante aurait l'avantage d'offrir un concept à priori plus proche des objectifs de développement durable grâce au principe d'auto-épuration, à sa faible

consommation énergétique et par la création d'un biotope. Cependant, elle présente des impacts environnementaux non négligeables : emprise en surface importante (environ 5 ha, basée sur des besoins de 10m²/EH), pollution des terrains, pas de traitement bactériologique des eaux. Pour les besoins de l'éco-quartier, une installation de type "filtre planté de roseaux à écoulement horizontal" serait la mieux adaptée. Les performances d'une telle installation restent cependant sensibles aux conditions climatiques (essentiellement température, les périodes hivernales pouvant engendrer des baisses de rendement).

Dans une très faible mesure, les investissements à consentir dans une infrastructure de gestion des eaux usées locale seraient compensés par la réduction des coûts à consentir dans l'agrandissement de la STEP de Vidy. Par contre, l'accroissement des besoins énergétiques globaux ainsi que les coûts d'exploitation, principalement dans le cas d'une STEP, doivent être pris en compte.

Il est encore à souligner qu'un projet de nouvelle station de traitement des eaux usées va à l'encontre de la stratégie cantonale de réduction et concentration de ces installations.

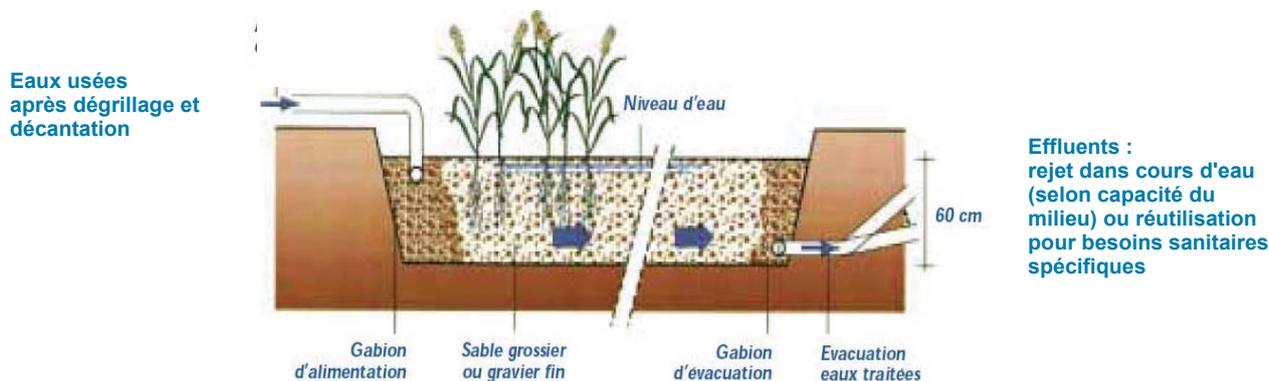


Schéma 1 : Epuration extensive (roselière) : filtre planté à écoulement horizontal

En conclusion, nous pouvons émettre le postulat que la génération d'eaux usées sera contenue au volume global actuel produit dans le périmètre du futur éco-quartier.

La pertinence d'une installation de traitement des eaux usées localisée, ou de stockage, devrait aussi faire l'objet d'une étude spécifique dans l'optique d'une valorisation in situ des boues et effluents produits. Cependant, l'admissibilité du rejet des effluents dans un milieu récepteur sensible devra aussi être évaluée et risque d'imposer des contraintes difficilement respectables.

3. Gestion des eaux pluviales

Les objectifs environnementaux en matière de gestion de l'eau sont de maintenir ou améliorer la qualité des milieux récepteurs (cours d'eau, lac, nappes, etc.) et de favoriser la conservation d'un cycle naturel de l'eau. A cet effet, les mesures d'infiltration des eaux ou de ruissellement en direction d'un milieu récepteur en surface doivent être privilégiées, ce qui implique :

- * une limitation des surfaces imperméabilisées;
- * la mise en place d'équipements de récolte, stockage et d'infiltration des eaux;

Cependant, le plan des zones d'infiltration des eaux, établi dans le cadre du plan général d'évacuation des eaux lausannoises (PGEE), montre que le secteur nord est situé en zone d'infiltration mauvaise ou impossible, mais partiellement en bordure d'une zone d'infiltration moyenne. Cette problématique est aussi soulignée dans le rapport final d'évaluation environnementale stratégique (EES) du 17 juin 2008. De façon concrète, des dispositifs d'infiltration ne devraient donc pas être envisagés. Par contre, des dispositifs d'infiltration diffuse pour de petites surfaces sont à étudier de cas en cas. Une étude hydrogéologique plus poussée dans les zones concernées doit cependant être engagée afin de déterminer les conditions exactes d'infiltration et les dispositifs pouvant être mis en place. Le secteur sud est, quant à lui, situé en zone d'infiltration moyenne,

où les possibilités et dispositifs d'infiltration doivent être définis de cas en cas, à nouveau au moyen d'études hydrogéologiques.

Les aspects suivants sont ainsi à développer en matière de gestion des eaux pluviales :

- * limitation des surfaces imperméabilisées;
- * suppression des rejets d'eaux claires dans le réseau public d'évacuation des eaux usées (dans le secteur nord);
- * régulation des débits rejetés dans le milieu naturel et amélioration de la qualité des eaux déversées.

3.1. Aménagement du territoire bâti

Des mesures de gestion des eaux pluviales dites «à la parcelle» sont préconisées :

- * chaussées et cheminements perméables;
- * toitures végétalisées, comme moyen de compensation partielle des espaces verts, de rétention et régulation des eaux, de dépollution des eaux ruisselées;
- * développement de fossés ou d'aménagements inondables, comme technique de régulation combinée à des mesures d'intégration environnementale;
- * remplacement des drainages périphériques des bâtiments par des cuvelages étanches.

En complément à ces solutions permettant de préserver un cycle naturel de l'eau, des installations de stockage des eaux de pluie sont envisageables, soit pour des aménagements paysagers (biotopes, bassins d'agrément), soit en vue d'une réutilisation domestique (arrosage, eaux sanitaires), permettant d'agir directement sur les besoins et la consommation d'eau potable. La réutilisation des eaux pluviales pour les besoins sanitaires doit être limitée (WC, machine à laver) et présente toutefois des inconvénients majeurs : quantité limitée et disponibilité non permanente (d'où nécessité d'un double réseau d'alimentation), prétraitement nécessaire des eaux afin d'éviter la formation d'algues, réduction proportionnelle des apports dans le milieu naturel (réduction potentielle du débit d'étiage des cours d'eau du Petit-Flon et de la Louve).

Il est aussi précisé que la réutilisation des eaux pluviales pour les besoins sanitaires n'est à priori intéressante, d'un point de vue quantitatif, que pour des habitations de type individuel. En effet, la disponibilité théorique de l'eau pluviale diminue considérablement en fonction de la taille des bâtiments (cf tableau), prônant la viabilité économique d'une telle solution.

Type d'habitat	Surface de la toiture [m ²]	V _{EC} net* [m ³ /an]	EH [hab]	Disponibilité théorique [l/hab.j]	Couverture des besoins sanitaires [%]	
					Pour une conso de 160l/hab.j	Pour une conso de 100l/hab.j
Villa individuelle (4 personnes)	100	94	4	64	80 %	> 100%
Petit locatif (4 logements, 2 étages)	200	187	12	43	54 %	> 100%
Immeuble collectif (20 logements, 5 étages)	400	374	60	17	21 %	> 40%

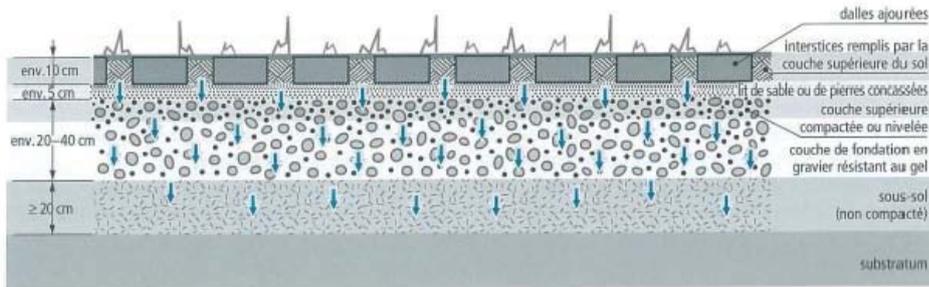
Tableau 1 : Potentiel de valorisation des eaux pluviales

* Volume récolté d'eau pluviale = 1.1 [m³/an.m² de toiture] x 0.85 pour les pertes par évaporation

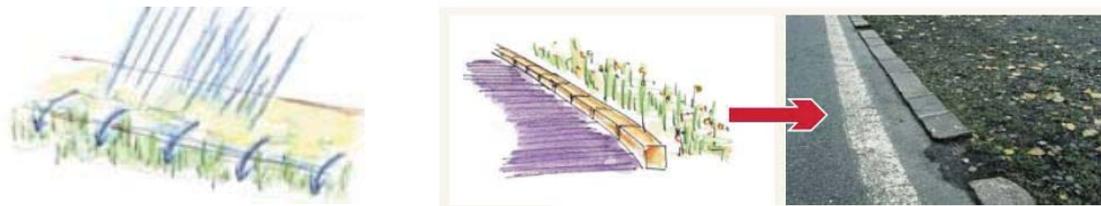
Exemples d'aménagement de gestion des eaux claires

L'ensemble des schémas présentés ci-dessous est extrait de la documentation : «Directive sur l'infiltration, la rétention et l'évacuation des eaux pluviales dans les agglomérations», VSA 2002 et "Infiltration et rétention des eaux pluviales", GSA/OPED 2/99.

- * Infiltration diffuse (gravier engazonné, dalles ajourées, grilles-gazon, enrobé drainant, etc.) :



- * Infiltration latérale (aménagements d'infiltration de surfaces imperméabilisées sur les bas-côtés) :

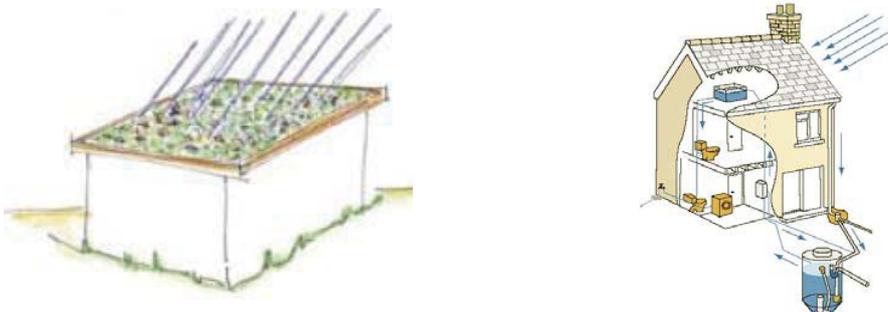


L'effet épurateur de la couche supérieure du sol est prise en compte : les substances nocives de l'eau ruisselée et déversée sont retenues dans le sol. Cependant, les couches servant de filtre sont contaminées à long terme par ces substances. Elles devront être traitées comme parties intégrantes de l'installation et éliminées conformément aux dispositions légales lors de leur remplacement ou leur mise hors service.

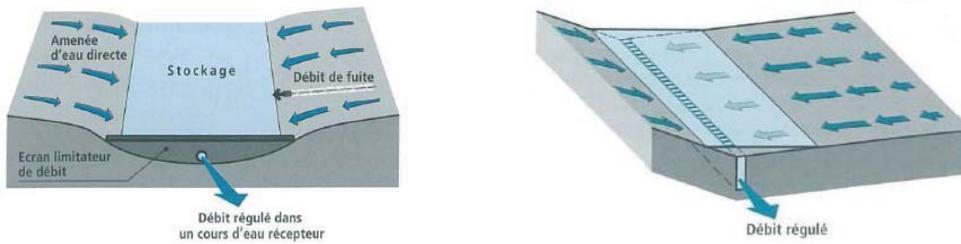
- * Ouvrage combiné (infiltration diffuse, déversement latéral et tranchée d'infiltration) :



- * Gestion des eaux en toiture (toitures végétalisées, stockage et recyclage des eaux) :



- * Aménagement de rétention en surface (fossés, surfaces inondables) :



3.2. Assainissement pluvial durable

Les principales sources de pollution des eaux pluviales ruisselées sont les matériaux de surfaces de ruissellement et les dépôts sur ces mêmes surfaces.

Eaux de toitures : l'impact d'un toit sur l'environnement dépend des matériaux utilisés pour sa construction. Un toit végétalisé peut, par exemple, retenir les polluants et épurer ainsi les eaux pluviales, ou libérer des substances nuisibles par lessivage (pesticides, engrais). Par ailleurs, les toitures métalliques sont fortement chargées en métaux lourds et le prétraitement des eaux récoltées est rendu nécessaire avant infiltration ou déversement, en fonction de la surface métallique considérée. Des toitures à végétation extensive seront donc favorisées.

Eaux de chaussées et parkings : la charge de trafic influe directement sur la qualité des eaux de routes, dont la pollution provient de la corrosion, l'usure des freins, des pneus, du revêtement routier, la combustion des carburants et les fuites de liquides. Ces eaux sont principalement constituées de métaux lourds et composés organiques. Il est possible d'agir sur les sources mêmes de pollution ou sur les méthodes de prétraitement avant restitution dans l'environnement ou usage. A ce titre, l'infiltration latérale sur un accotement est une variante à étudier dans le cas d'une intégration environnementale des voies de circulation. Les méthodes de réduction de pollution à la source font aussi l'objet d'études expérimentales (Pully : sacs filtrants; EPFL, sur mandat du Service d'assainissement «Rabattement des micropolluants des chaussées par balayage»). D'une manière générale, les directives de l'OFEV en matière de protection des eaux lors de l'évacuation des eaux des voies de communication sont à appliquer.

Sur la base d'une analyse de l'ensemble des aspects développés, les objectifs suivants, en matière de gestion des eaux pluviales, sont recommandés :

- * **limitation du taux d'imperméabilisation à 30%; en dessus de cette valeur, il est en effet constaté que les impacts dus à la modification du cycle de l'eau ont une forte atteinte sur le milieu naturel et la biodiversité en particulier;**
- * **mise en place de techniques de gestion des eaux (toitures végétalisées, bassin de rétention/régulation, etc.) permettant une temporisation et une régulation des débits ruisselés au moins équivalentes à celle du terrain naturel. Les surfaces ainsi gérées sont considérées comme non imperméabilisées;**
- * **respect des normes de rejet dans le milieu récepteur, soit le cours d'eau du Petit-Flon, telles que fixées par la directive STORM (rejets pluviaux urbains dans les eaux de surface).**

3.3. Eaux grises

Les eaux usées peu chargées en matières polluantes sont considérées comme des "eaux grises". Il s'agit, en général, des eaux domestiques (sauf rejets des WC), mais aussi des effluents ayant subi un traitement complet en station d'épuration. Les eaux de ruissellement de surfaces imperméabilisées (toitures, routes),

fréquemment polluées, peuvent aussi être considérées de cas en cas comme eaux grises. Ces eaux sont non potables, mais peuvent être récupérées pour certains besoins (irrigation notamment) ou réutilisées pour l'alimentation des blocs sanitaires. Ce recyclage reste cependant soumis à l'acceptation de ses utilisateurs potentiels et aux risques liés à la présence potentielle de germes pathogènes. La réutilisation de telles eaux devrait donc être strictement limitée à des sources pouvant être à priori contrôlées et isolées, soit : effluents de STEP, rejets de buanderies, par exemple. Elle impose aussi des stockages ou des infrastructures de transport spécifiques. Il est aussi souligné le fait que les eaux grises domestiques sont chargées en détergents difficilement dégradables et nécessitent donc un prétraitement dans le cas d'une réutilisation pour l'arrosage ou l'irrigation. Pour ces dernières utilisations, on privilégiera donc les effluents de STEP ou les eaux claires non polluées.

démarche/principe		impact environnemental					impact économique					remarques	
		régulation des eaux	rejets polluants	intégration paysagère	réduction eau potable	emprise	valorisation énergétique	description équipements	exploitation/entretien	application locale	application communale/centralisée		
eaux claires	régulation/réutilisation	infiltration	++	+	++		0		tranchée, puits	0 / -	+	-	
		biotope/fossé	+	0	++	+ ¹	-		régulateur débit	0	+	+	
		zone inondable	+	0 / -	++	+ ¹	0 ^a / -		régulateur débit	0	-	+	^a si intégrée à aménagement
	stockage/réutilisation	toiture végétalisée	+	+ / -	+	+ ¹	0			0	+	+	
		arrosage	-	0		+	- ³		filtre, pompage, réseau complémentaire	0	+	+	
		sanitaires	-	0		+	- ³		filtre, pompage, réseau complémentaire	-	+	+	
eaux grises	réutilisation	sanitaires		0		++	0		réseau complémentaire	-	+	+	
eaux usées	local	toilettes sèches		+ / - ⁴		+		+ ²	stockage	-	+	-	
		toilettes NoMix		+ / - ⁴		+		+ ² / 0	stockage, réseau complémentaire	-	+	+	
		collecte et stockage fèces		+ / - ⁴		+ / 0		+ ²	stockage, réseau complémentaire	-	+	+	
		collecte et stockage urine		+ / - ⁴		+ / 0		0	stockage, réseau complémentaire	-	+	+	
	locaux dans bâtiments	local		0 / - ⁴	0 / -	+ ¹	-	-	prétraitement, désodorisation	-	+	-	
		centralisé quartier		0 / - ⁴	-	+ ¹	-	-	prétraitement, désodorisation	-	+	+	
		STEP Vidy		0	0	0	0	+		0	-	+	
		roselière		+ / 0	+ / -	+ ¹	-	+ ^b		0 / -	+	+	^b indirect, pas de besoins en énergie
	traitement	fertilisant (urine)				+ ^d		+	transformation produits	-	-	+	^d combiné avec système NoMix
		incinération boues				0		+		0	+	+	
		recirculation effluents (sanitaires)				++		- ^c	réseau complémentaire	0 / -	+	+	^c installations de pompage

Tableau 2 : Synthèse sur la gestion et la réutilisation des eaux claires et usées

4. Gestion des eaux – aspects énergétiques

4.1. Valorisation des eaux claires

Le turbinage des eaux claires et/ou usées est une solution envisageable. Il est cependant nécessaire de disposer d'une énergie potentielle suffisante. A cet effet, la différence de hauteur d'eau exploitable est insuffisante à l'intérieur de chaque périmètre de développement proposé. Par contre, il est relevé que le secteur nord se situe dans le bassin versant d'apport de la dérivation et turbinage des eaux de la Louve. Ainsi, la mise en séparatif du secteur permet de valoriser deux aspects : limitation des volumes d'eaux claires dans le réseau public d'évacuation des eaux usées, augmentation du potentiel de production d'énergie électrique d'origine hydraulique, pour autant qu'une régulation des apports d'eaux claires puisse être effectuée. Le tableau suivant met en évidence les potentiels énergétiques issus de la mise en séparatif de l'éco-quartier.

Bassin	V _{EC} [m ³ /an]	Charge STEP [kWh/an]	Turbinage [kWh/an]	Potentiel énergétique [MJ/hab]	Bilan pollutif [MES]
Secteur nord	100'000	-15'000	22'000	26.6	Positif*

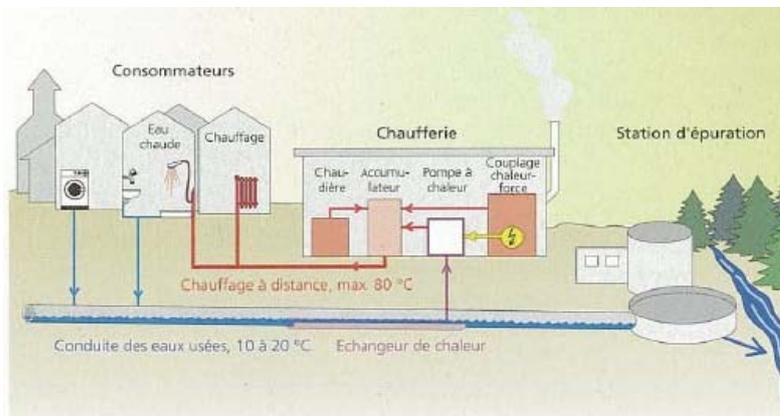
Tableau 3 : Potentiel de récupération d'énergie par turbinage sur les eaux claires

* si prétraitement des eaux claires

4.2. Valorisation des eaux usées

D'une température oscillant entre 8 et 20 °C durant l'année, les eaux usées recèlent une énergie potentielle pouvant être valorisée par le biais de pompes à chaleur, permettant d'élever cette température à un niveau exploitable de l'ordre de 50 à 70 °C. La combinaison avec une chaudière ou un couplage chaleur-force est aussi possible et permet, en outre, une meilleure rentabilité.

Les conditions pré requises pour la mise en place d'une installation offrant un potentiel de rentabilité suffisant sont : débit minimum de 15 l/s, avec une variation entre valeurs min et max inférieure à 50%. Sur cette base, trois sites d'études ont été sélectionnés : route de Berne (quartier des Fiches), Rhodanie-Maladière (secteur Bellerive), STEP Vidy (sites EPFL-UNIL, Métamorphose secteur sud).



Conjointement avec les SIL, le Service d'assainissement a mandaté une étude d'évaluation du potentiel thermique des eaux usées de la Ville de Lausanne au bureau spécialisé Planair SA. Les résultats intermédiaires présentés indiquent que les collecteurs publics de concentration, soit les réseaux situés au sud de la Ville, et le site de la STEP sont les seuls à réunir les conditions de base permettant d'envisager une exploitation rentable du potentiel énergétique des eaux usées. Cependant, la forte variabilité de température due à la présence d'eaux claires parasites limiterait l'efficacité de ce type de procédé de production de chaleur basse température.

4.3. Boues

Les eaux usées sont à considérer comme des déchets. A ce titre, l'incinération ou la bio-méthanisation des boues d'épuration offre un potentiel énergétique intéressant, allant dans le sens d'une valorisation environnementale globale.

La bio-méthanisation des boues à l'échelle de l'éco-quartier n'est pas retenue. Cette solution n'est techniquement pas réaliste car nécessite un séchage préalable des boues, demandant passablement d'énergie.

Deux concepts d'installation sont envisageables : station locale de traitement des eaux usées et valorisation énergétique sur site ou gestion centralisée des eaux usées sur site de la STEP de Vidy.

La réalisation d'un équipement local de traitement des eaux usées permet, dans ce cas, d'envisager une filière de valorisation secondaire des produits générés : recyclage des effluents pour des besoins spécifiques, production de pellets par déshydratation des boues. Pour ce dernier point, un bilan énergétique global doit être effectué.

Il est cependant rappelé que dans cette configuration, l'accroissement des besoins énergétiques globaux ainsi que les coûts d'exploitation, principalement dans le cas d'une STEP, doivent être pris en compte.

Une évaluation des caractéristiques, contraintes et avantages des différentes solutions de gestion des boues d'épuration a été effectuée sur la base de critères, techniques, économiques et environnementaux, et présentés dans le tableau suivant.

Type de gestion des eaux usées	Coûts			Environnement			
	Infrastructures	Exploitation	Energie	Rejets eaux usées	Emprise au sol	Réutilisation des eaux prétraitées	Pollution de l'air
Epuration extensive (roselière)	-	+	++	+	--	+	+
STEP locale	--	--	-	-	--	+	0/-
STEP Vidy	0	0	0	0	0	-	+
Système «No mix water»	+ ¹	--	- ²	+	+	-	- ²

Tableau 4 : Avantages et contraintes des différentes solutions de gestion des boues d'épuration

¹ récolte localisée des eaux usées, par bâtiment. Locaux adaptés à nécessaires

² transport des matières par camion jusqu'à l'installation de traitement

Matériaux

Enjeux

Au cours des 30 dernières années, l'attention des planificateurs s'est concentrée à la fois sur l'architecture et l'énergie d'exploitation. Suite à l'entrée en vigueur des premières normes et labels traitant de l'énergie thermique dans le bâtiment, les besoins de chaleur n'ont cessé de diminuer. Aujourd'hui, un bâtiment respectant les exigences thermiques les plus élevées (standard Passivhaus®), consomme annuellement 10 kWh/m²A_E pour se chauffer. En parallèle, l'énergie grise³ investie dans un nouveau bâtiment sous forme de matériaux de construction et de techniques (ventilation double flux, PAC, capteurs solaires thermiques, etc.) est généralement comprise entre 500 et 1'500 kWh par m²A_E. Par ailleurs, la construction à faible énergie et les standards de construction plus exigeants (normes acoustiques, parasismiques, protection incendie, qualité thermique du bâtiment, etc.) ont tendance à solliciter davantage de matériaux et techniques, entraînant une élévation de la dépense en énergie grise. A tel point que dès l'atteinte du standard Minergie®, celle-ci peut devenir supérieure aux consommations d'énergie liées à la satisfaction des besoins de chaleur (chauffage + eau chaude sanitaire).

Par ailleurs, l'impact des matériaux de construction sur le réchauffement climatique devient déterminant dès que nous considérons des bâtiments du type Minergie® pour lesquels la part d'énergie renouvelable utilisée est conséquente. Or, dans le projet de «Société 2000 watts», la réduction des émissions de GES est un objectif au même titre que la limitation des consommations en énergie primaire. Dès lors, il devient primordial d'adopter une vision énergétique transversale et de coupler la réduction des besoins de chaleur avec la limitation des consommations en énergie grise, sous peine de dégrader le bilan carbone du quartier.

Bras de levier

A la différence des énergies d'exploitation (chauffage, électricité, etc.), l'énergie grise est une dépense ponctuelle effectuée lors de la construction, des rénovations successives et enfin de la démolition d'un bâtiment. C'est pourquoi il n'existe que peu de moyens permettant de contenir ce poste de consommation. En revanche, cette réflexion intervenant dès le stade de la planification du quartier, nous pouvons agir à la fois sur les infrastructures (routes d'accès, parkings, etc.) et les bâtiments. La première source d'économie, nous le verrons par la suite, est la rationalisation des infrastructures routières et des parkings. S'agissant des bâtiments, le facteur déterminant est l'augmentation de leur taille et de leur compacité : "plus un bâtiment est grand et compact et moins sa réalisation nécessite de matériaux de construction par m² habitable". Le deuxième bras de levier, à la portée plus restreinte, réside dans le choix combiné d'un concept constructif efficace et de matériaux écologiques.



Chemin de Maillefer - Lausanne



Résidence Beaulieu - Lausanne



Armatures métalliques

³ Energie grise : dépense d'énergie cumulée pour la fabrication d'un produit. Elle se calcule à l'aide de méthodes normalisées à partir de comptabilité matières pour tous les processus intervenant en amont du produit : extraction des matières premières, transport, fabrication, mise en oeuvre et traitement en fin de vie. Cette notion a été adaptée au secteur du bâtiment dans le cahier technique SIA 2032 "Energie grise des bâtiments".

1. Société 2000 watts et énergie grise

Pour les bâtiments neufs, la cible appliquée aux matériaux de construction est de $100 \text{ MJ/m}^2\text{A}_{\text{E}}.\text{an}$ et ce, quelle que soit l'affectation (habitat ou administratif). Afin de permettre la comparaison de la part d'énergie primaire imputable aux matériaux de construction avec les autres postes de consommation (chaleur, électricité, mobilité), cette cible est annualisée en considérant l'amortissement des dépenses cumulées en énergie grise sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments et pour une durée de vie moyenne de 80 ans. Cette valeur englobe la dépense en énergie grise inhérente aux constructions et aux infrastructures nécessaires au fonctionnement du quartier ou directement affectées aux bâtiments. A l'échelle du quartier, cela comprend les volumes dédiés aux logements et à l'activité, mais également les garages, les installations techniques et les locaux de services.

Dans la suite de cette étude nous allons distinguer deux postes de consommation distincts que sont : **les locaux non chauffés** (garages, buanderies, chaufferies, locaux à vélos, etc.); **les locaux chauffés**, à savoir les volumes situés hors-sol incluant les surfaces habitables ainsi que les distributions intérieures.

A ce stade de développement du projet, les premiers seront considérés comme une part incompressible des besoins en énergie grise, exception faite des choix d'aménagements spécifiques (tels que des garages automatiques qui seront décrits en page suivante). A l'inverse, les locaux chauffés, dépendants de facteurs tels que la morphologie et le mode constructif, vont faire l'objet de simulations permettant de définir et de hiérarchiser les mesures à mettre en oeuvre pour satisfaire le concept de «Société 2000 watts».

2. Energie grise des infrastructures non chauffés

Etant en phase de planification, nous avons considéré que l'ensemble des locaux non chauffés seraient disposés en sous-sol. Pour cette raison, il n'existe pour ainsi dire aucune flexibilité sur le choix des matériaux, ceux-ci étant obligatoirement en structure traditionnelle (béton armé, isolation imputrescible et étanchéité classique). Partant de cette hypothèse, seul les volumes construits sont déterminants quant aux dépenses en énergie grise.

Dans les trois paragraphes suivants, l'objectif est donc de définir les besoins en énergie grise des locaux non chauffés qui, venant se soustraire aux $100 \text{ MJ/m}^2\text{A}_{\text{E}}.\text{an}$ disponibles dans le cas du scénario "Société 2000 watts", définiront l'énergie grise résiduelle attribuable aux habitations et surfaces dédiées aux activités.

2.1. Locaux de services

Par locaux de services sont entendus les caves, buanderies, locaux vélos et techniques (chaufferies, locaux électriques, etc.). Pour déterminer les surfaces nécessaires à l'ensemble de ces locaux, nous nous sommes basés sur la méthode SEL 2000 (système d'évaluation des logements) éditée par la Confédération. L'ensemble des valeurs est récapitulé dans le tableau 1.

Locaux de services	Surface par personne
Buanderie et séchoirs	0.9 m ² / pers.
Caves	2.4 m ² / pers.
Locaux vélos, poussettes, etc	1.5 m ² / pers.
Locaux techniques chaufferie	0.5 m ² / pers.
Locaux techniques ventilation	0.5 m ² / pers.
Locaux techniques électricité	0.5 m ² / pers.
Total	6.3 m²/ pers.

Tableau 1 : Surfaces des locaux de services - méthode SEL 2000

Selon ces hypothèses et à considérer un système constructif traditionnel, nous avons établi un écobilan des volumes considérés à l'aide du logiciel EcoBat version 2.4. Ainsi, le poste "Locaux de services" représente environ $8 \text{ MJ/m}^2\text{A}_{\text{E}}.\text{an}$.

2.2. Installations techniques

Conformément à la documentation SIA D0216, l'énergie grise nécessaire à la fabrication des systèmes d'installations techniques (chaufferies, réseaux hydrauliques, sanitaires ou électriques, etc.) est calculée de manière forfaitaire. En effet, le manque de données sur cet aspect très spécifique de l'énergie grise dans le secteur du bâtiment ne permet pas encore de procéder à une prise en considération différenciée de ce type de composants. Dans le cadre de cette étude nous prendrons donc en considération le forfait de 10 MJ/m²A_E.an. A noter toutefois, que celui-ci sera pondéré par le facteur de forme des bâtiments, de manière à tenir compte de la diminution des réseaux dans le cas de bâtiments dont la volumétrie serait efficace.

2.3. Places de parc

Dans le cadre du règlement programme du concours d'urbanisme, il est prévu 1'345 places de parc destinées à l'affectation logement (soit 0.55 place/logement) et 500 places affectées aux activités. La réduction des besoins limites pour le stationnement dévolu aux logements est de 50%, soit le maximum prévu selon l'art. 61 du RPGA. La réduction des besoins limites pour le stationnement affecté aux emplois est de 80%, soit le minimum de réduction autorisé (selon la norme VSS 640 281) dans un secteur (A) très bien desservi par les transports publics.

Toutes affectations confondues, les parkings couverts devraient offrir 1'845 places de parc soit 40% de moins que les normes VSS, ce qui représente en soit un objectif ambitieux. Cette cible, en cohérence avec la décision de créer un axe de transport public à cadences élevées (tram ou métro), contribue directement à la réduction des infrastructures liées aux parkings et à une diminution des consommations en énergie grise. Afin de définir l'énergie nécessaire à la construction de ces 1'845 places de stationnement, nous avons étudié deux types de garage :



Les parkings souterrains traditionnels

Implantés à l'aplomb des bâtiments et une fois comptabilisées les surfaces dédiées à la circulation des véhicules et les rampes d'accès, les parkings souterrains nécessitent environ 30 m²/place. A l'échelle du quartier, cela représente environ 55'350 m² de parking distribués dans les sous-sol de l'ensemble des bâtiments.



Les garages automatiques

Réduisant l'encombrement grâce à la superposition et à la juxtaposition de véhicules dans un rack par trans-stockeur, ces systèmes rendent de surcroît les rampes et les voies d'accès superflues. L'emprise globale se réduit alors à 15 m²/place. A l'échelle du quartier nous aurions dans ces conditions 27'525 m² de parking à distribuer dans 5 à 6 volumes répartis sur l'ensemble du périmètre.

Parkings traditionnels en sous-sol

Les garages étant situés sous l'emprise des bâtiments, nous avons établi l'écobilan des 55'350 m² de parking en tenant compte du radier, des quatre parois verticales contre terre et des piliers porteurs intérieurs. La toiture des garages, quant à elle, sera comptabilisée dans le volume chauffé des bâtiments en tant que

dalle sur sous-sol. Dans ces conditions et une fois ramenée la dépense d'énergie grise par m^2A_E , ce type de parking représente environ $10 MJ/m^2A_E.an$ (cf. Tableau 2).

Garages automatiques

Un important potentiel d'amélioration du point de vue des dépenses en énergie grise réside dans le fait de mettre en oeuvre des garages automatiques tels que décrits en page précédente. Plus compacts, ceux-ci réduisent la quantité de matériaux nécessaires par place de parc. Comparativement à des parkings classiques, cette technique permet de réduire la consommation d'énergie grise d'un facteur supérieur à 2 et ce, tout en tenant compte de la part d'énergie nécessaire au système d'automatisation (racks + transstockeur = $0.8 MJ/m^2A_E.an$).

Type d'infrastructure	Besoins en énergie grise en $MJ/m^2A_E.an$			Total
	Construction	Remplacement	Elimination	
Garages traditionnels	7	2	1	10
Garages automatiques	3.1	1	0.5	4.6

Tableau 2 : Energie grise ou part non renouvelable d'énergie primaire des parkings

Toutefois, cette technique augmentant singulièrement le temps de parcage, il serait irréaliste de prévoir l'ensemble des places de stationnement dans des garages automatiques (en particulier pour les places dédiées aux commerces qui impliquent des rotations élevées). C'est pourquoi, à ce stade de l'étude et de manière à sécuriser les valeurs de consommation d'énergie grise, nous prendrons en considération dans le reste de l'étude la valeur inhérente à la solution 100% parkings traditionnels. **Si le nombre de places de stationnement devait dépasser les 1'845 prévues dans le programme, le recours à des garages automatiques permettrait de plafonner la demande en énergie grise à $10 MJ/m^2A_E.an$.**

2.4. Synthèse des infrastructures non chauffées

Une fois additionnées les dépenses d'énergie nécessaires à la construction des locaux de services, des installations techniques et des 1'845 places de stationnement, nous obtenons un total de $28 MJ/m^2A_E.an$. Comme décrit précédemment, cette dépense d'énergie sera considérée comme une constante indépendante du scénario énergétique. Ce choix se justifiant aisément puisque la surface nécessaire aux locaux non chauffés est indépendante du fait de construire Minergie®, Minergie P® ou Passivhaus®.

Finalement, pour ne pas dépasser la cible A de la «Société 2000 watts», il reste un potentiel de $72 MJ/m^2A_E.an$ réservé à la construction des volumes hors-sol, chauffés et habitables.

3. Energie grise des locaux chauffés

Dans ce chapitre nous allons effectuer des études de sensibilité permettant de définir l'impact de la morphologie et du mode constructif sur les besoins en énergie grise. Ces divers écobilans permettront de vérifier dans quelle mesure la cible de $100 MJ/m^2A_E.an$ est réaliste et de définir les éventuelles conséquences que cela pourrait avoir, en particulier sur la forme urbaine du quartier.

3.1. Influence de la morphologie urbaine

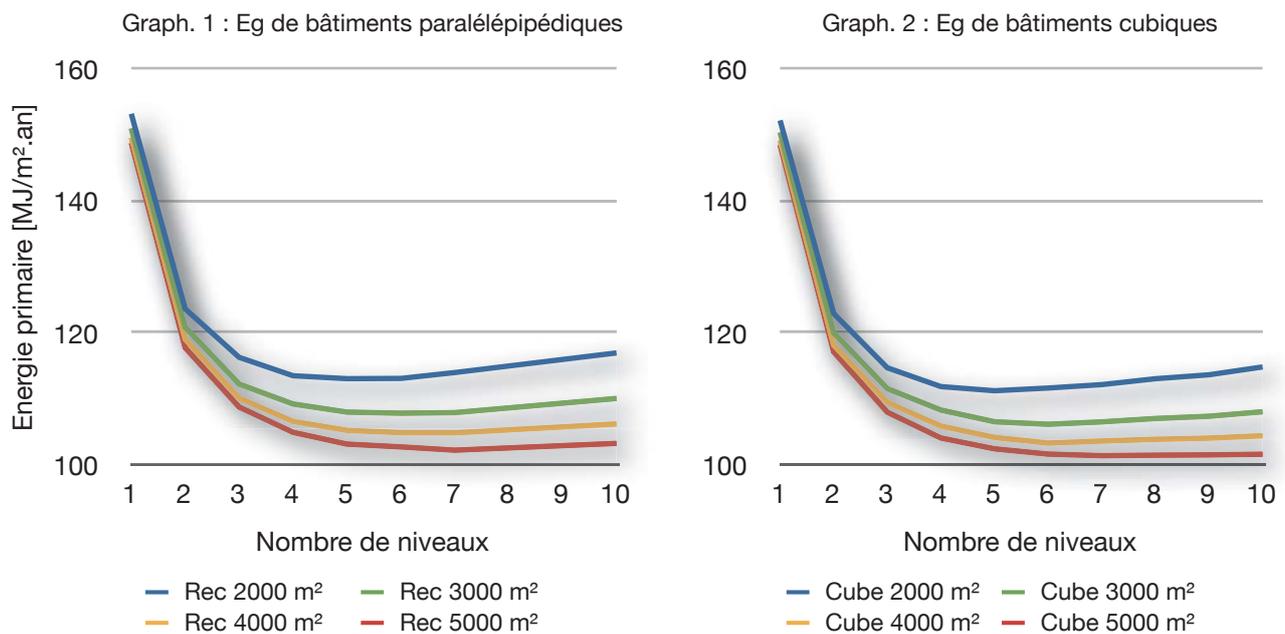
La forme et les dimensions d'un bâtiment conditionnent son facteur de forme⁴. Plus sa valeur est faible et plus le bâtiment est compact. Par exemple, un facteur de forme égal à 1, signifie que pour un m^2 de SBP, le bâtiment possède un m^2 d'enveloppe (surface déperditive). Les besoins en énergie grise d'un bâtiment,

⁴ Facteur de forme : rapport entre la somme des surfaces des façades, de la toiture et de la dalle contre terre d'un bâtiment et sa surface brute de plancher. Par extension et dans le cadre de cette étude, nous considérerons que la SBP est égale à la surface de référence énergétique (A_E). Par conséquent, à ce stade de l'étude, le facteur de forme est assimilable au facteur d'enveloppe A_{th}/A_E défini dans la norme SIA 380/1 édition 2009.

principalement imputables à la structure porteuse et à l'enveloppe, vont donc décroître en même temps que le facteur de forme. Mais dans quelle proportion ? Nous proposons de le définir dans la suite de l'étude.

Hypothèses de travail

Afin d'établir la relation entre le facteur de forme et l'évolution des besoins en énergie grise d'un bâtiment, nous avons, dans un premier temps, neutralisé l'influence du mode constructif. Ainsi, pour l'ensemble des cas étudiés ci-dessous, le concept constructif est constant (construction traditionnelle en BA, isolation périphérique en EPS, huisseries en bois-métal). Les graphiques 1 et 2, proposent une synthèse des simulations effectuées sur environ 80 bâtiments de tailles et de formes différentes. Nous avons ainsi étudié les cas de bâtiments cubiques et parallélépipédiques ($L = 2 \times l$) dont la taille varie de 2'000 à 5'000 m² et le nombre de niveaux de 1 à 10. A noter que pour l'ensemble de ces simulations, ne connaissant pas à ce stade les distributions intérieures, nous avons négligé l'ensemble des cloisons intérieures légères. En revanche, tous les autres éléments de construction font partie intégrante des écobilans réalisés.



A la vue des graphiques 1 & 2, nous pouvons constater que la forme cubique, plus compacte que le parallélépipède, consomme moins d'énergie grise par m²A_E. Toutefois, cette différence reste relativement minime (environ 2%). Nous remarquons ensuite que, quelles que soient la taille et la forme du bâtiment, il existe un optimum correspondant systématiquement au niveau pour lequel le facteur de forme est le plus petit. Cet optimum varie en fonction de la taille du bâtiment. Par exemple, l'énergie grise consommée par un bâtiment cubique de 2'000 m² est minimale lorsque celui-ci est organisé en 5 niveaux ($A_{th}/A_E = 1$). A contrario, pour un bâtiment de 5'000 m² cet optimum s'observe lorsque le volume est distribué en 7 niveaux ($A_{th}/A_E = 0.73$).

Par ailleurs, si nous comparons les deux extrêmes obtenus pour un bâtiment cubique de 5'000 m² sur 7 niveaux et celui de 2'000 m² sur 1 niveau, les facteurs de forme passent de 0.73 à 2.27 et l'énergie grise consommée croît de 50%. Ce phénomène s'accroît d'ailleurs au fur et à mesure que l'on a recours à des modes constructifs dispendieux pour atteindre jusqu'à 60% d'augmentation (mode constructif A cf. chapitre suivant). Par extension, nous pouvons étendre ce résultat à l'écart de performance que nous devrions rencontrer entre une zone villas ($A_{th}/A_E > 2$) et une zone de forte densité ($A_{th}/A_E < 1$). En résumé, plaider et appliquer la densification, en autorisant par exemple la contiguïté des bâtiments, peut éviter l'augmentation des consommations en énergie grise d'environ 40 à 60%.

Enfin, aucune des simulations réalisées pour des bâtiments construits de manière traditionnelle ne permet de descendre en dessous des fatidiques 100 MJ/m²A_E.an et ce, même pour un facteur de forme optimal de

0.73. En conséquence, si nous souhaitons atteindre la cible fixée par la «Société 2000 watts», construire compact pourrait ne pas suffire. Nous devons en parallèle avoir recours à des matériaux écologiques.

3.2. Influence du mode constructif des bâtiments

Quel est l'intérêt d'une construction bois par rapport à une construction traditionnelle, est-il écologiquement pertinent d'isoler selon le standard Minergie P® ou Passivhaus® lorsque nous intégrons les émissions de GES sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment ? Telles sont les questions qui seront traitées dans ce chapitre.

Hypothèses de travail

Afin d'étudier la sensibilité du choix des matériaux sur les dépenses en énergie grise, nous avons établi quatre modes constructifs inspirés des expériences menées à l'occasion des opérations "3000 logements durables". Les caractéristiques générales de ces 4 modes constructifs sont décrites ci-dessous.



Mode constructif A

Façades préfabriquées en béton armé, parement extérieur en béton, isolation périphérique en polyuréthane et cadres de vitrages en aluminium.



Mode constructif B

Construction traditionnelle en béton armé, façades ventilées, isolation périphérique en XPS et cadres de vitrages en bois/métal.

Mode constructif C

Structure mixte poteaux BA et briques, isolation en XPS et cadres de vitrages en bois/métal.



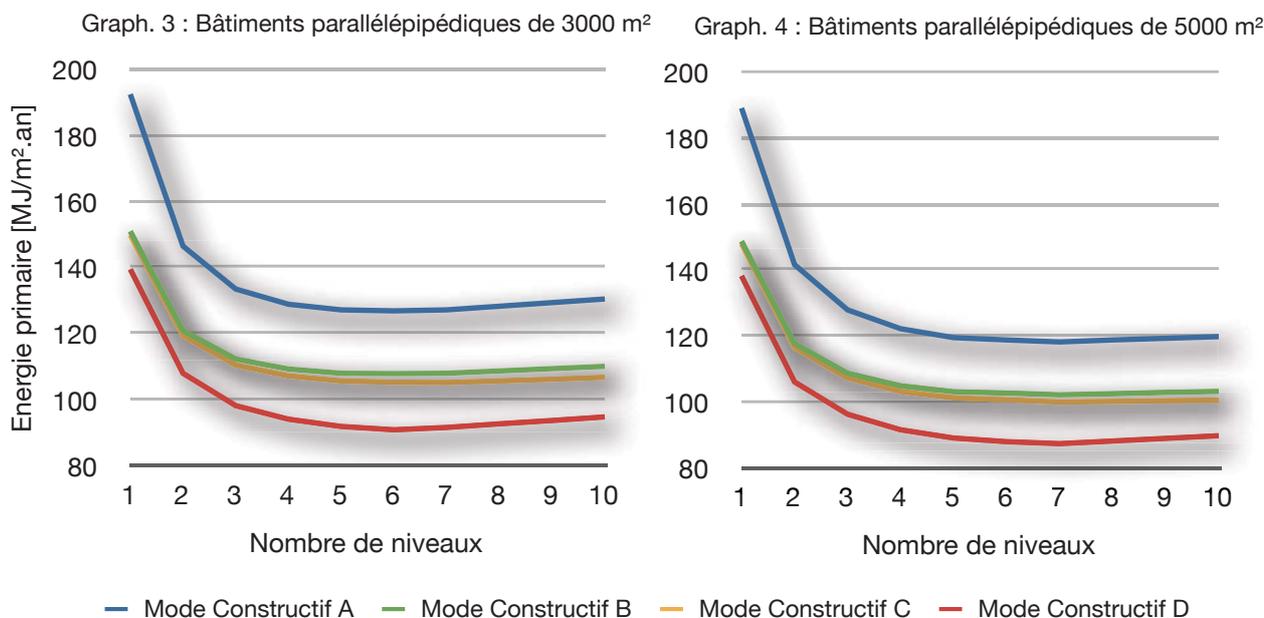
Mode constructif D

Structure en ossature bois, isolation en laine minérale et cadres de vitrages en bois. Dalles mixtes bois/béton.

Nous avons effectué une centaine d'écobilans pour établir les besoins en énergie grise pour des bâtiments de différentes tailles et facteurs de forme et ce, pour les quatre modes constructifs A, B, C et D. Nous présentons une synthèse de ces résultats dans les graphiques 3 et 4 situés page suivante.

En premier lieu, nous remarquons que les courbes sont quasiment parallèles sauf dans le cas du bois (mode constructif D), pour lequel l'augmentation de dépenses en énergie grise, une fois dépassé le nombre de niveaux optimum, est plus rapide que pour les autres systèmes constructifs. Ce phénomène particulier est une conséquence directe des normes de protection incendie qui interdisent les constructions bois de plus de 6 niveaux. Dès lors, tout niveau supplémentaire possède une structure porteuse en béton armé.

Deuxièmement, nous pouvons constater que les modes constructifs B et C sont très proches (1.5% d'écart), laissant finalement le choix entre une structure mixte BA/briques et une construction traditionnelle en BA. Dans la suite de l'étude, ces deux modes seront donc assimilés sous l'intitulé B/C.



Troisièmement, si nous mesurons l'écart d'énergie grise entre les deux modes constructifs extrêmes A et D, nous obtenons environ 35 MJ/m²A_E.an pour le bâtiment de 3000 m² et 30 MJ/m²A_E.an pour celui de 5'000 m². Ainsi, du point de vue strictement énergétique, moins le bâtiment est compact et plus nous avons intérêt à utiliser des matériaux écologiques.

Finalement, opter pour le mode constructif A en lieu et place du D, impliquerait une augmentation des dépenses en énergie grise d'environ 30 à 40% et est donc à éviter sur le périmètre des Plaines-du-Loup.

3.3. Influence des hauts standards énergétiques

De manière à identifier si les hauts standards énergétiques n'accroissent pas le poste énergie grise au point de déboucher sur une contre-performance globale des bâtiments (énergie grise + chaleur), nous avons étudié l'influence de l'augmentation des isolations et qualité de vitrages permettant de passer de la norme SIA 380/1 au standard Passivhaus® (triple vitrage, $U_{\text{façades}} < 0.12 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, etc.). Les compositions détaillées, par élément de construction et en fonction des 4 modes constructifs, sont résumées à l'annexe 2.

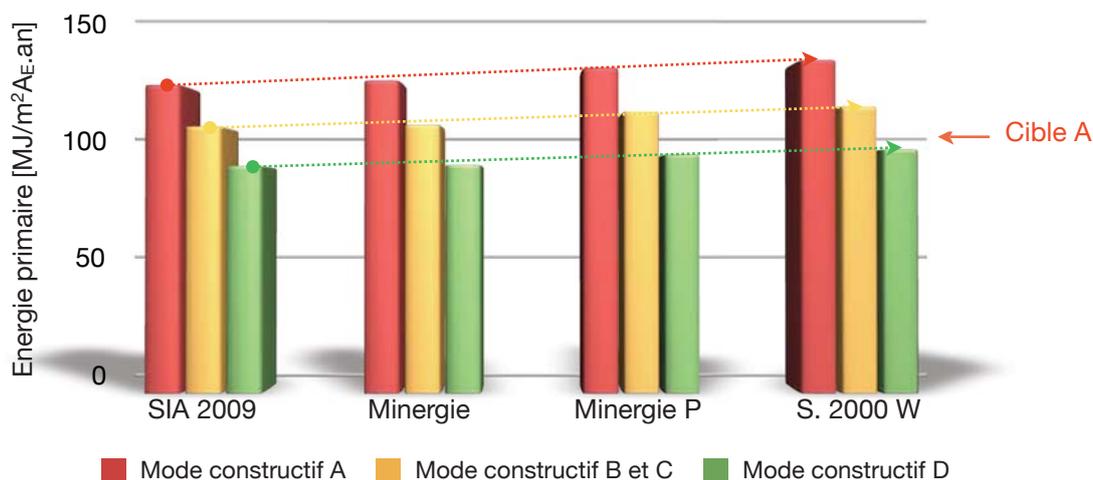
Dans ce chapitre, nous avons cette fois-ci neutralisé l'impact de la morphologie. Ainsi, toutes les simulations effectuées dans ce cadre se basent sur un bâtiment étalon de 2'540 m²A_E, ce qui, à l'échelle du quartier, impliquerait la construction de 137 bâtiments. L'ensemble des caractéristiques de cet étalon est résumé au tableau 3.

Dimension observée	Valeur
Surface brute de plancher	2'540 m ²
Nombre de niveaux	6
Hauteur par niveau	3 m
Taux de vitrage des façades	40%
Emprise au sol	Rectangulaire (L = 2 x l)
Longueur	29.1 m
Largeur	14.55 m
Facteur de forme A_{th}/A_E	0.95

Tableau 3 : Caractéristiques du bâtiment étalon

Dans le graphique 5, nous mettons en évidence l'influence de l'amélioration thermique de l'enveloppe du bâtiment étalon sur les consommations en énergie grise. Ces quatre types d'enveloppe permettent d'atteindre respectivement la norme SIA 380/1 édition 2009, le label Minergie®, Minergie P® et enfin le standard Passivhaus® compatible avec la «Société 2000 watts».

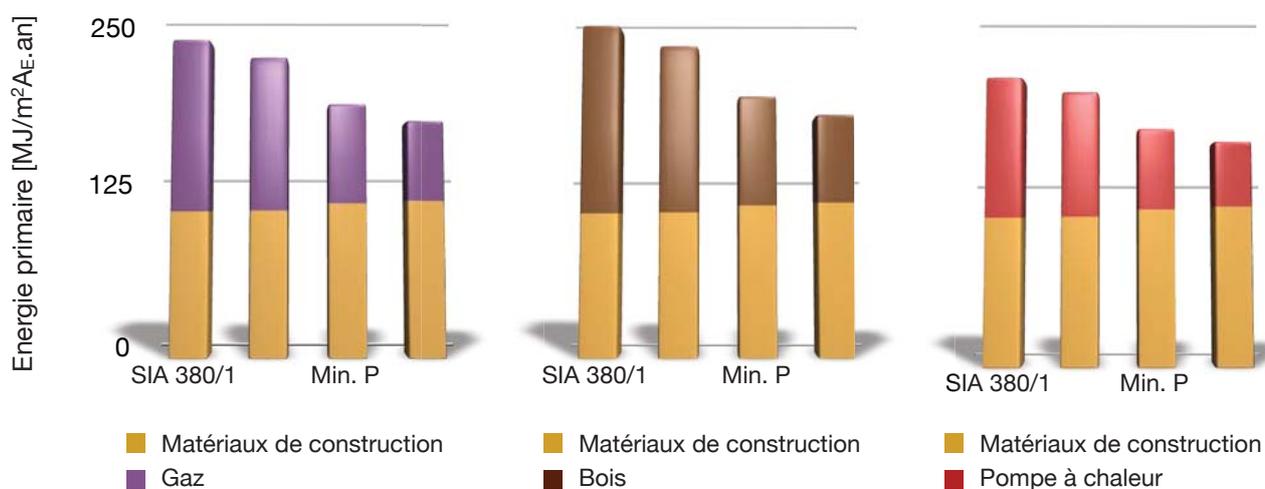
Graph. 5 : Impact du standard énergétique sur l'Eg



Quel que soit le mode constructif, passer de la norme SIA 380/1 au standard Passivhaus® se traduit par une augmentation des besoins en Eg d'environ 8%. Par ailleurs, les matériaux du bâtiment étalon, construit selon le mode constructif A et possédant une enveloppe du type Passivhaus®, consomment 127 MJ/m²A_E.an, soit 27% de plus que la cible A. Dans ces conditions, nous préconisons d'exclure ce mode constructif dans le cadre de la réalisation de l'éco-quartier sous peine de ne pas atteindre les objectifs fixés par la Ville. En revanche, les deux autres modes constructifs sont suffisamment proches de la cible pour être envisageables (mode B/C +10%; mode A -7%).

Enfin, de manière à consolider l'intérêt d'une isolation performante, nous avons établi les consommations d'énergie primaire cumulées sur les deux postes "Matériaux" et "Besoins de chauffage" et ce, pour trois types de production de chaleur et les quatre qualités d'enveloppe citées précédemment. A la vue du graphique 6, nous pouvons constater que, quel que soit le vecteur énergétique (gaz, bois ou électricité via une pompe à chaleur à sondes géothermiques verticales), la mise en oeuvre du standard énergétique Passivhaus® est toujours justifiée. En effet, le léger accroissement des consommations en énergie grise est systématiquement compensé par les économies d'énergie primaire réalisées sur le poste chauffage, ce qui débouche in fine sur une amélioration de l'écobilan global des bâtiments.

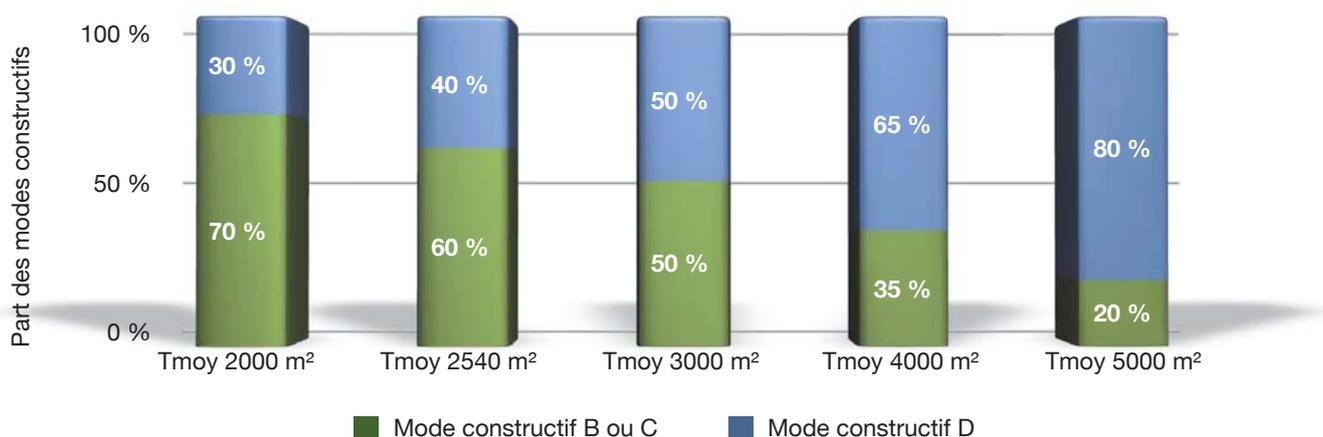
Graph 6 : Energie primaire cumulée "Matériaux de construction" + "Chauffage" en fonction du standard énergétique
Cas d'un bâtiment étalon construit selon le mode B/C



3.4. Mixité des modes constructifs en fonction de la taille des constructions

Comme décrit précédemment, les modes constructifs B/C et D permettent d'obtenir des consommations en énergie grise situées au voisinage des 100 MJ/m²A_E.an et ce, dans le cas d'un bâtiment étalon de 2540 m². A l'échelle du quartier et si la contiguïté est plébiscitée, nous pourrions obtenir une taille moyenne de bâtiments supérieure. Dans le graphique ci-dessous, nous mettons en évidence la conséquence d'une augmentation de cette taille moyenne sur la nécessité de construire à l'aide de matériaux écologiques (mode constructif D). Ainsi, pour la même dépense d'énergie grise (100 MJ/m²A_E.an), plus les bâtiments seront de taille conséquente et posséderont un facteur de forme performant et plus nous pourrions nous affranchir de la nécessité de construire en bois. Inversement, le recours à des modes constructifs écologiques offrira la possibilité de dégager une certaine marge de manoeuvre sur la compacité du quartier.

Graph 7 : Répartition des modes constructifs B/C et D en fonction de la taille moyenne des bâtiments du quartier



Si nous nous plaçons dans le cas d'un quartier dont la taille moyenne des bâtiments est de 2'000 m², respecter la valeur cible A pour l'énergie grise signifie construire 30% des volumes de manière traditionnelle et 70% en ossature bois. Si nous optons pour un quartier dont la taille moyenne des bâtiments est de 4'000 m², alors les choix des modes constructifs sont purement et simplement inversés (65% mode B/C; 35% mode D). Ce constat met en évidence un moyen d'optimiser l'impact environnemental du quartier sans pour autant impliquer de surcoût à la construction (attention toutefois aux conséquences sur les émissions de GES, cf. chapitre "Synthèse et analyse du cycle de vie du quartier").

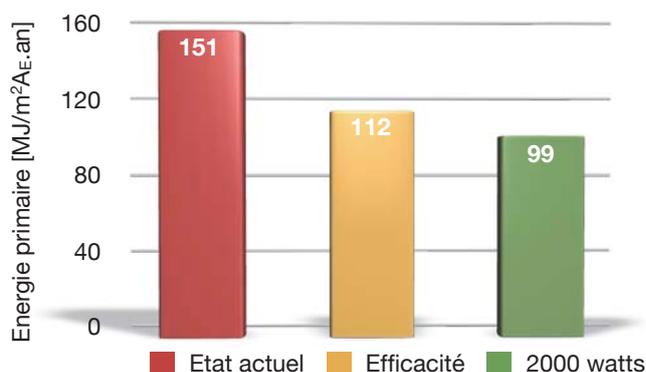
4. Synthèse des différents scénarii

L'objectif de réduction des consommations en énergie grise fixé par la «Société 2000 watts» est de l'ordre des 33% par rapport à la situation actuelle. A l'échelle du quartier, cela représente un enjeu énergétique de 4.8 GWh/an, soit l'équivalent des consommations de chauffage (100% bâtiments Passivhaus®).

Les principaux bras de levier permettant d'atteindre cet objectif, classés par ordre d'importance, sont : la morphologie urbaine puis le mode constructif. Forts de ce qui précède, nous proposons d'exclure le mode constructif A de la planification du quartier des Plaines-du-Loup tant celui-ci dégrade le bilan en énergie grise, ce qui aurait pour conséquence de trop contraindre les aspects dimensionnels des bâtiments (taille et compacité).

Finalement, pour atteindre l'objectif «2000 watts», nous préconisons de viser à l'échelle du quartier, une taille moyenne des bâtiments de l'ordre de

Graph 8 : Synthèse des besoins en énergie grise



3'000 m², un facteur de forme inférieur ou égal à 0.9 et une répartition équilibrée entre les constructions traditionnelles et les réalisations en bois (cf. tableau 4). Comme décrit précédemment, nous pouvons par exemple, avoir recours à la contiguïté pour obtenir ainsi une morphologie urbaine plus performante, ce qui permettra d'assouplir les contraintes sur le mode constructif et consécutivement de réduire les coûts de construction.

Scénario	Mode constructif	Standard énergétique	Caractéristiques dimensionnelles
Etat actuel	100% A	SIA 380/1	SBP _{moy} = 2540 m ² ; A _{th} /A _E = 1.4
Efficacité	100% B ou C	Minergie P®	SBP _{moy} = 3000 m ² ; A _{th} /A _E = 1.0
Société 2000 watts	50% B/C ; 50% D	Passivhaus®	SBP _{moy} = 3000 m ² ; A _{th} /A _E = 0.9

Tableau 4 : Résumé des hypothèses constructives selon les trois scénarios énergétiques

Climat intérieur & eau chaude sanitaire

Enjeux

Au cours des vingt dernières années, l'établissement successif de normes thermiques de plus en plus contraignantes et la création de labels de haute performance énergétique ont permis de réduire de manière drastique les besoins de chaleur des bâtiments neufs ou rénovés. Cette évolution de l'état de l'art se traduit principalement par une amélioration substantielle de la qualité thermique des enveloppes et la mise en oeuvre de systèmes d'aération douce. Ainsi, un bâtiment construit selon les normes actuelles consomme quatre à cinq fois moins de chaleur qu'un bâtiment édifié au début du XX^{ième} siècle. Toutefois, pour atteindre la «Société 2000 watts» et limiter les consommations de chaleur à 24 kWh/m²A_E.an (en énergie primaire), il est nécessaire d'agir également sur le facteur de forme des bâtiments et la valorisation des apports solaires.

L'enjeu de la réduction des besoins de chaleur et de froid dans le bâtiment est double : premièrement, offrir les conditions cadres propices au recours massif à des sources d'énergie renouvelables et ainsi réduire les émissions de gaz à effet de serre; deuxièmement, limiter les frais d'exploitation, l'impact de la hausse du prix des énergies fossiles sur les charges des utilisateurs et la dépendance de la Suisse vis-à-vis de ces énergies tarissables.

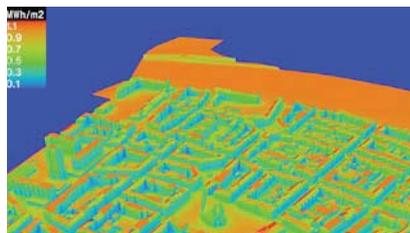
Bras de levier

Les pages suivantes traiteront de la réduction des besoins en énergie dans trois domaines que sont le chauffage, la climatisation et l'eau chaude sanitaire. Pour les deux premiers, les facteurs déterminants sont : la qualité thermique de l'enveloppe des bâtiments; la capacité des constructions à capter ou à se protéger des apports solaires passifs en fonction de la saison; la morphologie du quartier et son aptitude à réduire l'impact du climat extérieur sur les volumes habitables.

Concernant les besoins en eau chaude sanitaire (ECS), dont la part devient prépondérante dès que les bâtiments atteignent un standard du type Minergie P[®] ou Passivhaus[®], le principal levier d'action réside dans la mise en oeuvre de techniques de production de chaleur renouvelable et de limitation des volumes d'ECS nécessaires.



Bâtiment Green Office - Givizier - Suisse
Lutz Architectes



Matthäus, Bâle - irradiation solaire annuelle
Darren Robinson - EPFL-Leso-PB



BedZed - Sutton - Angleterre
Bill Dunster Architecte

Méthodologie

Dans ce chapitre, nous traiterons de la réduction des besoins en énergie finale, ne prenant donc pas en compte les rendements de production et de distribution de la chaleur (ceux-ci seront introduits au chapitre «Ressources & système de conversion d'énergie»). Ce mode opératoire permettra d'étudier l'influence du concept urbanistique et architectural sur les besoins de chaleur ou de froid et ce, indépendamment de toute considération liée aux vecteurs énergétiques.

Par ailleurs, la détermination des besoins en énergie induits par le maintien du climat et donc du confort intérieur, a été réalisée à l'aide de l'outil de simulation dynamique «Pléiades Comfie». En effet, seuls des logiciels de ce type (intégrant l'influence des caractéristiques thermiques de l'enveloppe, de l'inertie de la substance construite, des scénarios de ventilation ou de protections solaires et des masques environnants) permettent d'apporter des réponses pertinentes sur le comportement thermique de bâtiments Minergie P[®] ou Passivhaus[®].

1. Société 2000 watts, climat intérieur & ECS

Dans le cas des bâtiments neufs, la cible A est de 85 MJ/m²A_E.an, respectivement 40 MJ/m²A_E.an pour les habitations et les bureaux. Selon la répartition de ces deux affectations sur l'éco-quartier, nous pouvons définir un objectif global compatible avec la «Société 2000 watts» de 72 MJ/m²A_E.an. Cette cible concerne l'addition des dépenses énergétiques induites par le chauffage et le rafraîchissement des bâtiments et celle induite par la fourniture de l'eau chaude sanitaire utilisée par ses occupants. A contrario, elle ne concerne pas les besoins d'électricité dédiés au fonctionnement des auxiliaires de ventilation qui, pour des questions de conformité avec la SIA 380/4, seront traités dans le chapitre «Lumière & appareils électriques».

Au vu de la performance thermique visée dans le cadre de la «Société 2000 watts», nous avons défini deux principes qui resteront fixes tout au long de ce chapitre. Ainsi, pour l'ensemble des bâtiments dont les besoins en chaleur ont été simulés, nous considérons qu'ils possèdent une isolation extérieure et un système de ventilation permettant de récupérer 80% de la chaleur contenue dans l'air extrait (double flux, PAC sur l'air extrait, etc.).

En effet, une isolation intérieure imposerait un traitement spécifique et coûteux des ponts thermiques générés par sa mise en oeuvre (about de dalle, mur de refend, etc.), sans pour autant atteindre les performances obtenues par l'isolation extérieure. Par ailleurs, compte tenu des épaisseurs d'isolation à mettre en oeuvre dans le cadre de constructions Minergie P[®] ou Passivhaus[®], les pertes de chaleur par renouvellement d'air deviennent supérieures aux pertes par transmission. Dès lors, il est essentiel de prévoir des systèmes de récupération d'énergie sur l'air extrait afin de limiter ce poste de déperdition de chaleur.

Poste de consommation	Abréviation	Energie primaire [MJ/m ² .an]	
		Habitations	Bureaux
Climat intérieur	PE _h (chauffage)	45	30
	P _{hil,lü} (ventil/clim+auxiliaires)	25	70
Eau chaude sanitaire	PE _{ww}	40	10
Valeur cible A		85	40

Tableau 1 : Valeur cible A de la «Société 2000 watts» selon le type d'affectation et pour le poste climat intérieur & ECS (hors auxiliaires de ventilation).

2. Réduction des besoins de chauffage

En préambule, il est important de noter que nous allons exprimer, dans un premier temps, des besoins et non des consommations de chaleur. La consommation globale d'énergie primaire étant soumise au rendement des systèmes de production et de distribution ainsi qu'au facteur d'énergie primaire inhérent au vecteur énergétique, on ne pourra directement comparer les valeurs annoncées sous forme de besoins avec celles décrites dans les objectifs de la «Société 2000 watts». Une approche des consommations en Ep sera finalement proposée dans la synthèse de ce chapitre et traitée en intégralité au chapitre «Ressources [...]».

2.1. Influence de la qualité thermique de l'enveloppe

Dans un premier temps, nous avons établi les besoins de chaleur d'un bâtiment étalon (cf. chapitre «Matériaux», § 3.3) pour les quatre types de performances énergétiques suivantes : norme SIA 380/1 édition 2009, Minergie[®], Minergie P[®] et Passivhaus[®].

L'ensemble des hypothèses constructives est résumé dans le tableau 2. A noter que les caractéristiques spécifiées ne constituent en rien une liste exhaustive des complexes permettant d'atteindre les niveaux de performances décrits. Il s'agit seulement des hypothèses fixées dans le cadre de cette étude.

Enfin, de manière à extrapoler les besoins de chauffage à l'échelle du quartier, nous avons considéré les 137 bâtiments étalons permettant d'obtenir les 348'000 m² de surface brute de plancher planifiés à ce stade.

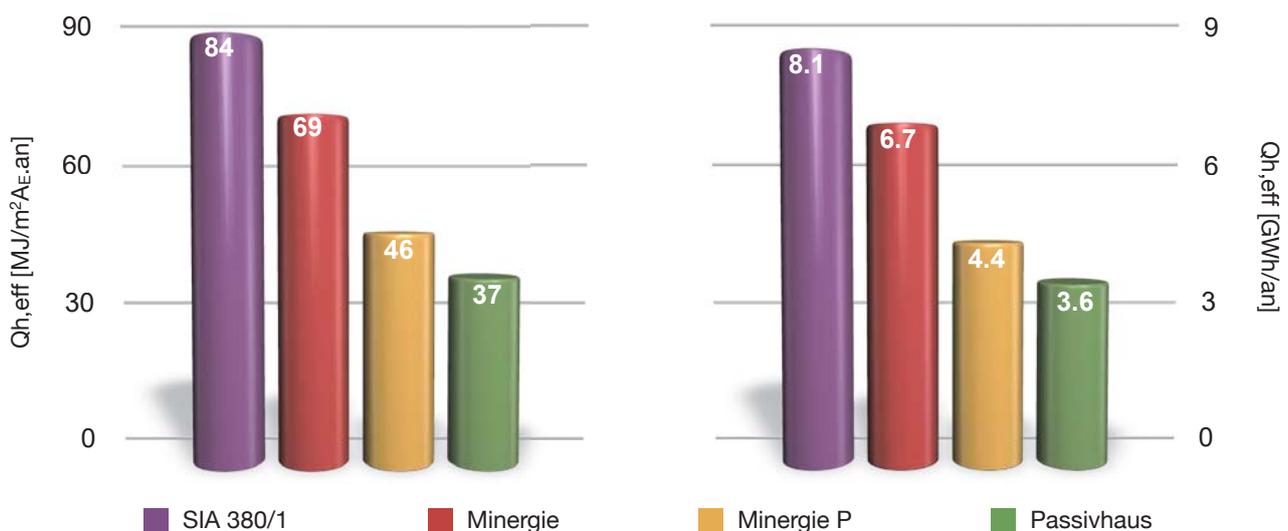
		Façades	Fenêtres (vitrage + cadre)	Toitures	Dalles (contre locaux non chauffés)
SIA 380/1	Caractéristiques constructives	22 cm de laine de roche ou 19 cm d'XPS	Double vitrage	22 cm d'XPS ou 16 de PUR	13 cm d'XPS
	U [W/m ² .K]	0.200	1.30	0.155	0.240
Minergie	Caractéristiques constructives	25 cm de laine de roche ou 21 cm d'XPS	Double vitrage	22 cm d'XPS ou 16 de PUR	15 cm d'XPS
	U [W/m ² .K]	0.180	1.30	0.155	0.205
Minergie P	Caractéristiques constructives	30 cm de laine de roche ou 28 cm d'XPS	Triple vitrage	28 cm d'XPS ou 20 de PUR	19 cm d'XPS
	U [W/m ² .K]	0.140	0.85	0.125	0.160
Passivhaus	Caractéristiques constructives	32 cm d'XPS	Triple vitrage	36 cm d'XPS ou 24 de PUR	21 cm d'XPS
	U [W/m ² .K]	0.115	0.85	0.095	0.155

Tableau 2 : Caractéristiques constructives et thermiques des enveloppes des bâtiments en fonction des standards énergétiques.

A la vue du graphique 1 qui présente une synthèse des besoins de chaleur $Q_{h,eff}$ (tenant compte du rendement de récupération de chaleur de 80% sur l'air extrait), nous pouvons remarquer tout d'abord que la norme en vigueur est assez proche du label Minergie®. Toutefois, l'atteinte de la cible «Société 2000 watts» nécessite une réduction des besoins de chaleur d'environ 60% par rapport à la SIA 380/1 édition 2009. A l'échelle du quartier le besoin d'énergie utile pour le chauffage des bâtiments passe de 8.1 à 3.6 GWh/an selon que les bâtiments seront construits conformément à la norme ou au standard Passivhaus®.

Compte tenu des pertes de rendement classiques (0.8 pour production et distribution), le quartier construit selon le scénario Passivhaus® devrait consommer environ 4.5 GWh d'énergie finale par an. A contrario, si nous nous contentions de la norme en vigueur, le quartier des Plaines-du-Loup consommerait plus de 10 GWh/an.

Graph 1 : Besoin d'énergie utile pour le chauffage en fonction du standard énergétique des bâtiments



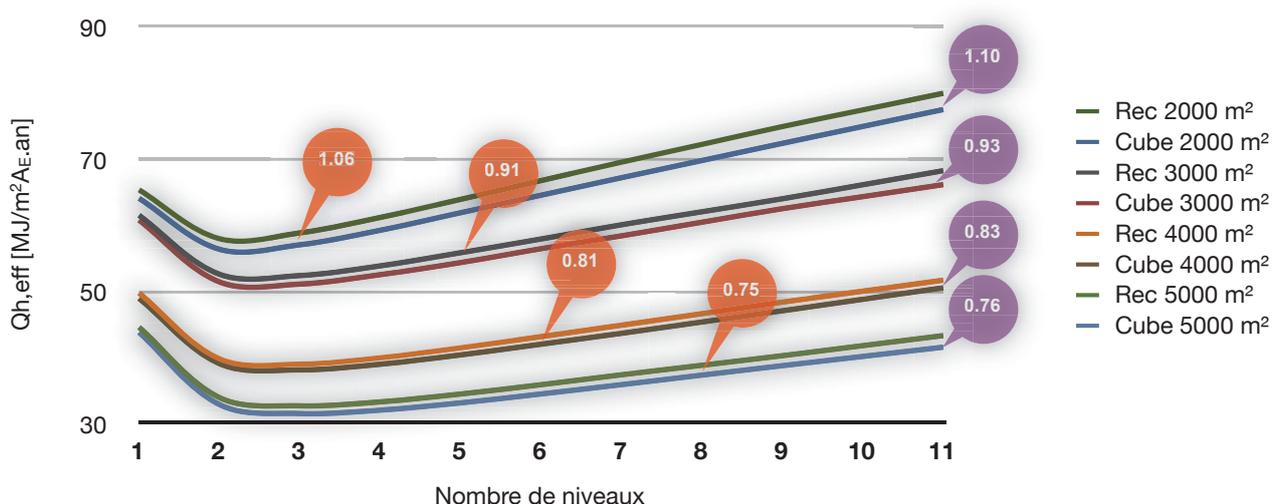
2.2. Influence de la morphologie urbaine

Comme décrit dans le chapitre «Matériaux», le facteur de forme des bâtiments (A_{th}/A_E) caractérise le rapport entre la surface de l'enveloppe et la surface de référence énergétique A_E . A l'instar de ce qui a été constaté pour l'énergie grise, plus ce facteur sera faible et moins le besoin de chauffage par m^2A_E sera élevé.

Deux caractéristiques géométriques des bâtiments permettent de jouer sur sa compacité. La forme du bâtiment, d'une part (parallélépipédique, cubique, cylindrique, etc.) et sa taille, d'autre part. En effet, pour une forme identique, plus la surface brute de plancher est importante et meilleure est la compacité du bâtiment.

Afin de définir l'influence du facteur de forme sur les besoins de chauffage, nous avons simulé le comportement d'environ 150 bâtiments de tailles et de formes différentes. Ainsi, le graphique 2 résume le comportement de deux familles de bâtiments (cubique et parallélépipédique) étudiées systématiquement pour 4 tailles différentes allant de 2'000 à 5'000 m^2A_E . Par ailleurs, de manière à obtenir des facteurs de forme différents, nous avons, dans chacun des cas, fait varier le nombre de niveaux de 1 à 11. Finalement, l'ensemble des autres facteurs influençant le besoin de chaleur est neutralisé et donc constants dans l'ensemble des cas traités. Ainsi, les surfaces vitrées représentent 40% des façades; les bâtiments sont orientés nord-sud; conformément à la SIA 380/1, la consigne de température intérieure est de 20°C; les bâtiments possèdent une isolation du type Passivhaus®; le masque solaire (ombre portée des masques proches et lointains : bâtiments voisins, ligne d'horizon, etc.) est de 22.5°.

Graph 2 : Besoin de chauffage d'un bâtiment Passivhaus en fonction de la taille et du nombre de niveaux



Aide à la lecture du graphique :

Les coefficients de forme repérés en rouge sur le graphique correspondent à des cas réalistes en terme d'aménagement. A contrario, les bâtiments possédant des étages d'une surface supérieure à 1'000 m^2 (par ex. bâtiment de 4'000 m^2 sur 3 niveaux), bien qu'étant plus performants en terme de chauffage, s'éloignent d'une logique de conception bioclimatique et risquent de dégrader la qualité de l'éclairage naturel, voire de la distribution intérieure. Leur performance est en effet artificiellement améliorée par une plus grande proportion de toiture et de plancher contre locaux non chauffés, éléments d'enveloppe pour lesquels l'isolation thermique est supérieure aux façades dont la valeur U globale est affaiblie par les 40% de vitrage. Les repères mauves permettent quant à eux de matérialiser l'influence de la taille sur le facteur de forme et donc sur les besoins de chauffage.

A la vue du graphique 2, nous pouvons tout d'abord constater que la différence entre un bâtiment cubique et parallélépipédique reste très minime. A contrario, la taille ressort comme un facteur déterminant quant aux besoins de chauffage. Ainsi, pour des conditions d'isolation et d'ensoleillement identiques, les bâtiments de 4'000 à 5'000 m^2A_E (facteurs de forme < 0.85) nécessitent deux fois moins d'énergie utile pour se chauffer que les bâtiments de 2'000 à 3'000 m^2A_E .

2.3. Influence de la capacité à valoriser les apports solaires

Le dernier potentiel de réduction des besoins de chauffage d'un bâtiment réside dans sa capacité à profiter des apports solaires gratuits en période de chauffe. Ainsi, de manière générale, la prépondérance de surfaces vitrées orientées au sud est bénéfique en terme de gains solaires. Toutefois, de manière à éviter la création de zones d'inconfort au sein des bâtiments (tant du point de vue thermique que de l'éclairage naturel), un équilibre global doit être recherché entre la répartition des surfaces vitrées selon l'orientation des façades, d'une part, et la proportion de surfaces translucides vis-à-vis des surfaces opaques, d'autre part. Cette recherche de l'optimum entre la limitation des déperditions et l'amélioration du confort intérieur ne peut se faire qu'à l'aide d'outils de simulation dynamique, permettant une intégration de l'ensemble des facteurs déterminants souvent en interaction. Toutefois, et en vertu des simulations effectuées, nous pouvons établir un certain nombre de conseils généraux aidant à la recherche de cet équilibre :

* Surfaces vitrées

La majoration des surfaces vitrées au sud devrait se faire, dans la mesure du possible, au dépend de celles des autres façades, de manière à ne pas dépasser les 40% de surfaces vitrées pris pour hypothèse initiale. Compte tenu de la qualité thermique des éléments de construction actuels, nous ne devons pas perdre de vue qu'un m² de vitrage situé au nord perd toujours cinq fois plus de chaleur qu'un mur plein. Par ailleurs, l'hypothèse de 40% de surfaces vitrées en façade est tout à fait suffisante pour assurer une valorisation conséquente de la lumière naturelle. D'ailleurs, nous pouvons nous référer au label Minergie Eco[®] qui rend inéligible les bâtiments pour lesquels le taux de vitrages dépasse 50%, alors même que les exigences en terme d'éclairage naturel sont élevées.

* Protections solaires

Dans le cas de bâtiments de type Minergie P[®] et Passivhaus[®], et afin de se prémunir d'éventuelles surchauffes inhérentes à l'importance de vitrages orientés au sud et à la qualité d'isolation, il est impératif de mettre en place une stratégie de protection permettant de contrôler les apports solaires directs qui ne seraient pas souhaités en période estivale, voire en intersaison.

* Masques solaires

La capacité d'un bâtiment à récupérer les apports solaires dépend enfin des masques environnants. La résultante de l'influence des masques proches et lointains correspond au masque solaire moyen.

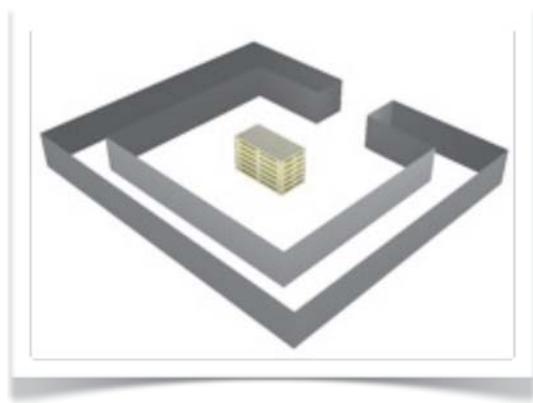


Schéma 1 : Représentation d'un bâtiment encerclé

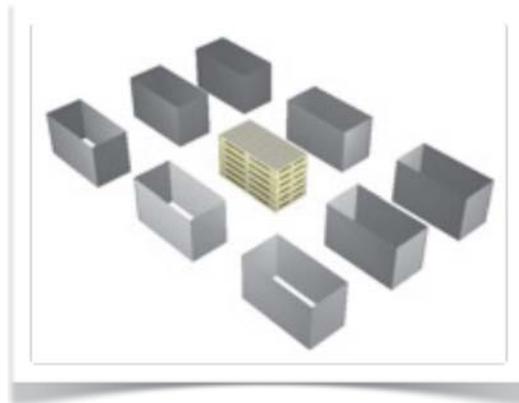
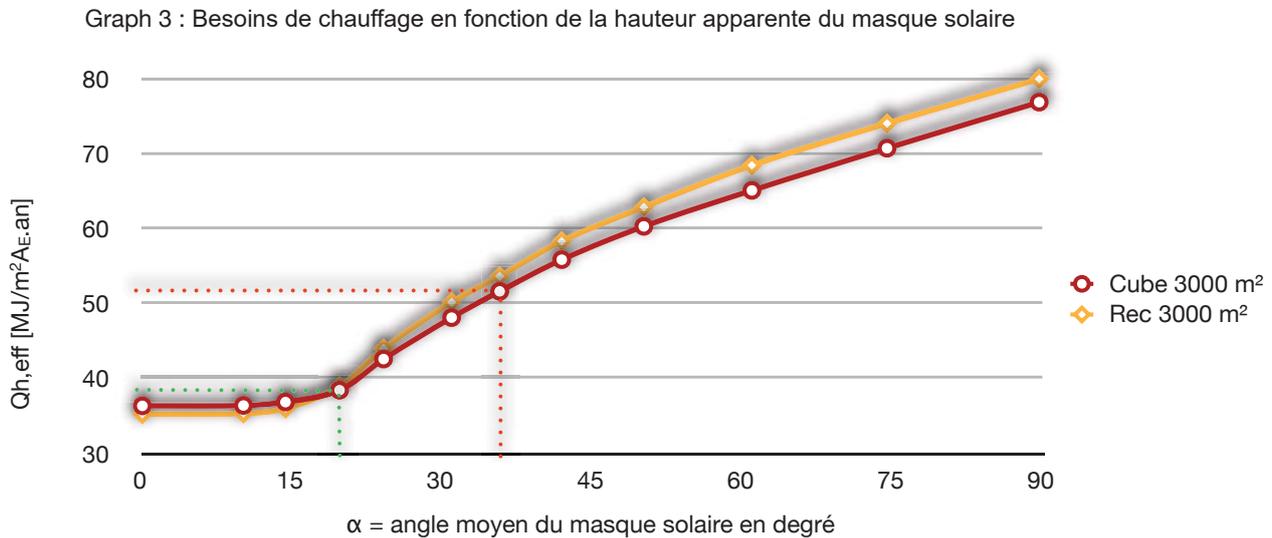


Schéma 2 : Représentation d'un bâtiment centré au milieu d'un îlot

Notion de masque moyen : le schéma 1 montre un bâtiment encerclé par une ceinture de bâtiments se situant à 40 m de ses propres façades et ayant une hauteur de 18 m. Le schéma 2 représente un bâtiment situé au sein d'un îlot de bâtiments de 18 m de haut et écartés les uns des autres de 18 m également. Contrairement aux idées reçues, dans les deux cas de figure, les bâtiments valorisent sensiblement la même quantité d'énergie solaire. Finalement, tout ce passe comme si les deux bâtiments subissaient l'ombre portée d'un masque solaire moyen compris entre 20 à 25°.

Impact du masque sur les apports solaires

Afin d'étudier l'influence de la valorisation des gains solaires passifs sur les besoins de chauffage, nous avons placé deux bâtiments (1 cubique, 1 parallélépipédique) dans un environnement où la hauteur du masque solaire moyen varie de 0 à 90°. Outre leur forme, ces deux bâtiments possèdent les mêmes caractéristiques, à savoir : 3'000 m² de SBP, 6 niveaux (R+5), 40% de surfaces vitrées en façade, orientation nord-sud et isolation thermique de type Passivhaus®.



A la lecture du graphique 3, nous pouvons constater que le comportement des bâtiments se scinde en deux zones distinctes :

- * La plage $0^\circ < \alpha < 20^\circ$ correspond à la valorisation maximale des apports solaires et donc à l'atteinte d'une valeur plancher en terme de besoins de chauffage (environ 36 MJ/m²A_E.an). Par ailleurs, la valeur $\alpha = 20^\circ$ est un point d'inflexion pour lequel les deux courbes se croisent; en d'autres termes, entre 0 et 20°, le bâtiment parallélépipédique consomme légèrement moins de chaleur que son homologue cubique car il combine de très bonnes conditions d'ensoleillement à une plus grande façade orientée au sud. A contrario, au-delà de 20°, le bâtiment cubique, plus compact, consomme systématiquement moins de chaleur que le parallélépipède.
- * La plage $\alpha > 20^\circ$ se traduit par une diminution rapide des gains solaires passifs et donc par une augmentation quasi linéaire des besoins de chauffage. Entre les deux points extrêmes de cette plage ($\alpha = 20^\circ$ et $\alpha = 90^\circ$), les besoins de chauffage augmentent d'un facteur 2.

En résumé, cette étude met en lumière l'influence accrue de l'impact des gains solaires sur le bilan thermique global d'un bâtiment du type Passivhaus®. En d'autres termes, la réduction des ombres portées des masques proches et lointains est un facteur de réussite essentiel à l'atteinte de la «Société 2000 watts» et ce sans surcoût à la construction (entre un masque solaire de 20° et 35° et pour une même qualité thermique de bâtiment, on constate une augmentation de 50% des besoins de chauffage). Enfin, hormis dans le cas d'une excellente exposition (masque solaire moyen inférieur à 20°), il est préférable de favoriser l'optimisation du facteur de forme à l'exposition de larges façades orientées au sud.

Impact de l'orientation sur les apports solaires

Les apports solaires valorisables dépendent aussi de facteurs tels que l'angle d'incidence du rayonnement sur les surfaces vitrées. Plus le rayonnement attaque le vitrage avec une incidence proche de 90° et plus le taux de transmission est élevé. Cet angle dépend de l'orientation de la façade et de la hauteur du soleil. C'est pourquoi les rayons rasants de fin d'après-midi qui viendraient à frapper un vitrage orienté ouest et dépourvu de protection solaire seraient une source de surchauffe éventuelle.

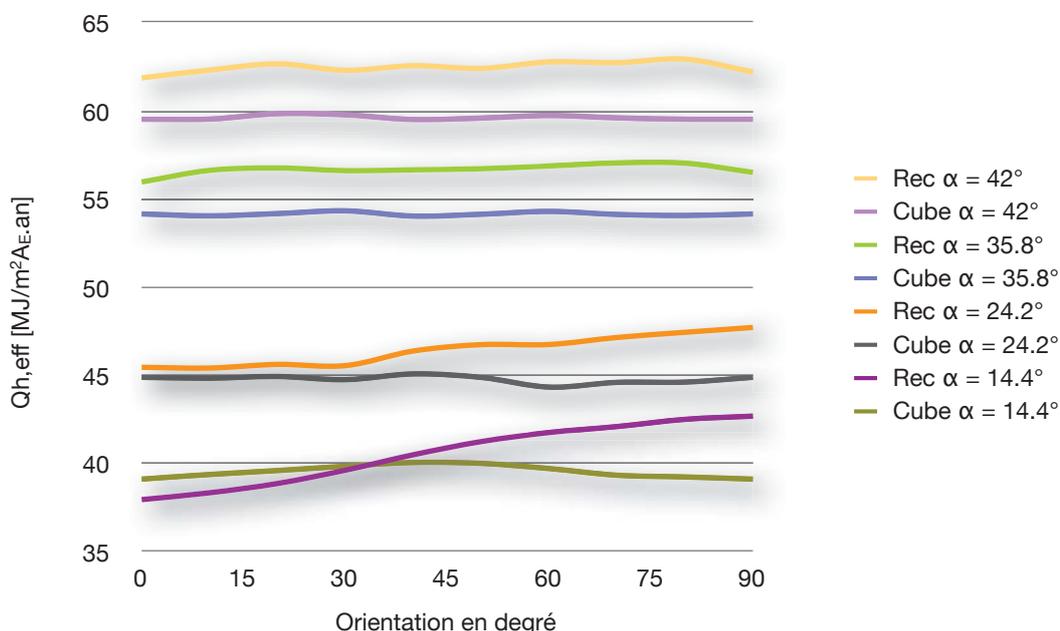
Afin d'étudier ce phénomène, nous avons simulé le comportement de deux séries de bâtiments étalons (cf. chapitre «Matériaux»), l'une de forme cubique et l'autre de forme parallélépipédique. Ces deux familles de bâtiments sont placées dans un environnement où la hauteur du masque solaire moyen prend les valeurs successives de 14.4°, 24.2°, 35.8° et 42°. Enfin, dans chacun de ces cas, nous faisons pivoter les bâtiments de 0 à 90° par pas de 45° (cf. schéma 3).



Schéma 3 : Visualisation des trois orientations différentes simulées sur Pléiades Comfie

Le graphique 4 démontre que pour un masque moyen supérieur à 25° et dans le cas d'un bâtiment Passivhaus®, l'avantage que pourrait retirer un parallélépipède présentant une large façade orientée au sud est moindre que celui découlant d'un bon facteur de forme. Ce constat est d'ailleurs valable quelle que soit l'orientation du bâtiment.

Graph 4 : Besoins de chauffage en fonction de la hauteur du masque et de l'orientation du bâtiment



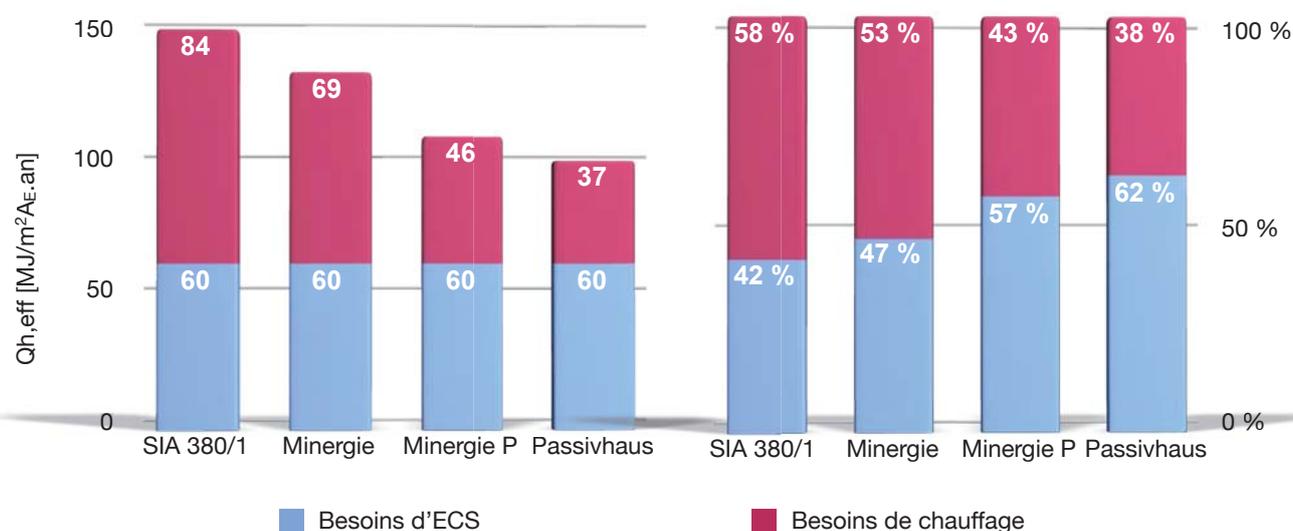
A contrario, l'orientation commence à avoir un effet bénéfique sur les besoins de chauffage d'un bâtiment parallélépipédique dès que l'angle passe en dessous des 25° (cf. courbes orange et mauve). Ainsi, pour le cas $\alpha = 14.4^\circ$, un bâtiment parallélépipédique orienté plein sud consomme 11% de moins qu'un pavé orienté ouest. Enfin, s'agissant des bâtiments cubiques, nous pouvons noter que l'influence de l'orientation sur ses besoins de chauffage est quasiment nulle, ceci en raison de l'importante isolation mise en oeuvre et du fait que le bâtiment étalon possède le même taux de vitrage quelle que soit la façade.

3. Réduction des besoins en eau chaude sanitaire

3.1. Niveau de consommations standard

Au fur et à mesure que les normes sur la qualité thermique des bâtiments évoluaient, la part relative des besoins d'eau chaude sanitaire sur la consommation globale de chaleur augmentait. De manière à illustrer cet état de fait, nous avons représenté sur le graphique 5, les besoins de chauffage et d'eau chaude selon différents standards énergétiques. La consommation d'ECS dépendant essentiellement de l'occupation et du comportement des utilisateurs, ils restent quant à eux invariables quelle que soit la qualité de l'enveloppe. L'ensemble des calculs concernant les besoins d'eau chaude sanitaire a été établi selon la SIA 380/1 qui fixe à 75 MJ/m²A_E.an le besoin d'ECS dans l'habitat collectif et à 25 MJ/m²A_E.an pour l'affectation bureau. Compte tenu du mix des affectations prévu sur le quartier des Plaines-du-Loup, nous obtenons un besoin moyen de 60 MJ/m²A_E.an soit 5.8 GWh/an d'énergie utile.

Graph 5 : Besoins cumulés de chauffage et d'eau chaude sanitaire selon le standard énergétique



Conformément à ce qui vient d'être dit, nous pouvons remarquer que les besoins en ECS sont supérieurs aux besoins de chauffage dès que le standard dépasse Minergie[®], pour finalement représenter plus de 60% des besoins de chaleur dans le cas d'une construction hautement isolée type Passivhaus[®].

3.2. Réduction de l'énergie primaire nécessaire à la production d'ECS

Les habitudes actuelles ne permettent pas de réduire de manière substantielle la consommation d'ECS. Dans ce domaine, l'accroissement de l'efficacité passe donc surtout par une réduction des pertes de chaleur des systèmes de stockage et de distribution. Des mesures de planification (en phase de développement du projet) comme la concentration des gaines techniques et des points de soutirage autour de ces dernières ont une grande influence sur les déperditions lors de la distribution de l'ECS. En complément, des mesures techniques comme l'isolation du réseau jusqu'aux points de soutirage (de manière à éviter les déperditions non valorisables en été) et l'utilisation d'appareils économes en eau, donnent de bon résultats tout en maintenant le niveau de confort de l'utilisateur.

Enfin, de manière à atteindre les valeurs cibles des objectifs de performance énergétique de la « Société 2000 watts », la demande en énergie pour la mise à disposition de l'eau chaude sanitaire doit et peut être couverte en grande partie par des énergies renouvelables. Compte tenu des comportements et techniques actuels, satisfaire la cible A signifie réduire les consommations d'énergie primaire pour l'eau chaude sanitaire à 31 MJ/m²A_E.an (moyenne à l'échelle du quartier). Cela imposerait de respecter, par exemple, les mix énergétiques suivants : 18.3% mazout - 81.7% solaire thermique; 20.1% gaz à condensation - 79.9% solaire thermique; 48% PAC - 52% solaire thermique; 100% bois (cf. annexe 3).

4. Besoins de rafraîchissement

Compte tenu de l'avancement du projet et par méconnaissance des affectations précises des différents bâtiments du quartier, il est difficile d'appréhender, à ce stade, les besoins en froid. Il est bien évident qu'une activité bancaire, par exemple, nécessitant un refroidissement actif de ses serveurs informatiques, ne va pas appeler la même puissance de climatisation qu'un simple cabinet médical. Par contre nous pouvons d'ores et déjà définir une stratégie de confort d'été, permettant à l'ensemble des bâtiments de se prémunir des surchauffes éventuelles dues aux apports solaires estivaux. Dans ce chapitre nous ne considérerons donc pas les cas spécifiques pour lesquels les apports internes sont conséquents. Ces aspects devront être traités au cas par cas durant la phase d'étude des projets.

4.1. Influence des protections solaires

Quelle que soit l'affectation d'un bâtiment, il est primordial de développer une stratégie de protection solaire, de manière à limiter la puissance de froid nécessaire, voire, dans le cas de l'habitat, à se passer de l'installation d'un système de climatisation. Les protections des surfaces translucides peuvent être de plusieurs types et leurs caractéristiques doivent être différenciées selon l'orientation.

Les apports solaires transmis par les surfaces translucides situées au sud sont les plus faciles à maîtriser. En effet, la course du soleil étant particulièrement haute en période estivale (cf. schéma 4), les protections fixes du type casquette, avancée de toiture, balcon, etc. sont très efficaces pour cette orientation. Elles permettent de protéger les surfaces vitrées du rayonnement direct sans péjorer leur faculté de récupérer ces apports gratuits en période hivernale (cf. schéma 5).

Sur les façades est et ouest, nous préférons des protections verticales amovibles (stores extérieurs à lamelles, etc.) qui permettront de se protéger du rayonnement solaire en fin de journée durant l'été (cf. schéma 6), tout en laissant la possibilité de valoriser les apports solaires en mi-saison (cf. schéma 7). Enfin, de manière générale, il est préférable d'avoir recours à des systèmes à lamelles ou à persiennes permettant de conserver un apport en lumière naturelle.

Vue d'une façade sud depuis la position du soleil



Schéma 4 : 12H00 au mois de juin

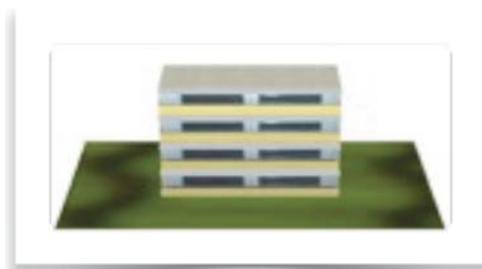


Schéma 5 : 12H00 au mois de décembre

Vue d'une façade ouest depuis la position du soleil



Schéma 6 : 17H00 au mois de juin



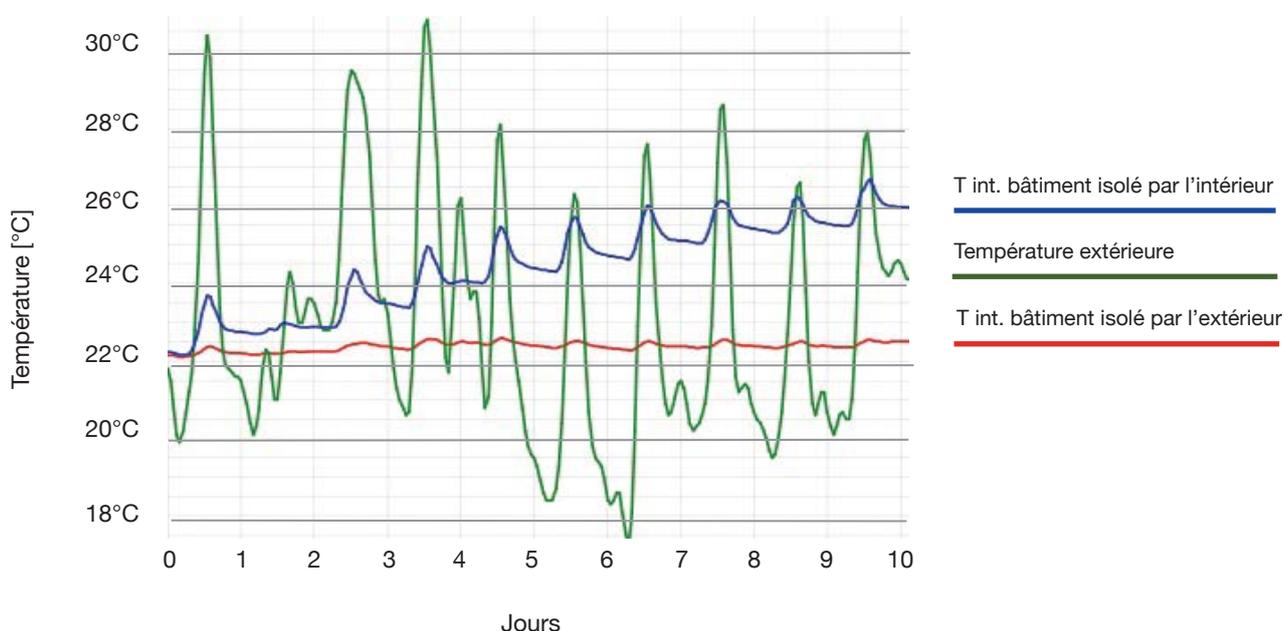
Schéma 7 : 15H00 au mois de décembre

4.2. Influence de l'inertie thermique des bâtiments

Un bâtiment bénéficiant d'une forte inertie (immeuble massif et isolé par l'extérieur) est capable de déphaser et de diminuer l'amplitude des variations de température extérieure, de manière à ce que son volume intérieur ne subisse pas de hausse (ou de chute) brutale de température. Si le bâtiment est, par ailleurs, conçu pour permettre une surventilation nocturne (naturelle ou mécanique) et ainsi, admettre puis stocker en son intérieur l'air frais des nuits estivales, il devient envisageable de maintenir la température intérieure dans une certaine zone de confort et sans système de climatisation

Pour mettre en évidence ce phénomène bien connu, nous avons simulé le comportement de deux bâtiments «étalons» (cf. chapitre «Matériaux»), l'un isolé par l'extérieur et l'autre par l'intérieur (inertie limitée). La simulation s'est effectuée sur une période estivale de 10 jours ensoleillés et chauds (pointes de température > 30°C). Aucune protection solaire n'a volontairement été installée, de manière à n'étudier que l'influence de l'inertie sur la température intérieure des bâtiments.

Graph 6 : Influence de l'inertie d'un bâtiment sur sa température intérieure (période estivale)



A la vue du graphique 6, nous constatons qu'en dépit d'une amplitude de la température extérieure de près de 10°C entre le jour et la nuit, le bâtiment à forte inertie ne subit que des variations infimes de sa température intérieure. Par ailleurs, la valorisation de la fraîcheur nocturne lui permet de conserver une température quasiment constante sur les dix jours observés. A contrario, le bâtiment à faible inertie subit sur la même période une hausse de sa température intérieure de près de 4°C, tout en enregistrant des variations jour/nuit d'environ 2°C.

En conclusion et sous nos latitudes, il est possible d'assurer un confort thermique d'été pour l'ensemble des bâtiments à faibles apports internes, dès lors qu'ils possèdent une isolation extérieure (permettant de conserver l'inertie de la structure porteuse à l'intérieur du volume tempéré), des protections solaires extérieures et adaptées en fonction de l'orientation des vitrages et la possibilité de surventiler la nuit.

Forts de ce qui précède, nous considérerons dans cette étude que les besoins d'énergie pour la production de froid sont nuls pour l'affectation «Habitat». S'agissant de l'affectation «Bureau» et ne pouvant déterminer, à ce stade, les besoins spécifiques en froid, nous considérerons ici que les éventuelles dépenses d'énergie primaire associées seront compensées par des énergies renouvelables (CAD + absorption, géocooling direct + PV, courant électrique renouvelable, etc.).

5. Synthèse des différents scénarii

Dans le domaine du climat intérieur et de l'eau chaude sanitaire, la cible A de la «Société 2000 watts» est particulièrement ambitieuse puisque, appliquée au quartier des Plaines-du-Loup, cela reviendrait à limiter les consommations d'énergie primaire à 72 MJ/m²A_E.an ou 20 kWh/m²A_E.an (hors auxiliaires de ventilation).

Dans ce chapitre, nous avons identifié plusieurs facteurs de succès liés à la réduction des besoins de chauffage et proposons de les résumer ci-après par ordre d'efficacité :

- * **Tout d'abord, la taille et donc le facteur de forme des bâtiments.** En effet, pour des bâtiments possédant une surface brute de plancher inférieure à 3000 m², il apparaît difficile d'atteindre la valeur cible de la «Société 2000 watts» relative au climat intérieur et ce, quelle que soit la qualité thermique de l'enveloppe ou la production de chaleur associée (cf. chapitre «Ressources et systèmes de conversion d'énergie»). Il en est de même pour des bâtiments possédant un facteur de forme supérieur à 0.9. Ainsi, de manière à dégager des marges de manoeuvre au niveau économique et architectural, il serait souhaitable de favoriser, sur le quartier des Plaines-du-Loup, un urbanisme dense, préférant la contiguïté et les typologies sur cour à l'implantation de petits bâtiments (du type villas urbaines) qui, par définition, sont isolés les uns des autres. A ce stade, il est essentiel de préciser que cet objectif s'entend en moyenne sur le quartier et ne constitue en aucun cas une règle absolue à appliquer sur chacun des bâtiments, sous peine de se retrouver en contradiction avec la diversité urbanistique et architecturale souhaitable et désirée pour ce quartier.
- * **Deuxièmement, la qualité thermique des enveloppes des bâtiments et la récupération de chaleur sur l'air extrait.** Seuls des standards du type Passivhaus®, voire Minergie P® (limitant les besoins de chaleur entre 10 et 15 kWh/m²A_E.an), semblent être des solutions compatibles avec la «Société 2000 watts». Le simple respect de la norme SIA 380/1 édition 2009 ou du label Minergie® ne permet pas d'atteindre l'objectif global de performance énergétique, sauf à contraindre lourdement les autres domaines de consommation tels que l'électricité ou la mobilité, pour lesquels, nous le verrons par la suite, les efforts à fournir sont considérables.
- * **Finalement, la capacité des bâtiments à valoriser les apports solaires gratuits en période de chauffe, tout en s'en protégeant durant l'été.** Dans le cas de bâtiments fortement isolés et contrairement aux attentes, le facteur déterminant dans ce domaine est moins l'orientation du bâtiment que les ombres projetées sur ce dernier par les masques proches et lointains qui l'entourent. Nous avons mis en évidence un optimum quant à la valorisation des apports solaires, correspondant à un masque solaire moyen d'un angle de 20 à 25° (cf. § 2.3). Pour des valeurs plus élevées, les gains solaires diminuent rapidement et, en retour, les besoins de chauffage croissent (augmentation des besoins de chaleur de 50% en passant d'un angle de 20 à 35°). Afin d'approcher cet optimum, il serait souhaitable que chaque bâtiment soit écarté d'une distance au moins égale à la hauteur de ses masques proches. Si, pour des questions urbanistiques, cet écartement devait être réduit, des solutions du type BedZed (cf. annexe 7), qui proposent de tronquer la toiture des bâtiments de manière à limiter les ombres portées, constituent de véritables pistes de réflexion.

S'agissant de l'eau chaude sanitaire, deux facteurs d'optimisation sont à mettre en oeuvre simultanément : d'une part, la limitation des pertes de chaleur liées au système de stockage et de distribution, couplée à l'installation d'appareils permettant d'économiser les ressources en ECS; d'autre part une, couverture des besoins majoritairement à l'aide d'énergies renouvelables (cf. annexe 3).

S'agissant des besoins de froid et sous nos latitudes, il est possible d'assurer un confort thermique d'été pour l'ensemble des bâtiments à faibles apports internes, dès lors qu'ils possèdent une isolation extérieure, des protections solaires efficaces et la possibilité de surventiler la nuit. Dans ces conditions, seules des affectations particulières, pour lesquelles les besoins de froid sont essentiels à leur fonctionnement, devraient avoir recours à la climatisation active et à condition de répondre à ces besoins à l'aide de sources renouvelables d'énergie.

Finalement, de manière à positionner les trois scénarii «Etat actuel», «Efficacité» et «Société 2000 watts», relatifs au chapitre «Climat intérieur et ECS», nous avons choisi trois types de production de chaleur (cf. tableau 3) nous permettant de passer des besoins aux consommations d'énergie primaire. Il s'agit ici de trois exemples réalistes, mais non exhaustifs (l'ensemble des systèmes de conversion d'énergie et leur impact économique et environnemental seront traités dans le chapitre suivant «Ressources et systèmes de conversion d'énergie»). Le tableau 3 résume l'ensemble des hypothèses prises dans le cadre de cette synthèse. A noter que pour passer des besoins aux consommations d'énergie primaire, nous avons tenu compte des pertes de distribution, de production ainsi que des facteurs de conversion en énergie primaire propres à chaque vecteur énergétique.

Scénarii	Facteur de forme	A _E	Qualité de l'enveloppe	Ventilation	Production de chaleur
Etat actuel	1.4	2'000 m ²	SIA 380/1	Simple flux	Chauffage à distance (CAD Lausanne)
Efficacité	1.0	2'500 m ²	Minergie P	Double flux, $\eta = 80\%$	Pompe à chaleur (300 m) + capteurs solaires thermiques (30% des besoins d'ECS)
Société 2000 watts	0.9	3'000 m ²	Passivhaus	Double flux, $\eta = 80\%$	Pompe à chaleur (500 m) + capteurs solaires thermiques (30% des besoins d'ECS)

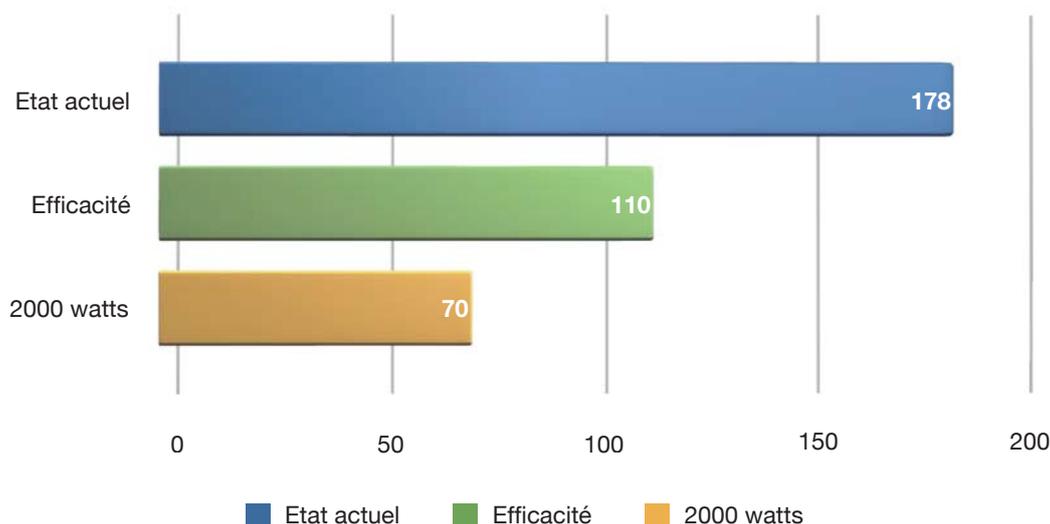
Tableau 3 : Résumé des hypothèses constructives selon les trois scénarii énergétiques

Chauffage : (CAD : $\eta_{\text{échangeur}} = 0.95$, $F_{Ep} = 0.654$; PAC_{300m} : COP = 4.25, $F_{Ep} = 2.97$; PAC_{500m} : COP = 6.6, $F_{Ep} = 2.97$; $\eta_{\text{distrib_Chauffage}} = 0.9$)

ECS : (CAD : $\eta_{\text{échangeur}} = 0.90$, $F_{Ep} = 0.654$; PAC_{300m} : COP = 2.25, $F_{Ep} = 2.97$; PAC_{500m} : COP = 3.2, $F_{Ep} = 2.97$; $\eta_{\text{distrib_ECS}} = 0.85$)

Au vu du graphique 7, nous pouvons confirmer la nécessité de réduire d'un facteur 2.5 les consommations en énergie primaire entre le scénario «Etat actuel» et le scénario «Société 2000 watts». Malgré les bonnes performances du CAD lausannois (facteur de conversion en énergie primaire de 0.65), le scénario «Etat actuel» est dégradé par le facteur de forme et la qualité thermique de l'enveloppe du bâtiment considéré ($A_{th}/A_E = 1.4$, enveloppe SIA 380/1) ainsi que par la non-récupération de chaleur sur l'air extrait, inhérente au système de ventilation simple flux.

Graphique 7 : Energie primaire nécessaire à la couverture des besoins de chaleur en fonction du scénario



Finalement, on note que l'atteinte de la cible A de la «Société 2000 watts» (72.5 MJ/m²A_E.an) mérite la mise en oeuvre combinée d'une volumétrie efficace, d'une enveloppe de type Passivhaus®, d'un système de récupération de chaleur permettant de récupérer 80% des calories contenues dans l'air extrait, tout en optant pour une production de chaleur efficace et renouvelable à plus de 63%.

Lumière & appareils électriques

Enjeux

Selon la statistique globale de l'énergie (OFEN édition 2008), l'électricité représente près d'un quart des consommations finales d'agents énergétiques. En Suisse et en 2008, la consommation d'électricité a augmenté de 2.3% par rapport à 2007, pour s'établir à un niveau encore jamais atteint de 58.7 milliards de kWh ou 7'540 kWh/habitant. Parallèlement, l'objectif de Suisse Energie pour 2010 était de limiter les consommations à +5% par rapport à l'an 2000. Force est de constater que cet objectif ne sera pas tenu puisque les consommations s'établissaient déjà en 2008 à +12.1% des consommations de 2000.

Par ailleurs, compte tenu du bilan des importations/exportations caractérisant ce secteur, pour le consommateur suisse, tout se passe comme si le rendement global de la filière électrique était de 34%. Cela signifie que, pour chaque kWh électrique consommé à la prise, près de 3 kWh d'énergie primaire ont été préalablement dissipés. Ce facteur de conversion de l'énergie finale en énergie primaire explique d'ailleurs pourquoi le consommateur paie l'électricité 3 à 5 fois plus cher que les combustibles. En d'autres termes, la noblesse de cette énergie mérite que nous en fassions un usage efficace et rationnel.

Dans le secteur du bâtiment et compte tenu des progrès effectués dans le domaine du chauffage, les consommations d'électricité représentent une part de plus en plus importante du bilan énergétique global et place ce domaine au centre de toutes les questions sur la capacité de tendre vers la «Société 2000 watts».



Quartier Vauban - Allemagne



Quartier BedZed - Angleterre



Quartier Vauban - Allemagne

Bras de levier

S'il est en effet presque impossible d'influencer les consommations d'électricité lors du processus de planification et de construction, nous pouvons, dès ce stade, établir différents scénarii sur la base des valeurs indicatives fournies par la norme SIA 380/4. Ces prévisions permettront de dégager les principaux postes de consommation et de vérifier si leur potentiel d'optimisation suffira à atteindre la «Société 2000 watts», ou si des mesures complémentaires seraient à envisager.

Dans les habitations, les appareils électroménagers tels que les réfrigérateurs et congélateurs, lave-linges, sèche-linges et lave-vaisselles consomment la plus grande part de l'électricité (50 à 70%) de la thématique «Lumière & appareils électriques». L'éclairage (15 à 20%) et l'électronique de divertissement et/ou de bureau (10 à 15%). Dans les bureaux, la consommation d'énergie pour l'éclairage est plus importante que celle des appareils électroniques, renforçant la pertinence de s'intéresser à l'éclairage naturel dans les bâtiments administratifs.

Dans ce chapitre, nous allons voir que les principaux facteurs de réussite pour limiter les dépenses d'électricité non renouvelable sont : l'amélioration de l'efficacité des appareils, la rationalisation des consommations sur les auxiliaires de ventilation et de climatisation et, enfin, la couverture d'une partie des besoins optimisés à l'aide de sources d'énergies renouvelables locales.

Avertissement : contrairement aux chapitres «Matériaux» et «Climat intérieur», nous n'établirons dans un premier temps que deux scénarii : «Etat actuel» et «Efficacité». Dans le cas de l'éclairage extérieur, ces deux scénarii correspondront respectivement aux consommations moyennes en Suisse et aux gains réalisables par la mise en oeuvre d'installations efficaces. S'agissant des bâtiments, les deux scénarii susmentionnés, correspondront respectivement aux valeurs limites et aux valeurs cibles de la norme SIA 380/4. Le scénario «Société 2000 watts» ne sera établi que dans la synthèse de ce chapitre, en considérant la part d'énergie renouvelable nécessaire à l'atteinte de la cible A.

1. Société 2000 watts et besoins en électricité

Pour les bâtiments neufs, la cible A est de 130 MJ/m²A_E.an d'énergie primaire, indépendamment de l'affectation «Habitat» ou «Bureau». Compte tenu du découpage effectué dans le cadre de ce concept énergétique et pour être en conformité avec la SIA 380/4 «L'énergie électrique dans le bâtiment», nous devons ajouter les consommations des auxiliaires de ventilation et de climatisation (25 MJ/m²A_E.an pour l'habitat et 70 MJ/m²A_E.an pour les bureaux). Finalement, à l'échelle du quartier, la cible A est de 168.5 MJ/m²A_E.an ou de 57 MJ/m²A_E.an d'électricité livrée à la prise (facteur Ep de 2.97 MJ/MJ).

Cette limite concerne l'usage spécifique de l'électricité, c'est-à-dire l'ensemble des prestations qui ne peuvent être satisfaites par un autre vecteur énergétique (éclairage, électroménager, électronique, ventilation, etc.). Les installations de production de chaleur directes ou thermodynamiques fonctionnant à l'électricité sont donc exclues de ce domaine (traitées dans «Climat intérieur et ECS»).

De manière à distinguer les possibilités d'action des différents acteurs qui vont participer à la réalisation de ce quartier, nous avons segmenté ce chapitre en deux axes principaux : d'une part, l'éclairage extérieur et, d'autre part, la consommation spécifique des bâtiments. En effet, même si l'éclairage public ne représente qu'une part minime de la consommation globale d'électricité, l'enjeu pour la Ville est double : premièrement, il s'agit de répondre à un objectif d'exemplarité, en mettant en oeuvre des techniques efficaces et limitant le phénomène de pollution lumineuse. Deuxièmement, les efforts consentis dans ce domaine bénéficieront directement à la collectivité par une diminution des charges d'exploitation et d'entretien.

1. Eclairage extérieur

Un éclairage extérieur efficient, c'est garantir le confort visuel et la sécurité des personnes, tout en réduisant les consommations d'électricité et la pollution lumineuse.

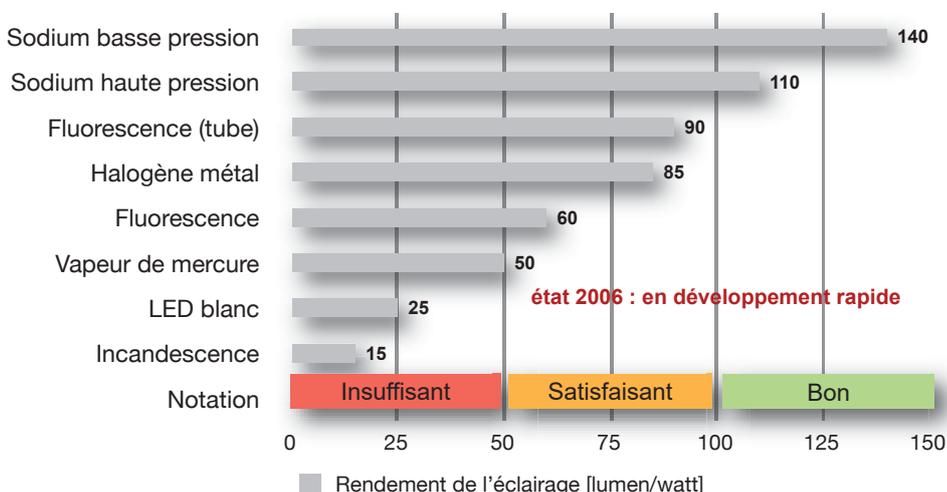
1.1. Eclairage public

L'efficacité d'un éclairage public dépend de l'identification et de la gestion de l'ensemble des paramètres suivants : l'analyse des besoins (puissance nécessaire et installée), la performance des sources lumineuses et des réflecteurs, la technologie de ballast employée, la régulation en durée et en puissance, le tout dans un objectif de sécurisation des points névralgiques (carrefours, etc.) et de fiabilité.

Efficacité des lampes

La première source d'économie se situe dans le choix de la lampe. A l'heure actuelle, les lampes à sodium offrent le meilleur compromis en terme de qualité d'éclairage, de longévité et de rendement lumineux.

Graph 1 : Efficacité lumineuse de différentes sources



Les LED, pour des questions de coût et de qualité d'éclairage (diffusivité), ne présentent pas encore un intérêt significatif pour ce type d'application. A contrario, elles peuvent être pertinentes pour du balisage et recèlent un tel potentiel de développement qu'elles pourraient devenir compétitives dans un avenir proche.

Efficacité des luminaires

Le deuxième axe de rationalisation consiste à éviter les lumières parasites en concentrant le flux lumineux sur les zones souhaitées. Un choix judicieux de luminaires permet de limiter les puissances d'éclairage, tout en conservant une qualité d'éclairage équivalente, voire supérieure. La figure 1 propose quelques exemples de luminaires ainsi que la proportion de l'énergie consommée réellement affectée à l'éclairage de la zone concernée. A noter que les luminaires «directifs», tout en offrant un meilleur rendement, permettent de minimiser le phénomène de pollution lumineuse fréquemment observé dans les grandes agglomérations.

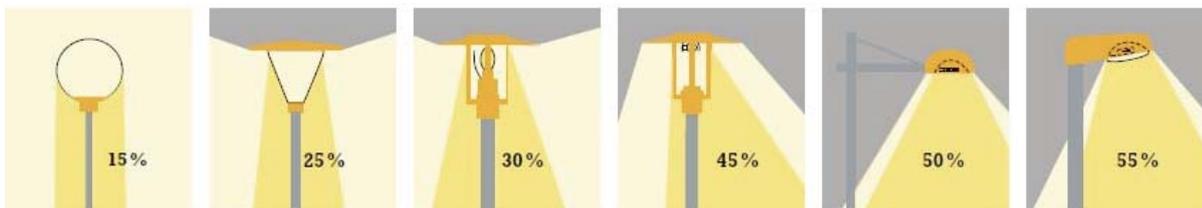


Figure 1 : Efficacité de différents réflecteurs

Régulation de l'éclairage

Le troisième champ d'investigation consiste à moduler l'éclairage, en durée et en puissance, en fonction des besoins réels.

La figure 2 met en évidence le potentiel d'économie d'énergie en fonction de différents scénarii de régulation. Pour une même source lumineuse et le même type de luminaire, la régulation recèle un potentiel de réduction des consommations d'électricité de 20 à 35%.

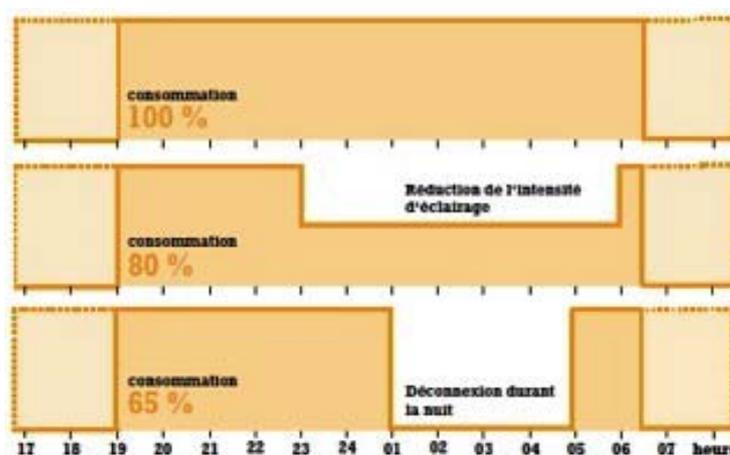


Figure 2 : Influence de la régulation sur les consommations d'électricité de l'éclairage public

Estimation des besoins du quartier, éclairage public

Afin de déterminer les besoins en éclairage extérieur, nous avons distingué deux types de zones à éclairer : les voiries assimilables au domaine public et les parcelles internes correspondant au domaine privé. S'agissant des voiries, le tableau 1 mentionne les consommations de l'éclairage public pour différentes tailles d'agglomérations suisses.

Consommation moyenne constatée en kWh par m linéaire de rue	
Moins de 10'000 habitants	8 kWh/m
de 10'000 à 30'000 habitants	12 kWh/m
Plus de 30'000 habitants	18 kWh/m

Tableau 1 : consommation moyenne constatée en Suisse en kWh par mètre de rue

Sur la base de quartiers existants et de densité similaire à celle visée sur les Plaines-du-Loup, nous avons estimé les surfaces moyennes dédiées aux voiries (cf. tableau A4_1). Le besoin d'éclairage étant intimement lié à la largeur des voies, nous avons ensuite différencié trois types de voiries : le type A (6.25 m), le type B (10 m) et le type C (12 m), défini la proportion de chacun des types et les équipements d'éclairage à installer (l'ensemble des hypothèses dimensionnelles est résumé dans l'annexe 4, tableaux A4_2 & A4_3).

Nous avons enfin établi les deux scénarii suivants :

- * «Etat actuel» : consommations moyennes de l'éclairage public en Suisse
- * «Efficacité» : réduction de la puissance nocturne⁵ entre minuit et cinq heures aboutissant à une réduction des consommations de 30% sur les voies de type A et B (pour des questions de sécurité, les axes principaux de type C ne sont pas concernés par cet abaissement de l'éclairage).

Enfin, pour ces deux scénarii énergétiques, nous avons considéré que la totalité des luminaires étaient équipés de lampes à sodium basse pression et de ballasts électroniques.

	Etat actuel	Unités	Voiries A	Voiries B	Voiries C	Total / moy
Consommation annuelle		MWh/an	48.5	23.7	17.6	89.7
Consommation annuelle par m de rue		kWh/m.an	9.4	8.4	10.5	9.3

Tableau 2 : Consommations d'électricité pour l'éclairage public - scénario «Etat actuel»

	Efficacité	Unités	Voiries A	Voiries B	Voiries C	Total / moy
Consommation annuelle		MWh/an	36.4	17.8	17.6	71.7
Consommation annuelle par m de rue		kWh/m.an	7.1	6.3	10.5	7.5

Tableau 3 : Consommations d'électricité pour l'éclairage public - scénario «Efficacité»

A la vue des tableaux 2 et 3, nous constatons que le simple fait de réguler la puissance de l'éclairage des voies secondaires (type A et B) entre minuit et cinq heures du matin, permettrait de réduire les consommations des éclairages publics de 20% à l'échelle de l'éco-quartier.

1.2. Eclairage interne des parcelles

A la différence de l'éclairage public qui doit assurer la sécurité des personnes à des points névralgiques (interfaces voitures/piétons, carrefours, etc.), l'éclairage interne des parcelles peut, selon les zones, se contenter de jouer un rôle d'éclairage d'agrément voire de balisage (sécurisation de marches d'escaliers, etc.). Le choix des techniques se trouve dès lors beaucoup plus vaste et ouvert.

Pour estimer la consommation de l'éclairage à l'intérieur du domaine privé, nous avons déduit d'un échantillon de quartiers récents les puissances moyennes installées pour ce poste. Selon le tableau 4 nous pouvons estimer que l'éclairage standard des parcelles internes d'un quartier consomme environ 0.6 kWh/m² de parcelle et par an. A l'échelle du quartier des Plaines-du-Loup, et à considérer que le domaine privé correspond à la différence entre le périmètre global du quartier et le domaine public, cela devrait représenter une consommation annuelle de 108 MWh.

Puissance installée par m ² de terrain situé sur le domaine privé	W/m ²	0.18
Heures de fonctionnement maximum	h/an	3'215

Tableau 4 : Puissance moyenne et heures de fonctionnement de l'éclairage des parcelles privées

Recours à des lampadaires solaires

Sur le domaine privé, nous avons principalement deux types de besoin d'éclairage. Premièrement, l'éclairage des transitions entre l'extérieur et le bâti (entrées d'immeubles, passages couverts, etc.) qui

⁵ Réducteur de puissance nocturne : sur des quartiers existants, le fait d'abaisser la tension à 205 V entre minuit et cinq heures, a permis de réaliser des économies significatives d'énergie sans perdre en qualité. En effet, la différence de luminance s'est révélée parfaitement adaptée aux fréquentations nocturnes de ces voies publiques et ne se remarque pas à l'œil nu. Les économies constatées ont été supérieures à 30 %.

représente environ 55% des consommations d'électricité. Deuxièmement, l'éclairage des espaces verts, au sens large (parcs, cheminements piétonniers, etc.), qui représente environ 45% des consommations.

S'agissant de la deuxième catégorie de besoins, le recours à des lampadaires solaires est tout à fait adapté et pertinent puisque les nouveaux systèmes sont totalement autonomes et s'affranchissent donc de tout raccordement au réseau électrique. Dans la suite de l'étude, nous considérerons que le recours à des lampadaires solaires se traduit par une baisse des consommations d'électricité de 45% (considérant ainsi que l'énergie solaire produite sur place possède une énergie primaire nulle).

Régulation et détecteurs de présence

Selon les dernières avancées technologiques, qui par ailleurs permettent une régulation personnalisée de chacun des points d'éclairage, nous pouvons estimer le gain d'efficacité induit par la mise en oeuvre d'une régulation adéquate et de détecteurs de présence, à environ 33%. Dans la suite de cette étude, nous appliquerons cette baisse de consommation sur l'ensemble de l'éclairage des zones de transition.

Estimation des besoins du quartier, éclairage extérieur sur domaine privé

Définition des scénarii :

- * «Etat actuel» : consommations moyennes établies selon un échantillon de quartiers récents et sans mesure d'efficacité particulière.
- * «Efficacité» : consommations calculées en valorisant les gains d'efficacité induits par la mise en oeuvre de lampadaires solaires, d'une régulation optimale et de détecteurs de présence.

Scénario «Etat actuel» (187'110 m ² x 0.18 x 3215 heures)	MWh/an	108.3
Scénario «Efficacité» (187'110 m ² x 0.18 x 3215 heures x 55% x 67%)	MWh/an	39.9

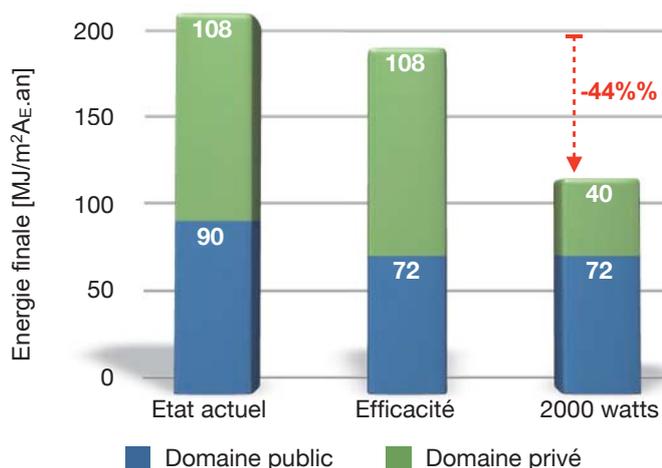
Tableau 5 : Consommations d'électricité de l'éclairage du domaine privé du quartier des Plaines-du-Loup

1.3. Synthèse des consommations pour les éclairages extérieurs

On peut synthétiser les consommations dues à l'éclairage extérieur en 3 scénarii d'efficacité croissante (l'ensemble des calculs est résumé à l'annexe 4, tableaux A4_4, A4_5 et A4_6) :

- * «Etat actuel» : consommations usuelles établies sur la base de quartiers récents, sans aucune mesure d'efficacité
- * «Efficacité» : domaine public : régulation optimale sur les lampadaires des voiries types A et B; domaine privé : aucune mesure d'efficacité.
- * «Société 2000 watts» : domaine public : régulation optimale sur les lampadaires des voiries types A et B; domaine privé : lampadaires solaires sur espaces verts, régulation et détecteur de présence sur espaces de transition entre bâti et extérieur.

Graph 2 : Consommation d'électricité éclairage extérieur



Le graphique 2 nous montre que, dans l'état actuel des techniques, l'utilisation de procédés efficaces et éprouvés permet d'envisager une économie d'environ 45% sur les consommations d'électricité induites par l'éclairage extérieur. Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que, ramené au m² de surface brute de plancher (entre 1.2 et 2 MJ/m²A_E.an selon le scénario), ce poste reste minime par rapport aux consommations d'électricité des bâtiments que nous allons étudier maintenant.

2. Consommation spécifique des bâtiments

2.1. Hypothèse de travail et définition des scénarii

Afin d'estimer les consommations d'électricité des bâtiments, nous nous sommes basés sur la norme SIA 380/4 et nous avons établi les trois scénarii suivants :

- * «Etat actuel» : consommations usuelles établies sur la base des valeurs limites de la SIA 380/4.
- * «Efficacité» : consommations d'électricité établies sur la base des valeurs cibles de la SIA 380/4. Elles correspondent au niveau de performance maximum qu'il est possible d'atteindre en mettant en oeuvre des éclairages et appareils électriques efficaces (classe énergétique A+, etc.) et en adoptant des comportements responsables.
- * «Société 2000 watts» : similaire au scénario «Efficacité» en terme de qualité d'équipements, mais intégrant une part de production d'électricité renouvelable permettant de réduire les consommations d'énergie primaire au niveau de la cible A (soit 167 MJ/m²A_E.an, une fois déduit la part pour l'éclairage extérieur).

Conformément à la SIA 380/4, les valeurs mentionnées dans les tableaux 6 et 7 correspondent à des consommations d'électricité exprimées en énergie finale. Par ailleurs, afin d'harmoniser les résultats avec les autres chapitres, nous avons converti les valeurs exprimées dans la SIA 380/4 en kWh par m² de surface nette en MJ/m²A_E (hypothèse de 0.8 m²_{SN}/m²A_E).

	Consommation d'électricité pour l'affectation «Habitat» en [MJ/m ² A _E .an]				
	Equipements	Eclairage	Ventil/Clim	Installations diverses	Total
Etat actuel	40.7	103.6	4.5	4.5	153.3
Efficacité	22.4	82.9	2.7	4.5	112.5
Société 2000 watts	Compensation par production renouvelable				52.2

Tableau 6 : Consommation d'électricité calculée selon les valeurs limites et cibles de la SIA 380/4 - Affectation «Habitat»

Concernant l'affectation «Habitat», nous remarquons qu'un effort de réduction des consommations d'un facteur 3 est nécessaire si nous souhaitons atteindre la «Société 2000 watts». L'efficacité des appareils électriques associée à un comportement responsable devraient permettre de parcourir presque la moitié du chemin qui nous sépare de la cible A. Concernant les 60 MJ/m²A_E.an d'économie à effectuer, ils devront venir d'une moindre sollicitation du réseau électrique au profit de sources d'énergies renouvelables tels le photovoltaïque, l'éolien, etc.

	Consommation d'électricité pour l'affectation «Bureau» en [MJ/m ² A _E .an]				
	Equipements	Eclairage	Ventil/Clim	Installations diverses	Total
Etat actuel	40.4	70.8	19.8	3.7	134.7
Efficacité	22.2	20.3	10.35	3.7	56.6
Société 2000 watts	Marge dégagée pour couvrir une partie des besoins de l'habitat				67.3

Tableau 7 : Consommation d'électricité calculée selon les valeurs limites et cibles de la SIA 380/4 - Affectation «Bureau»

Concernant l'affectation «Bureau», la situation diffère légèrement. Tout d'abord, l'effort de réduction est moins important que dans l'habitat (facteur 2). Par ailleurs, la valeur cible de la SIA 380/4 semble plus contraignante que l'exigence posée par la «Société 2000 watts». Ainsi, et à considérer que les besoins de climatisation des bureaux soient couverts par une source d'énergie renouvelable, l'atteinte de la cible SIA 380/4 devrait permettre de dégager une marge de manoeuvre supplémentaire permettant de réduire l'exigence sur l'habitat.

3. Synthèse des différents scénarii

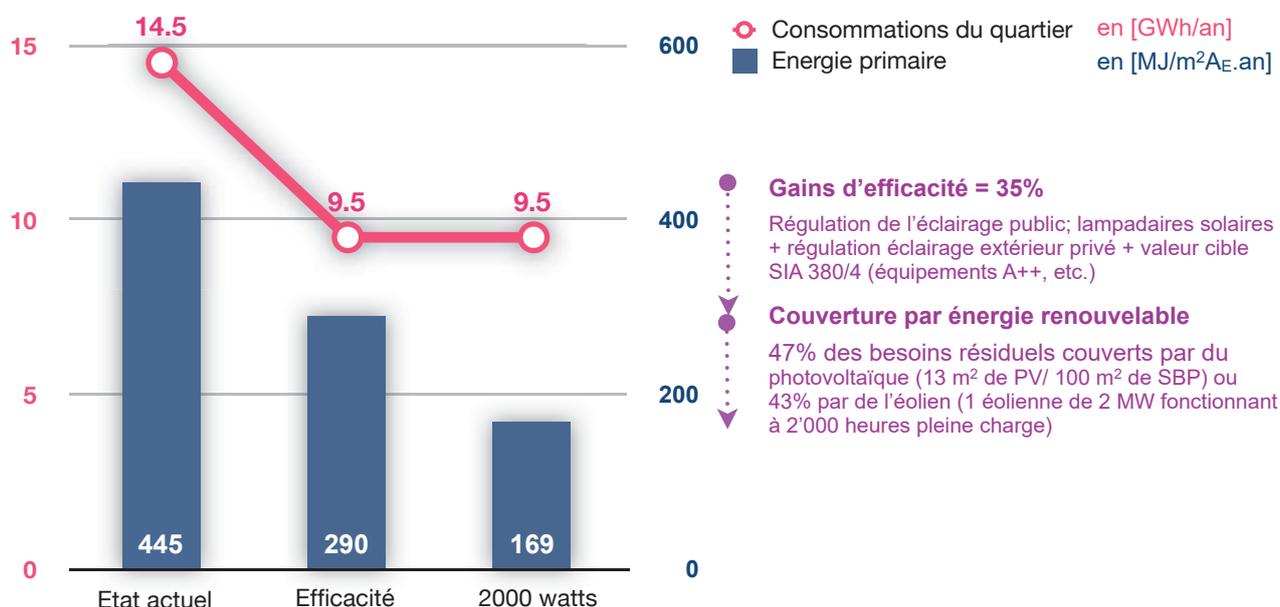
	Energie finale		Energie primaire (mix consommé en Suisse)	
	MJ/m ² A _E .an	GWh/an	MJ/m ² A _E .an	GWh/an
Etat actuel	150	14.5	445	43.2
Efficacité	98	9.5	290	28.2
Société 2000 watts*	98*	9.5*	169	16.4

Tableau 8 : Synthèse des besoins en électricité du quartier des Plaines-du-Loup

* Attention, dans le cas de la «Société 2000 watts», seules diffèrent les consommations d'énergie primaire, puisque 45% des consommations seront satisfaites par des énergies renouvelables. Par contre, les consommations finales restent identiques aux deux derniers scénarii puisqu'ils sont basés tous deux sur les valeurs cibles de la SIA 380/4.

D'après le tableau 8, nous pouvons visualiser les consommations d'électricité du quartier des Plaines-du-Loup selon les trois scénarii. Dans le cas du scénario «Etat actuel», 14.5 GWh seraient soutirés annuellement sur le réseau. Dans le scénario «Efficacité», et grâce aux choix d'appareils efficaces, à l'installation de régulations optimales (limitation de l'éclairage en intensité et en durée + détecteurs de présence), il est envisageable de réduire les consommations de 35%, ce qui porterait la sollicitation du réseau par le quartier à 9.5 GWh/an. Enfin, dans le scénario «Société 2000 watts», 45% de ces 9.5 GWh devraient être couverts par une source renouvelable. Pour information, cela représenterait, à l'échelle du quartier, environ 45'000 m² de capteurs solaires photovoltaïques ou l'installation d'une éolienne de 2 MW de puissance fonctionnant à pleine charge durant 2'000 heures.

Graph 3 : Consommation d'énergie primaire nécessaire à la satisfaction des besoins en électricité du quartier



Mobilité induite

Enjeux

Durant les 40 dernières années, le nombre de kilomètres parcourus par personne en trafic motorisé a augmenté de 60%. En 2005, chaque personne domiciliée en Suisse a parcouru en moyenne 19'000 kilomètres, soit un tour de planète tous les deux ans et 37 km/personne.jour et à l'intérieur des frontières nationales. Les loisirs représentent la majeure partie des kilomètres consommés, soit 45% ou 8'600 km. Ils viennent largement en tête devant les déplacements dédiés au travail (17% ou 3'300 km).

Le moyen de transport le plus usité, avec 55% des kilomètres parcourus (soit 10'600 km/pers.an), est la voiture individuelle. En 2009, le parc automobile dépassait les 4.6 millions d'unités, soit 600 véhicules pour 1000 habitants. L'avion s'adjuge quant à lui 18% de la distance parcourue annuellement (3'400 km). Enfin, la part des transports publics s'élève à 19% (3'600 km) et celui de la mobilité douce à 4% (760 km).

Du point de vue de l'aménagement du territoire, l'impact des transports est considérable. Ils mobilisent en effet un tiers des surfaces dédiées à l'habitat et aux infrastructures, soit plus de 90'000 hectares à l'échelle de la Suisse. Enfin, les transports (marchandises et personnes) représentent le plus gros consommateur d'énergie (1/3 des dépenses d'énergie finale) et, parce que 96% de cette énergie provient de produits pétroliers, l'ensemble des déplacements était responsable en 2004 de 36% des émissions de CO₂.



Bras de levier

A l'échelle nationale, l'énergie utilisée pour la mobilité correspond aujourd'hui à peu près à celle du chauffage, raison pour laquelle la documentation SIA D0216 considère aussi la mobilité induite par l'utilisation des bâtiments. Bien que la mobilité dépende principalement de choix et de comportements individuels, nous ne saurions négliger l'influence des autorités publiques, maîtres d'ouvrages, investisseurs et planificateurs dans ce domaine. En effet, la politique menée dans l'agglomération vaudoise en faveur du renforcement des transports publics et de la densification le long des axes forts n'est pas étrangère à la stabilisation, voire à la baisse, de l'impact des déplacements entre 2000 et 2005. Le développement du réseau de mobilité douce, le maintien de la viabilité commerciale du centre-ville ainsi que la politique menée sur le stationnement de longue durée en ville sont autant de mesures qui se révèlent positives puisque les prestations kilométriques de l'automobile ont baissées entre 2000 et 2005 de 25.1 à 21.2 km/personne.jour pour la ville de Lausanne. En complément des mesures déjà en place, nous allons, dans ce chapitre, explorer les pistes et efforts supplémentaires à fournir pour viser une mobilité compatible avec la "Société 2000 watts".

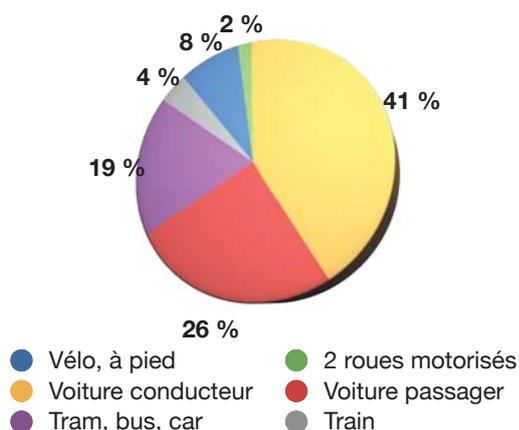
Le premier bras de levier réside dans le durcissement des normes d'émissions des véhicules (cf. objectifs 2020 de l'Union Européenne), qui recèle un potentiel d'économie d'environ 45%. En parallèle, dans un souci de limitation de la dépendance aux énergies fossiles et de réduction des émissions de GES, une diversification des vecteurs énergétiques devra être proposée et permettre une conversion significative des véhicules essence au diesel (équipés de FAP), au gaz, voire d'ici peu à l'électricité ou à l'air comprimé. Le deuxième axe d'amélioration est une intensification du report modal au profit des transports publics ou des modes de déplacement doux. Enfin, l'amélioration du taux d'occupation des véhicules qui, à l'échelle nationale, est seulement de 1.57 personne/voiture, représente un enjeu réel et plaide en faveur d'une incitation au covoiturage.

1. Limites de l'étude

1.1. Quels trajets et quels modes de transport ?

Tout d'abord, il convient de signifier que dans le modèle utilisé pour les "Objectifs de performance énergétique" (doc. SIA D0216), seuls les «personne-kilomètres⁶» parcourus en Suisse sont pris en compte⁷. Ensuite, de manière à prendre en considération la localisation du quartier et le bénéfice retiré des politiques menées localement, l'ensemble des comportements en terme de mobilité se base sur les valeurs statistiques lausannoises issues du suréchantillonnage du micro-recensement 2005. Ainsi, chaque Lausannois parcourt 32.2 km/jour, hors déplacements à l'étranger, mais tous modes de transport confondus.

Graph 1 : Répartition des différents modes de transport



Mode de transport	Ep	Distance parcourue	Energie consommée	
	MJ/pkm	km/p.jour	MJ/p.jour	%
Vélo, à pied	0	2.65	0	0%
2 roues	2.39	0.55	1.3	2.2%
Voiture	2.4	21.7	52.1	88.2%
Tram, bus	0.87	6	5.2	8.9%
Train	0.32	1.3	0.4	0.7%
Total	1.83	32.2	59	100%

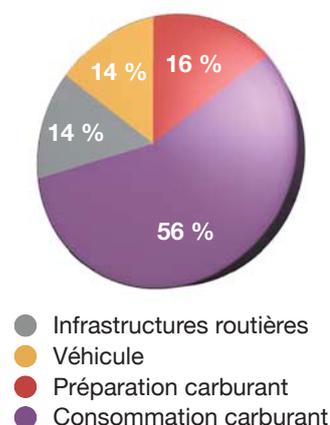
Tableau 1 : Dépense énergétique du transport des personnes (exploitation)

Selon le tableau 1, les transports individuels motorisés (TIM : voiture et 2 roues) permettent de couvrir 22.3 des 32.2 km parcourus chaque jour mais englobent 90% de l'énergie nécessaire aux déplacements quotidiens (cf. annexe 5). Dans la suite de l'étude, nous allons donc particulièrement nous intéresser à la réduction de l'impact des TIM, sans oublier de rajouter les dépenses d'énergie induite par l'augmentation du recours aux transports en commun (TC).

1.2. La filière transport individuel motorisé

Selon le graphique 2, la filière voiture sollicite environ 13 litres/100 km et ce, tous postes de consommation confondus. Dans la thématique mobilité et conformément au document SIA D0216, nous ne tiendrons compte que de l'énergie consommée par les véhicules sur la base de leur taux d'utilisation et des facteurs d'énergie primaire des carburants utilisés (correspondant aux secteurs rouge et violet du graphique 2). Ainsi, l'énergie grise sollicitée pour la construction des infrastructures de transport (routes, tunnels) n'est pas prise en compte dans l'étude qui suit, à l'exclusion de celle inhérente à la construction des parkings, comptabilisée dans le chapitre "Matériaux". L'énergie grise des véhicules est quant à elle attribuée au secteur d'activité industrie et n'a pas lieu d'être intégrée dans ce rapport.

Graph 2 : Besoin énergétiques de la filière voiture



⁶ Personne-kilomètre : unité de prestation qui correspond au transport d'une personne sur un kilomètre.

⁷ Si l'on prenait également en compte les kilomètres parcourus à l'étranger, l'avion, extrêmement énergivore, deviendrait significatif.

1.3. Combien de personne par m² ?

Si les dépenses d'énergie primaire liées aux matériaux de construction et au chauffage des bâtiments sont proportionnelles à la surface de référence énergétique, il n'en est pas de même pour la mobilité. En effet, la distance parcourue quotidiennement dépend entre-autres de la distance entre les lieux de domicile, de travail, d'achat et de loisir ainsi que de l'attractivité des divers moyens de transport. Le fait de disposer d'un véhicule, l'accès aux transports publics (distance de l'arrêt le plus proche, densité de l'horaire), les prix, le confort et le temps à disposition sont déterminants pour le choix d'un moyen de transport. En clair, l'énergie sollicitée pour se déplacer dépend de données géographiques et socio-démographiques. Si les aspects géographiques et sociologiques sont pris en considération dans le micro-recensement 2005, il nous reste à estimer le nombre d'habitants et d'employés qui occuperont, à terme, l'éco-quartier.

A ce stade du projet, nous avons considéré que la surface brute de plancher était égale à la surface de référence énergétique A_E . Or, dans le document SIA D0216, on estime que A_E vaut environ 120% de la surface utile de plancher (SUP définie selon la norme SIA 416), correspondant à peu près aux surfaces d'habitation ou de bureaux utilisées dans les statistiques.

Si l'Office fédéral de la statistique a établi que la surface habitable moyenne par personne était de 44 m² en 2000 soit 53 m² A_E , il a également mis en évidence que cet indicateur était en perpétuelle croissance. C'est pourquoi, de manière à anticiper ce phénomène, une hypothèse de 60 m² A_E/p est finalement retenue dans la documentation SIA D0216. Toutefois, dans le cadre de ce projet, nous ne devons pas oublier que 30% des logements seront subventionnés, ce qui participera à contenir les surfaces utiles par personne. De plus, la Ville plébiscitant la mixité générationnelle, un certain nombre d'appartements sera réservé aux familles qui sollicitent généralement moins d'espace par personne. En conséquence nous allons prendre en considération, dans les calculs suivants, une surface moyenne de 53 m² A_E/p pour l'habitation.

S'agissant des surfaces d'activité, on considère généralement qu'un emploi nécessite entre 25 et 30 m² de surface brute de plancher. Dans la "Société 2000 watts", les consommations d'énergie étant ramenées par habitant, qu'il soit actif ou non, une hypothèse de 5 m² A_E /personne est retenue.

Finalement, compte tenu des surfaces brutes de plancher envisagées à ce stade du projet, nous devrions compter environ 4'600 habitants et 2'750 emplois. Par ailleurs, les habitants occuperont 244'200 m² A_E pour leurs logements et 23'000 m² A_E pour leurs bureaux.

1.4. Société 2000 watts et mobilité induite

Dans le cadre de la «Société à 2000 watts», nous considérons que l'ensemble des territoires fournit un effort pour atteindre cette cible globale. Partant de ce principe, deux stratégies de couverture des besoins énergétiques induits par les déplacements sont envisageables :

- * **Considérer que chaque quartier doit satisfaire les besoins énergétiques des flux de déplacements entrants.** Dans ce cas, l'éco-quartier devrait compenser énergétiquement les déplacements effectués au motif "Habitat" des 4'600 habitants ainsi que les trajets professionnels des 2'750 employés. Le complément énergétique des autres trajets serait alors pris en charge par les quartiers de destination.
- * **Considérer que chaque quartier d'habitation doit satisfaire les besoins énergétiques de la totalité des déplacements de ses habitants.** Appliqué au quartier des Plaines-du-Loup, cela signifierait couvrir l'intégralité des besoins des 4'600 habitants et considérer que les trajets des employés sont pris en charge par les quartiers de provenance.

Les lieux de résidence et de travail relevant principalement de choix personnels et l'éco-quartier étant desservi par un axe fort de TP (tram ou métro offrant aux employés une alternative efficace aux TIM), nous avons, dans cette étude, retenu la deuxième stratégie.

Afin de définir la cible à atteindre pour la mobilité et les moyens permettant une réduction des consommations d'énergie, nous devons maintenant dissocier les déplacements des habitants en fonction de leurs motifs (cf. tableau 2). En effet, dans la documentation D0216, le but du trajet définit le type d'utilisation

auquel il est attribué et la limite de consommation d'énergie préconisée. En d'autres termes, pour les habitants de l'éco-quartier, seuls les trajets hors professionnels devront satisfaire la cible "Habitat" de 100 MJ/m²A_E.an; leurs trajets professionnels seront soumis quant à eux à la cible "Bureau" de 140 MJ/m²A_E.an.

A la vue du tableau 2, chaque lausannois effectue quotidiennement 21.9 km aux motifs d'achat, de loisir, divers services et accompagnement, qui seront soumis à la cible "Habitat" et 10.4 km aux motifs de travail, formation et diverses activités professionnelles qui seront soumis à la cible "Bureau".

En résumé, la cible A de la "Société 2000 watts" appliquée à l'éco-quartier est de 103 MJ/m²A_E.an⁸.

Motif de déplacement	Distances parcourues en km/personne .jour						Total
	A pied	Vélo	Moto	Voiture	Train	Bus, tram	
Travail	0.1	0	0.2	4.2	1	1.4	6.9
Formation	0.1	0	0	0.2	0.3	0.5	1.1
Activité prof.	0	0	0	1.8	0.1	0.5	2.4
<i>Total Bureau</i>	<i>0.2</i>	<i>0</i>	<i>0.2</i>	<i>6.2</i>	<i>1.4</i>	<i>2.4</i>	<i>10.4</i>
Achat	0.3	0	0	3.1	0	0.1	3.5
Loisir	1.3	0.2	0.3	10.8	0.5	2.4	15.5
Services et accompagnement	0	0	0	0.6	0	0	0.6
Non défini	0.7	0	0.1	1	0.3	0.2	2.3
<i>Total Habitat</i>	<i>2.3</i>	<i>0.2</i>	<i>0.4</i>	<i>15.5</i>	<i>0.8</i>	<i>2.7</i>	<i>21.9</i>
Total Bureau + Habitat	2.5	0.2	0.6	21.7	2.2	5.1	32.3

Tableau 2 : Distances parcourues par un lausannois en km/p.j selon le mode de transport et le motif du déplacement. Source Microrecensement 2005 - OFS - ARE et La mobilité des Vaudois en 2005 - LASUR-EPFL, nov 2008.

2. Mobilité et réduction des consommations d'énergie

2.1. Scénario «Etat actuel»

Compte tenu des hypothèses précédemment énumérées, nous avons estimé le nombre de kilomètres parcourus annuellement par les habitants de l'éco-quartier, selon le motif de déplacement et le mode de transport individuel motorisé (TIM). Les trajets spécifiés en vert sont effectués aux motifs d'achat, loisir, services et accompagnement et non défini; les trajets en orange sont effectués aux motifs de travail, formations et activités professionnelles diverses. Ils sont exprimés distinctement afin de permettre d'adapter les mesures d'optimisation en fonction du motif de déplacement. Par exemple, le taux d'occupation des véhicules de tourisme est très variable selon qu'il s'agit d'un déplacement professionnel (1.18 pers/voiture pour le travail) ou lié à l'habitat (1.83 pers/voiture pour les achats, 2.51 pers/voiture pour les loisirs, etc.) et l'amélioration de cet aspect devra donc être différenciée selon le motif de déplacement.

Déplacements effectués en voiture		Déplacements effectués en motocycle	
Trajets liés à l'habitat	Trajets liés au bureau	Trajets liés à l'habitat	Trajets liés au bureau
km/an	km/an	km/an	km/an
26'058'589	10'365'166	608'867	346'873

Tableau 3 : Estimation des distances parcourues annuellement par les habitants de l'eco-quartier par motif de déplacement et par TIM

Afin de traduire ces déplacements en consommation d'énergie, nous avons établi les caractéristiques de la flotte suisse de véhicules de tourisme. Selon les données statistiques de l'OFS, sur les 4 millions de

⁸ $[244'200 \text{ m}^2\text{A}_E \times 100 \text{ MJ/m}^2\text{A}_E.\text{an} + 4'600 \times 5 \text{ m}^2\text{A}_E \times 140 \text{ MJ/m}^2\text{A}_E.\text{an}] / [(244'200 + 4600 \times 5) \text{ m}^2\text{A}_E] = 103 \text{ MJ/m}^2\text{A}_E.\text{an}$

véhicules que comptait le pays en 2007, 88.4% étaient alimentés à l'essence (consommation moyenne de 8.5 l / 100 km) et le complément utilisait du diesel (consommation moyenne de 7 l / 100 km). Dans ce scénario, l'ensemble des motocycles roulent à l'essence (consommation moyenne de 5.4 l / 100 km).

Véhicules	Agent énergétique	Consommation	Energie finale	Energie primaire	GWP	UBP
		[l ou kg/100 km]	[kWh/100 km]	[kWh/100 km]	[g CO ₂ /km]	[UBP/km]
Voiture	Essence	8.5	74.8	96.4	237.9	214
	Diesel	7	69	84.2	207.9	135
	Gaz	5.8	58.3	68.2	136.5	85
	Electricité PV	-	16	23.36	11.9	20
2 roues	Essence	5.4	47.5	61.3	151.1	136
	Electricité PV	-	8	11.7	5.9	10

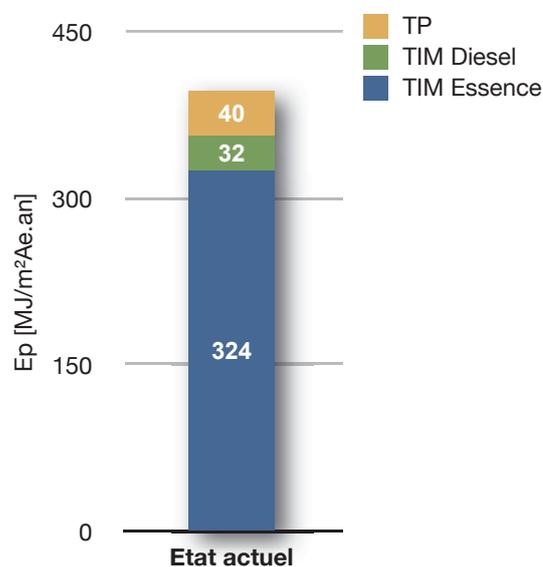
Tableau 4 : Impact environnemental des différents types de véhicules - scénario "Etat actuel"

Dans le tableau ci-dessus nous résumons les caractéristiques énergétiques et environnementales d'un certain nombre de TIM. Les véhicules au gaz et électriques feront leur apparition dans les scénarii «Efficacité» et «Société 2000 watts». Dès lors, s'agissant des véhicules électriques, nous ferons l'hypothèse que l'électricité consommée sera compensée sur site par une production photovoltaïque.

Dans ces conditions et sans considérer de report modal supplémentaire, le poste "Mobilité" représenterait environ 29.5 GWh/an ou 396 MJ/m²Ae.an. Ainsi, un Lausannois consomme aujourd'hui environ 4 fois plus d'énergie primaire que la cible de la "Société 2000 watts". Il est intéressant de remarquer, à ce stade, que la flotte suisse possède deux spécificités principales :

- * les consommations moyennes sont supérieures d'environ 1.5 l/100 km par rapport à la moyenne européenne; une différence due au fait que les véhicules vendus en Suisse sont plus gros, plus lourds et plus puissants que dans l'UE;
- * la proportion de véhicules essence est majoritaire, à l'inverse de nombreux pays européens.

Forts de ces constats et de la volonté européenne de durcir les normes d'émissions des véhicules d'ici 2020, la flotte suisse recèle un important gisement d'économies par des gains d'efficacité.



Graph 3 : Consommations d'énergie primaire (en fonction du mode de transport)

2.2. Scénario «Efficacité»

A la différence des bâtiments qui ont un cycle de rénovation de 40 ans et une durée de vie supérieure ou égale à 80 ans, le parc automobile se renouvelle tous les 10 à 15 ans. Ainsi, nous allons projeter l'état du parc aux alentours des 2020 à 2025 et intégrer les gains d'efficacité annoncés par l'évolution des normes.

Fin 2008, le Parlement européen a redéfini les objectifs de réduction de GES dans le domaine des transports et les a pour la première fois, couplé avec un système de sanctions en cas de non-réalisation. L'objectif pour 2015 est de 130 g CO₂/km, qui doit être atteint par le biais d'améliorations apportées à la technique de motorisation (injection directe, etc.). Selon l'ordonnance de l'UE, l'objectif pour 2020 est de 95 g CO₂/km (correspondant à environ 3.4 litres d'essence et 3 litres de diesel). Enfin, de manière à prendre en compte la diversification de l'offre de carburants ou des modes de propulsion alternatifs (gaz, électricité, air comprimé, etc.), nous allons modifier le mix énergétique des la flotte suisse de véhicules.

Nous considérerons donc qu'en 2025, la part des voitures essence tombera à 25%, le diesel représentera environ 40%, le gaz 20% et, enfin, la voiture électrique ou à air comprimé environ 15%. Par ailleurs,

concernant cette dernière catégorie de véhicules, nous avons considéré que l'électricité nécessaire soit à la recharge des batteries, soit à la compression de l'air, serait fournie par une source renouvelable (hypothèse : photovoltaïque à ce stade de l'étude). S'agissant des deux roues motorisés, nous partons du principe que 80% des kilomètres parcourus le seront au moyen de scooters électriques.



B0 : Bolloré - Pininfarina; consommation : 14 kWh/100km



MDI: voiture à air comprimé AirPOD



MDI: voiture à air comprimé Fly_Air_City

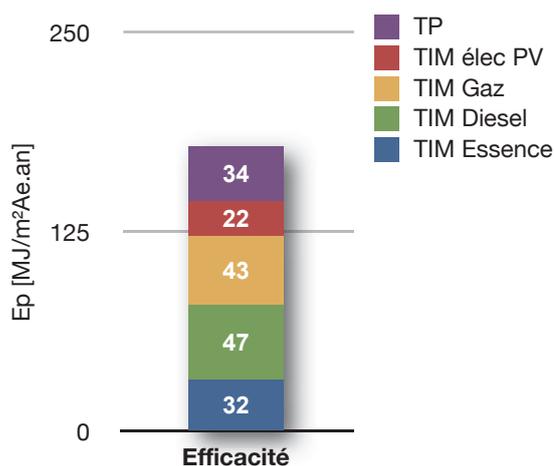
Enfin, nous considérons également un gain d'efficacité sur le poste «transports publics» de 15% par rapport à aujourd'hui, pour prendre en compte la mise en service du M2 (non effective au moment du micro-recensement), du M3 et la conversion des bus diesel en trolleybus. L'ensemble des hypothèses est résumé dans le tableau 5.

Véhicule	Agent énergétique	Consommation	Energie finale	Energie primaire	GWP	UBP
	[-]	[l ou kg/100 km]	[kWh/100 km]	[kWh/100 km]	[g CO ₂ /km]	[UBP/km]
Voiture	Essence	3.4	29.9	38.5	95.0	85
	Diesel	3.0	29.6	36.1	89.1	58
	Gaz	2.8	28.2	33	66.1	41
	Electricité PV	-	16	23.4	11.9	20
2 roues	Essence	3.0	26.4	32.7	84	76
	Electricité PV	-	8	11.7	5.9	10

Tableau 5 : Impact environnemental des différents types de véhicules - scénario "Efficacité"

Dans ces conditions, le poste "Mobilité" représenterait environ 13.2 GWh/an ou 178 MJ/m²A_E.an. Par ailleurs, pour atteindre ce niveau de performance, le quartier devrait être équipé d'environ 16'000 m² de capteurs photovoltaïques, permettant de couvrir les prestations kilométriques fournies par les 15% de véhicules électriques. Si nous souhaitions compenser l'ensemble des dépenses en énergie primaire, plus de 125'000 m² seraient nécessaires). Si ces avancées techniques permettent de réduire d'un facteur deux les consommations d'énergie induites par la mobilité, comparativement à l'«Etat actuel», force est de constater que la «Société 2000 watts» est encore loin.

L'évolution des comportements en terme de mobilité est donc inéluctable et il devient essentiel de prendre des mesures en faveur d'un report modal accru vers les TC.



Graph 4 : Consommations d'énergie primaire (en fonction du mode de transport)

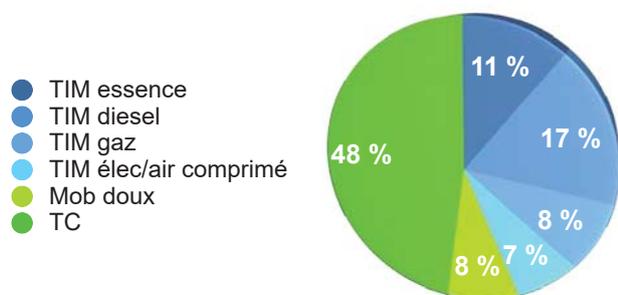
2.3. Scénario «2000 watts»

Afin de viser la cible A de la «Société 2000 watts» (103 MJ/m²Ae.an), nous allons maintenant explorer l'impact du covoiturage (augmentation du taux d'occupation des véhicules) et du report modal vers les TC. L'ensemble des caractéristiques des TIM est, quant à lui, identique au scénario «Efficacité».

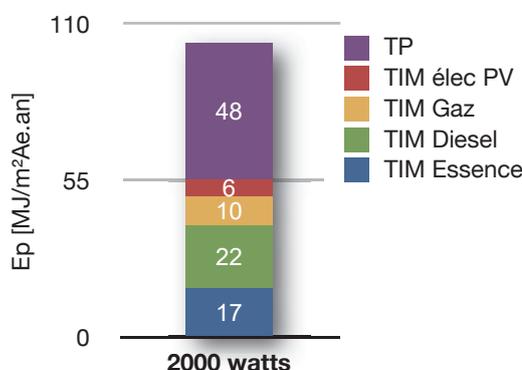
Tout d'abord, nous faisons les deux hypothèses suivantes : le taux d'occupation des voitures sur les trajets dédiés à l'habitat passe de 1.73 à 2 personnes/véhicule; ce même taux passe de 1.16 à 1.25 personne/véhicule pour les trajets professionnels.

Ces hypothèses étant fixées, nous avons ensuite déterminé le report modal nécessaire à l'atteinte de la cible précédemment citée. Finalement, nous remarquons qu'en dépit de l'ensemble des mesures d'efficacité déjà prises, 42% des prestations kilométriques devraient être satisfaites par des transports doux ou communs (mix de 5% à pied, 10% à vélo, 40% en tram, 15% en trolleybus et 30% en train régional). Dans ce scénario, les prestations kilométriques des TIM ne représentent plus que 44% de l'ensemble. **Finalement, la totalité des déplacements du quartier nécessitent 7.6 GWh/an d'énergie primaire, dont 0.45 fournis par des capteurs PV, soit environ 4'500 m² de capteurs.**

Graph 5 : Répartition modale «Société 2000 watts»
(en % des prestations kilométriques)



Graph 6 : Consommation d'énergie primaire
(en fonction du mode de transport)

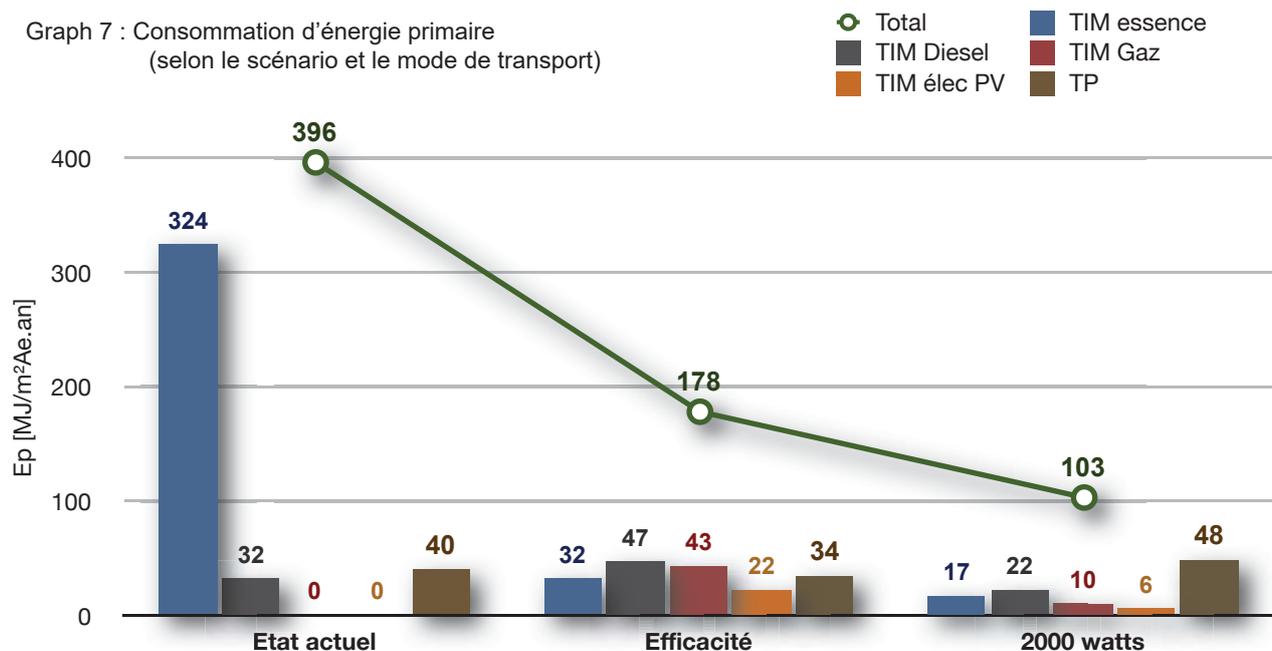


3. Synthèse des différents scénarii sur la mobilité

Dans ce chapitre, nous avons mis en évidence que même à considérer des avancées techniques majeures, permettant d'espérer d'ici une dizaine d'années la réduction des consommations d'énergie induites par nos déplacements d'un facteur deux, cela ne suffirait pas à atteindre la cible A de la «Société 2000 watts». Le seul moyen d'y parvenir réside dans la conjugaison de plusieurs facteurs (cf. graphique 7) :

- * renouveler le parc automobile et la diversification des carburants et modes de propulsion (25% essence, 40% diesel avec filtre à particules, 20% gaz naturel et 15% de voitures électriques ou à air comprimé);
- * équiper le quartier de 4'500 m² de capteurs photovoltaïques dédiés à la couverture des besoins des véhicules électriques (si nous souhaitons couvrir l'ensemble des dépenses énergétiques de la mobilité scénario «Société 2000 watts», cela nécessiterait environ 76'000 m² ou 1 éolienne de 3.5 MW fonctionnant 2'200 heures à pleine charge).
- * améliorer de manière substantielle le taux d'occupation des véhicules (de 1.57 à 1.78 personne/voiture) en prenant des mesures en faveur du covoiturage (par ex. limitation du nombre de places de parc, obligation pour les entreprises de mettre en place des plans de mobilité, etc);
- * développer les infrastructures et les incitations nécessaires à un report massif vers les transports en commun et la mobilité douce, jusqu'à ce qu'ils représentent 56% des prestations kilométriques, contre 31% aujourd'hui.

Graph 7 : Consommation d'énergie primaire
(selon le scénario et le mode de transport)



Parcourir 56% des distances sans voiture, est-ce réaliste ?

L'action publique commence à porter ses fruits :

Selon le micro-recensement 2005, on observe depuis 2000 une légère baisse des kilomètres parcourus dans la commune de Lausanne (de 33.2 à 32.2 km/p.j) ainsi que dans les communes péri-urbaines du Canton de Vaud (de 46.4 à 45.2 km/p.j). Par ailleurs, les prestations kilométriques de l'automobile sont en faible baisse au niveau cantonal et affichent une réduction plus marquée à Lausanne (-15% en 5 ans). Qui plus est, l'ensemble de ces statistiques a été établi avant la mise en service du M2, ce qui laisse à penser que cette tendance sera confirmée lors du prochain recensement.

En résumé, les évolutions observées entre 2000 et 2005 doivent conforter les collectivités dans leurs choix politiques et mettent particulièrement en évidence les besoins de coordination entre urbanisation et mobilité. Partant de ce constat, nous pourrions établir un certain nombre d'orientations permettant de tendre vers cet objectif de 56% «TP et mobilité douce».

Orientations pour les actions publiques :

- * renforcer les transports publics et inciter à leur utilisation en incluant l'abonnement au TP dans le loyer des logements. Compléter le réseau de mobilités douces et le connecter au réseau des TP;
- * localiser les habitations à proximité des transports collectifs (idéalement à moins de 150 m); en effet le choix du moyen de transport s'effectue essentiellement en fonction du domicile et la proximité des TP influence directement le comportement; à l'échelle nationale, une personne habitant à moins de 150 m des TP arrive à se passer de la voiture pour 38% des kilomètres qu'elle parcourt; à l'inverse, une personne dont l'habitation est éloignée de plus d'un kilomètre des TP, a besoin de sa voiture pour 72% des distances à parcourir;
- * agir sur le stationnement en limitant le nombre de places, en conditionnant leur prix à la qualité écologique du véhicule qui l'occupe et en incitant les entreprises à réaliser des plans de mobilité; veiller également à disposer les parkings dans le quartier de manière que la majorité des logements soit plus proche d'un arrêt de TP que d'une place de parc;
- * soutenir une mixité fonctionnelle et la viabilité commerciale des quartiers car l'offre commerciale de proximité induit une mobilité fortement basée sur la marche à pied;

Ressources & systèmes de conversion d'énergie

Enjeux

A l'échelle du Canton de Vaud, 50% de l'énergie consommée ou 9'700 GWh par année, est dédiée au chauffage des bâtiments. Il est dès lors compréhensible que ce secteur retienne toute l'attention des politiques énergétiques développées par les institutions publiques qu'elles soient confédérales, cantonales et municipales. Par ailleurs, compte tenu de la longueur du cycle de rénovation des bâtiments (environ 40 ans) et de leurs installations techniques (environ 25 ans pour la production de chaleur), les choix effectués en phase de conception déterminent l'impact environnemental de ce secteur à très long terme.

Pour atteindre les objectifs ambitieux de la «Société 2000 watts» retenus par la municipalité concernant le quartier des Plaines-du-Loup, il est dès lors indispensable déclinier les efforts en trois axes d'optimisation des dépenses énergétiques que sont : la sobriété des bâtiments, l'efficacité des systèmes de conversion d'énergie et le recours à des sources d'énergies renouvelables. Si nous avons, dans le chapitre «Climat intérieur & ECS», déterminé les besoins de chaleur selon différents scénarii constructifs et mis en évidence un potentiel de réduction des besoins de chauffage de l'ordre de 55% (cf. chapitre «Climat intérieur & ECS», comparaison entre le standard Passivhaus® et la norme SIA 380/1), il s'agit désormais de définir les consommations en énergie primaire et d'étudier l'influence des différents systèmes sur leur réduction.

Dès lors, nous proposons d'étudier ici un large éventail de systèmes de conversion et de vecteurs énergétiques de manière à identifier ceux qui seront le plus à même de permettre l'atteinte des objectifs de la «Société 2000 watts», tant du point de vue de l'énergie primaire que des gaz à effet de serre.



Capteurs solaires photovoltaïques



Couplage chaleur force au gaz



Capteurs solaires thermiques plans vitrés

Bras de levier

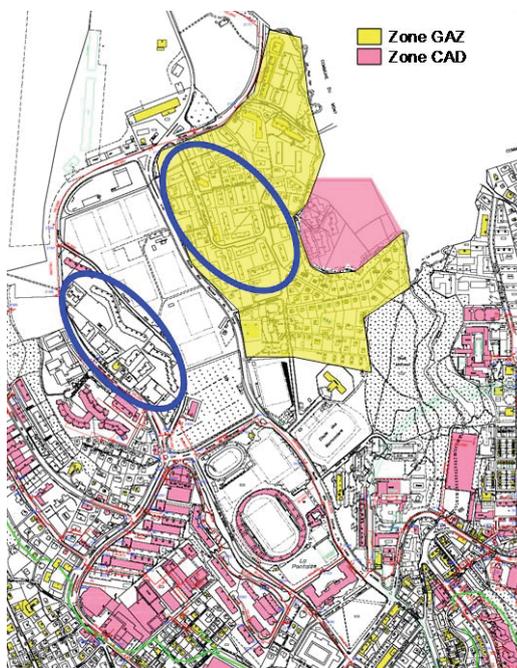
Pour passer de besoins de chaleur à des consommations effectives en énergie primaire, le choix du système de conversion d'énergie et de l'agent énergétique est déterminant. Si le premier fixe le rendement de production de la chaleur (par ex. 95% pour une chaudière gaz à condensation) et permet de passer de l'énergie utile à l'énergie finale, le deuxième détermine le facteur de conversion permettant de passer de l'énergie finale à l'énergie primaire (par ex. 1.15 MJ/MJ pour le gaz naturel). Ainsi, la combinaison d'un système de conversion et d'un vecteur énergétique permet de définir l'impact environnemental induit par la satisfaction du besoin de chaleur.

Dès lors, deux axes d'optimisation se dessinent : d'une part, le choix de systèmes de conversion d'énergie efficaces (pompe à chaleur, couplage chaleur force, chaudière à haut rendement, etc.) et la limitation des pertes de distribution des réseaux; d'autre part, le choix de sources d'énergies renouvelables et locales permettant de contenir les dépenses en énergie primaire et les émissions de GES (géothermie, rayonnement solaire, énergie cinétique du vent, énergie potentielle de l'eau, biomasse, etc.).

1. Les ressources actuelles et les opportunités de synergies

1.1. Réseaux et installations voisines

Au vu du schéma 1, nous pouvons remarquer que les réseaux gaz et CAD sont tous deux proches du périmètre du futur éco-quartier. Par ailleurs, le voisinage immédiat peut être scindé en deux zones : la zone nord-est constituée de petits immeubles résidentiels (Plaines-du-Loup, Cassinette, Sauges et Bois-Gentil), et la zone des immeubles contigus des Bossons 25 à 51, située à l'ouest.



La zone nord-est consomme annuellement près de 7.5 GWh de gaz naturel. Les immeubles non raccordés sont chauffés au mazout. L'arrivée du chauffage à distance par le chemin du Furet au nord-est n'étant pas, pour des questions de niveau de température, compatible avec le réseau CAD implanté au nord-ouest, il est prévu de maintenir le réseau de gaz sur cette zone.

La zone ouest, propriété de Cité Pont-des-Sauges et gérée par la Régie Chappuis totalise un volume chauffé de 85'679 m³. Ces immeubles représentant une très importante consommation de gaz (proche des 4.5 GWh/an) sont soumis au tarif interruptible. Un remplacement des installations de production de chaleur par un système de cogénération devrait dès lors être étudié, ce qui permettrait d'améliorer la situation énergétique de cette zone en utilisant le gaz naturel de manière plus efficace (production simultanée de chaleur et d'électricité).

Schéma 1 : Réseaux à disposition dans le périmètre du quartier

1.2. Production décentralisée d'énergies renouvelables : projet Cery

La Ville de Lausanne possède, sur le site de la compostière, une chaudière à bois de 3 MW qui arrive en fin de vie. Cette installation, comme d'ailleurs toutes les installations à bois, émet des quantités non négligeables de particules fines dans l'atmosphère, et ce malgré l'utilisation d'un filtre à particules récent. Cette énergie, au bilan neutre en CO₂, doit donc être conseillée principalement dans des zones non urbaines où les teneurs en particules fines ne montrent pas déjà de fortes concentrations imputables au trafic routier.

Le projet de Cery est né de la perspective de rénovation de cette installation ainsi que de la volonté de moderniser la compostière, avec l'objectif d'une meilleure valorisation énergétique. Il prévoit de regrouper sur un site unique, localisé en dessus de l'Hôpital cantonal de Cery, trois infrastructures : une installation de méthanisation des déchets verts, une installation de compostage couverte et une chaufferie à bois. Les synergies entre les différentes installations permettront ainsi d'optimiser les flux d'énergies et les charges d'exploitation. Le raccordement de ces infrastructures au réseau CAD permettra d'injecter les surplus de chaleur et de les valoriser sur l'ensemble du réseau nord-ouest, y compris en été, et donc éventuellement sur la zone du futur éco-quartier. La proximité de grandes voies d'accès permettra d'assurer un approvisionnement aisé en combustibles tout en réduisant les impacts en ville. Selon les variantes retenues, le site devrait produire annuellement entre 7 et 10 GWh d'électricité pour une production thermique de l'ordre de 36 GWh. La surface au sol nécessaire pour une telle installation est de 2 ha.

La cogénération à bois s'est beaucoup développée ces dernières années sous l'impulsion, notamment, des législations de rétribution à prix coûtant de l'électricité. Cette technologie a donc atteint un stade de maturité suffisant, comme peuvent l'attester les nombreux projets réalisés en Europe.

2. Les ressources et systèmes conventionnels

Parmi ces ressources, nous pouvons principalement citer le gaz et le mazout. Dans ce chapitre et pour les besoins du concept nous n'étudierons que le gaz et, par extension, le réseau de chaleur lausannois (CAD) fonctionnant à l'heure actuelle encore en partie avec ce vecteur énergétique. En effet, il n'existe à ce jour, aucun procédé pouvant rendre l'agent énergétique mazout compatible avec la «Société 2000 watts».

2.1. Le gaz naturel

Potentiel

Comme décrit précédemment, il est présent dans toute la zone du quartier et permettrait d'alimenter chaque bâtiment directement à des coûts relativement bas. L'avantage du gaz naturel, face aux autres énergies fossiles et au bois, est de n'émettre qu'une part infime de particules fines et de NOx. Le gaz reste cependant une énergie fossile non renouvelable dont l'impact environnemental global est élevé. Toutefois, sa capacité à produire de l'électricité de manière efficace pourrait être envisagée afin de permettre une production locale.

Possibilité d'utilisation de la ressource gaz dans un quartier à «2000 watts»

En tant qu'énergie non renouvelable, le gaz naturel ne peut être recommandé comme énergie principale d'un éco-quartier, d'un lot d'immeubles ou d'un bâtiment. Sa capacité à produire de l'électricité efficacement permet toutefois d'entrevoir des possibilités d'utilisation. En termes d'efficacité, la meilleure solution technique permettant de valoriser le gaz naturel est le couplage chaleur-force qui possède un rendement électrique d'environ 35% auquel s'ajoute un rendement thermique de 55%. Il est possible d'y ajouter une pompe à chaleur qui utilisant l'électricité produite par le moteur fournira ensuite 4 fois plus d'énergie thermique en partie renouvelable. Globalement, il est ainsi possible d'obtenir 1.6 kWh de chaleur utile avec 1 kWh de gaz (le schéma 2 démontre que pour le même service rendu, une installation CCF-PAC consomme deux fois moins de gaz qu'une chaudière traditionnelle). Ce type d'installation nécessite toutefois une conception optimale ainsi qu'une grande rigueur appliquée au système de régulation.

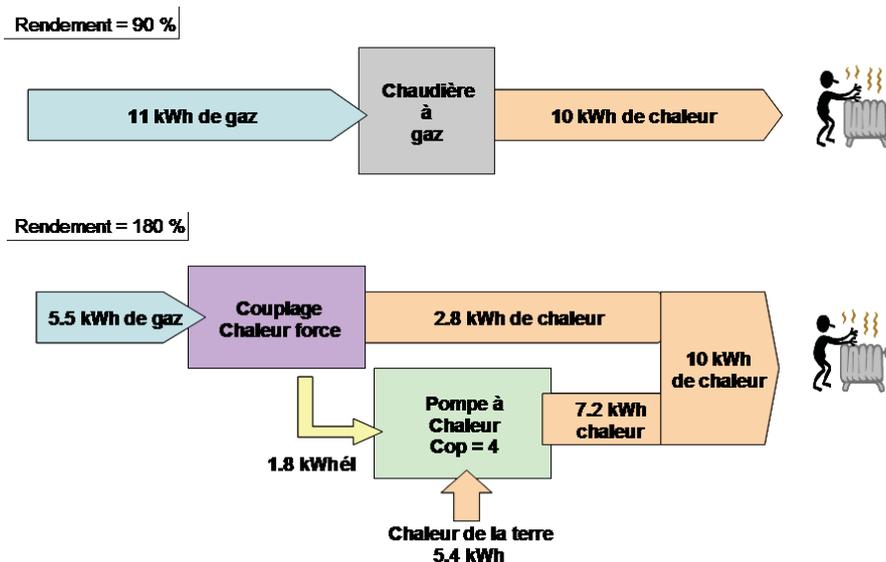


Schéma 2 : Principe de fonctionnement d'une chaudière gaz et d'une installation combinant un CCF avec une PAC à sondes géothermiques

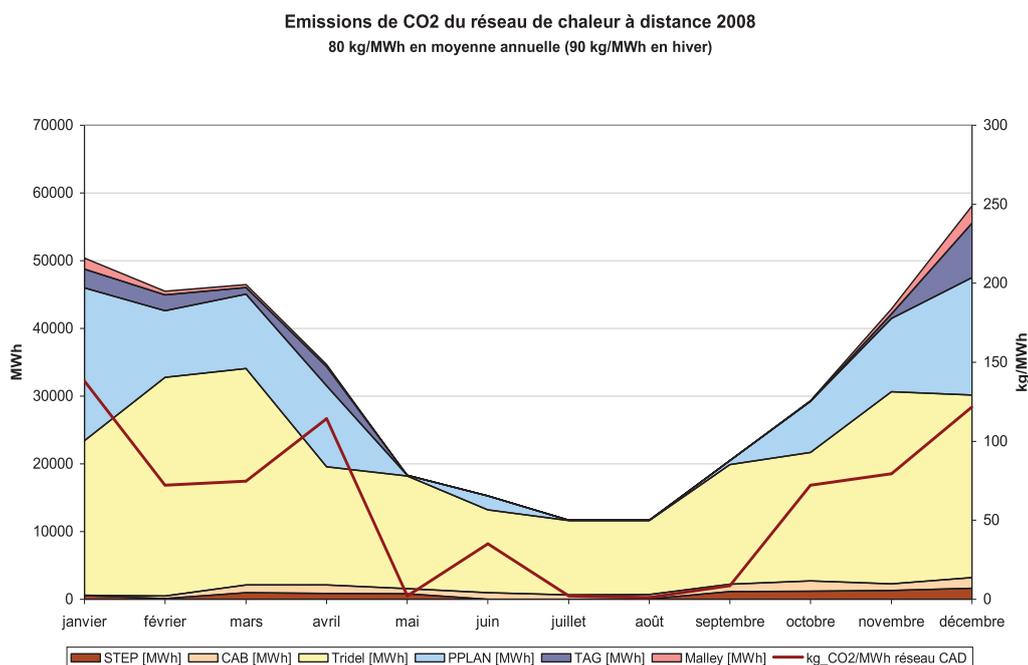
2.2. Le chauffage à distance

Potentiel

Comme décrit précédemment, le CAD est disponible dans la zone du futur éco-quartier. La chaleur véhiculée par ce réseau lausannois est produite par plusieurs types d'énergies, renouvelables ou non et se décompose de la manière suivante :

- * Incinération des déchets (TRIDEL) 64%;
- * Chaufferie à bois de la Tuilière 3%;
- * Incinération des boues (STEP) 2%;
- * Turbine à gaz de Pierre-de-Plan (TAG) 5%;
- * Chaudières à gaz de Pierre-de-Plan et Malley 26%.

La part d'énergies renouvelables dans le bilan énergétique global avoisine donc les 70% et est constituée pour majorité de la valorisation de la chaleur issue de l'usine d'incinération des déchets Tridel. Par ailleurs, cette dernière fonctionnant à charge plus ou moins constante toute l'année, il existe actuellement un surplus de chaleur estivale non valorisé de 85 GWh correspondant à une puissance d'environ 25 MW. En outre, il est à considérer que chaque kW raccordé en plus se traduit, en hiver, par une augmentation de la consommation de gaz à Pierre-de-Plan et par une péjoration du caractère renouvelable de ce réseau. Il présente enfin la particularité de fournir de la chaleur à une température relativement élevée, de l'ordre de 130°C pour la zone considérée.



Graph. 1 : Apport de chacun des vecteurs énergétiques dans la production de la chaleur distribuée sur le CAD et les émissions globales de CO₂

Possibilité d'utilisation du CAD dans un quartier «2000 watts»

Production de chaleur

A considérer le gisement énergétique estival du CAD, ce réseau pourrait être utilisé en été principalement pour la production de l'eau chaude sanitaire ou de froid (par ex. par absorption). En outre, la température élevée du réseau permettrait d'effectuer un stockage saisonnier du surplus de chaleur de Tridel, disponible

en été dans cette zone (cf. paragraphe 4 de ce même chapitre). Enfin, dans le cas où des installations supplémentaires de production de chaleur renouvelable nécessiteraient de nouveaux consommateurs pour être rentabilisées, le raccordement de l'éco-quartier à ce réseau, en tant que source d'énergie thermique principale reprendrait tout son sens, d'autant plus que la part d'énergie nécessaire pour la production d'eau chaude devient majoritaire dans le cas de bâtiments à hauts standards énergétiques.

La cogénération

Elle peut se faire à partir de n'importe quelle source de chaleur moyennant une température d'au moins 90°C. Cependant, afin d'obtenir des rendements de production d'électricité suffisants (>10%), il est nécessaire d'avoir une source de chaleur à une température minimale de 150°C. De plus, pour optimiser le rendement, il est primordial que la source froide soit à une température la plus basse possible. Dans le cas de bâtiments administratifs, la source froide sera constituée par la production de chaleur dédiée au chauffage et la préparation d'ECS. Finalement, avec un réseau CAD à 120°C et une demande de chaleur à 70°C, il n'est pas possible d'envisager une production électrique à un coût compétitif par rapport à une solution de cogénération au bois par exemple.

3. Ressources et systèmes de valorisation des énergies renouvelables

Nous entendons par ressources renouvelables finies, les vecteurs énergétiques considérés comme renouvelables sous certaines conditions d'exploitation, mais dont le potentiel est limité à un certain volume.

3.1. La géothermie

Potentiel

Ce paragraphe a fait l'objet d'une étude annexe complète, réalisée par un bureau d'ingénieurs conseils spécialisé dans la géothermie de faible profondeur («Etude de préféabilité, éco-quartier la Pontaise, Campus EPFL, Chauffage et production d'eau chaude sanitaire au moyen de forages géothermiques»).

Cette étude a analysé la faisabilité de différentes variantes de géothermie pour l'approvisionnement en chaleur pour le chauffage et l'eau chaude sanitaire du futur éco-quartier. Les solutions évaluées allaient des forages classiques pour les pompes à chaleur aux forages de 2'300 mètres de profondeur. Au-delà du potentiel théorique, la faisabilité technique a aussi été évaluée et intégrée à cette étude.

En augmentant la profondeur des sondes, on accède progressivement à des températures de plus en plus élevées. Cependant, avec la profondeur, la récupération de cette ressource devient problématique pour des sondes à circulation fermée, car la présence du double flux implique que le flux chaud montant soit refroidi par le flux froid descendant. Pour éviter ce problème, il faudrait faire appel à des circulations ouvertes, via des forages multiples. Ces dernières nécessitent des prédispositions géologiques favorables et comportent un risque d'échec élevé. Cette solution ne pourrait être retenue que dans le contexte d'un projet pilote réalisé à part et dont l'éventuel échec n'aurait pas de conséquence sur l'exploitation du futur éco-quartier.

A contrario, les solutions faisant appel à des circulations fermées permettent de garantir le fonctionnement de ce type d'installations. Dans cette gamme de solutions, la variante qui se démarque aujourd'hui consiste à réaliser des forages d'une profondeur de 500 mètres. Cette solution peut être réalisée avec du matériel de forage traditionnel légèrement amélioré. Elle nécessite toujours l'emploi de pompes à chaleur, mais le coefficient de performance (COP) reste, même après 50 ans d'exploitation et en plein hiver, au-dessus de 8. Sur la durée de vie des sondes, le COP moyen pourrait atteindre une valeur de 10, ce qui est excellent. Ceci est rendu possible grâce à des températures en tête de puits qui, dans le pire des cas, ne devraient pas descendre au-dessous de 12°C mais devraient se situer, en général, entre 16°C et 20°C. Dans ces conditions, il est possible de s'abstenir d'avoir du glycol dans les sondes, ce qui permet là encore d'assurer de meilleures performances.

La réalisation de cette solution nécessite des champs de sondes, qu'il s'agira de planifier en amont de la réalisation des bâtiments car l'emprise au sol pour l'intégralité des sondes de l'éco-quartier correspond approximativement à une surface de 2'200 m². En intégrant les investissements initiaux et les coûts d'exploitation, cette solution de géothermie optimisée est économiquement la plus attractive (cf. graphique 3). Contrairement à une solution centralisée, la solution proposée a l'avantage d'être modulaire; il est donc possible de la déployer uniquement pour un lot de bâtiments ou de réaliser les différents champs de sondes au fur et à mesure de la réalisation du quartier.

Malgré la législation vaudoise, qui considère que les pompes à chaleur ne produisent pas de chaleur renouvelable dans le cas de la préparation de l'ECS, il s'avère néanmoins qu'avec un COP de 10, plus de 90% de l'énergie fournie provient d'énergie renouvelable (chaleur du sol + part renouvelable de l'électricité). Si nous faisons abstraction de la problématique de l'approvisionnement électrique, une telle solution a donc l'avantage d'être très peu dépendante des fluctuations des prix de l'énergie et tout en étant quasiment 100% renouvelable. De plus, malgré un investissement plus conséquent que d'autres alternatives, si nous considérons l'amortissement des infrastructures et le coût de l'énergie primaire, le coût de revient du kWh utile produit à partir d'une PAC est, à ce jour, le plus compétitif.

Possibilité d'utilisations de la géothermie dans un quartier à «2000 watts»

La pré-étude de faisabilité a mis en évidence l'intérêt d'optimiser les systèmes de PAC actuels en allant chercher de la chaleur plus profondément, jusqu'à 500 mètres. Cette variante permet de faire augmenter les COP des PAC entre 8 et 10 et donc de réduire singulièrement l'apport électrique nécessaire au fonctionnement des compresseurs. La variante à 800 mètres est une solution également intéressante, techniquement accessible et elle doit être gardée à l'esprit. Sa faisabilité dépendra *in fine* du coût des forages.

Si la variante PAC est retenue pour la suite du projet d'éco-quartier, il s'agira de réaliser une étude de faisabilité complète comprenant notamment un forage test et une analyse du comportement de ce dernier. Malgré un a priori positif des services cantonaux, ce forage test permettra d'obtenir les autorisations de construire nécessaires pour les futurs champs de sondes. L'étude de faisabilité devra également porter sur les impacts environnementaux de ce chantier et des infrastructures. Finalement, il s'agira d'optimiser les solutions proposées en évaluant notamment l'intérêt de faire appel, en parallèle, à des PAC à air pour la préparation de l'ECS hors période de chauffage, car le recours à cette solution devrait permettre de réduire la longueur des forages et donc les investissements.

3.2. Le bois

Potentiel

A l'échelle de la région, le potentiel du «bois énergie» est actuellement déjà entièrement exploité. Seul le projet Avantibois, qui prévoit de valoriser régionalement les ressources des feuillus, permettrait d'envisager un apport supplémentaire de l'ordre de 200 à 400 tonnes/an. Cet apport représenterait notre quote-part des déchets de scierie. Des apports supplémentaires pourraient être envisagés via l'achat de bois régional. Cependant, la disponibilité de ces apports dépendra directement de la réalisation de certains projets concurrents. A ce stade de l'étude, nous avons préféré ne pas tabler sur ces opportunités. Selon l'étude de potentiel réalisée dans le cadre du projet Cery, il est possible de tabler sur un approvisionnement en bois de l'ordre de 20'000 tonnes/an. Cet approvisionnement, à moins de disposer d'autres moyens de transport, devra se faire par camions et engendrera un trafic de poids lourds. Afin de limiter l'impact de ces transports, il est particulièrement indiqué de réaliser ce type d'installation en périphérie urbaine, à proximité de grandes voies d'accès. De plus, l'approvisionnement en bois nécessite une surface au sol non négligeable ainsi que du personnel dédié à l'exploitation.

Possibilité d'utilisation du bois dans un quartier à «2000 watts»

Si l'on souhaite garantir sur site une production électrique renouvelable en quantité, la cogénération à bois est, à ce jour, une des seules options alternative au gaz. Cependant, afin qu'elle soit concurrentielle, il est nécessaire de recourir à des infrastructures de grande taille et de grande puissance. Cette technologie comporte également un certain nombre de désavantages : une surface au sol importante (env. 1 ha), de la main-d'œuvre sur site, un approvisionnement par camions et des émissions de particules fines dans un milieu urbain déjà saturé. Il faudra également, pour valoriser les rejets de chaleur, avoir recours à un coûteux réseau de distribution basse température. Finalement, il s'agira également de trouver un biais pour évacuer le surplus de chaleur produit en été. Pour toutes ces raisons, il est plus adéquat et plus rentable de réaliser le projet Cery, mieux placé et permettant des synergies entre les différentes installations, plutôt qu'une réalisation de cogénération à bois sur le site des Plaines-du-Loup.

Enfin, bien que valorisant une énergie renouvelable, les chaudières décentralisées de petite et moyenne taille, fonctionnant aux bûches, aux copeaux ou aux granulés, ne peuvent être promues en milieu urbain. En effet, les émissions de particules fines et de NOx sont difficilement gérables s'il y a trop d'installations, car les électrofiltres de ces petites installations ont un rendement insuffisant pour considérer ce problème comme résolu.

3.3. Le solaire thermique

Potentiel



Absorbeurs solaires non vitrés



Capteurs plans vitrés



Capteurs sous vide

L'énergie solaire thermique peut se décliner en trois technologies différentes : les absorbeurs solaires utilisés principalement pour les applications nécessitant une faible température et une utilisation y compris estivale (piscines, préchauffage de l'ECS); les capteurs plans vitrés, technologie la plus répandue et utilisée pour le chauffage et l'ECS; et les capteurs sous vide, utilisés pour les besoins en haute température.

Possibilité d'utilisation de capteurs solaires thermiques dans un quartier à «2000 watts»

Dans l'habitat, il est possible d'utiliser les panneaux solaires thermiques selon trois modes de fonctionnement : le préchauffage de l'eau chaude sanitaire, le chauffage de l'eau chaude sanitaire et enfin le chauffage combiné à la production d'ECS. Selon les tests effectués par le SPF de Rapperswil, la productivité annuelle de chacun des systèmes se monte respectivement à 780, 540 et 370 kWh/m² d'absorbeur. Le schéma 3 illustre la production mensuelle de chaque système et le taux de couverture des besoins annuels. Le dimensionnement considéré est respectivement de 0,5 m²/pers, 1 m²/pers et 3 m²/pers. Ce paramètre a de l'importance car il détermine le coût de revient du kilowatt/heure produit. Enfin, dans le but de maximiser la production de chaleur en hiver, l'inclinaison des capteurs devrait se situer entre 45° et 60°.

Selon le vecteur énergétique retenu pour effectuer l'appoint, un dimensionnement d'environ 1 m² de capteurs par personne permettra d'obtenir un optimum coût/productivité (~500 kWh/m².an). Appliqué aux bâtiments «étalons» précédemment définis, cela reviendrait à équiper chaque bâtiment d'environ 50 m² de capteurs plans vitrés (le cas particulier du stockage saisonnier de l'énergie solaire thermique sera traité au paragraphe 4.2).

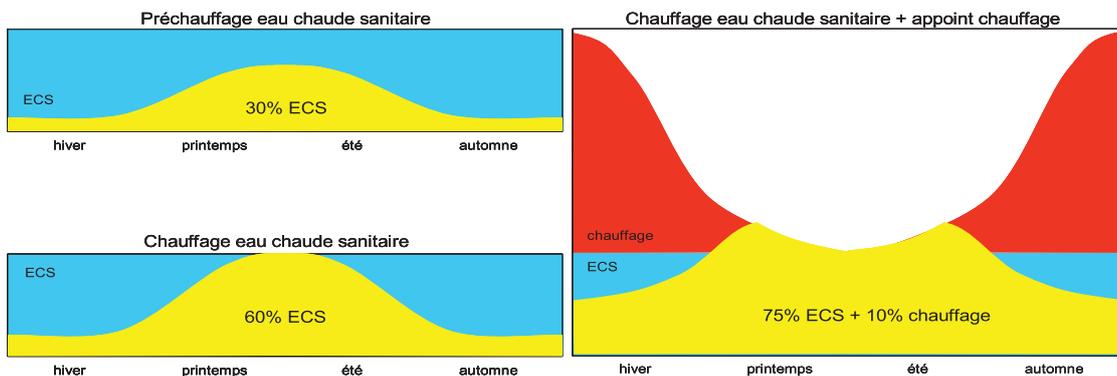


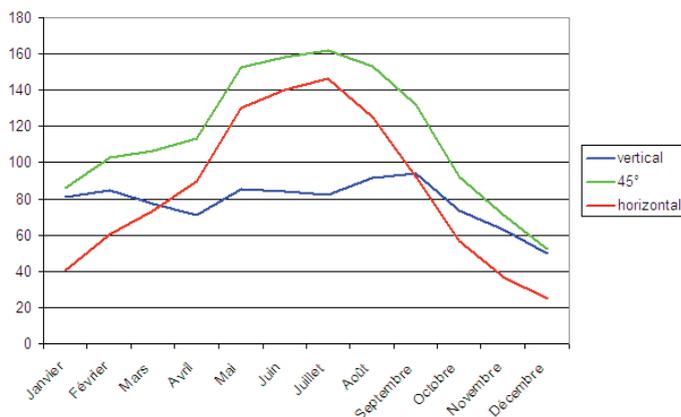
Schéma 3 : Potentiel de couverture des besoins annuels en ECS et en chauffage par des capteurs solaires thermiques

3.4. L'électricité solaire photovoltaïque

Potentiel

Le graphique 2 représente l'énergie solaire mensuelle brute reçue sur une surface de 1 m² orientée au sud et dont l'inclinaison varie. Sous nos latitudes, l'inclinaison optimale maximisant la réception annuelle d'énergie solaire se situe entre 30° et 45°. Il existe différentes technologies dont les rendements se situent entre 5% et 18% et sont en constante augmentation. Ainsi, compte tenu d'un rendement de panneaux photovoltaïques d'environ 15%, 1 m² orienté en sud et incliné à 45° produira environ 200 kWh d'électricité par an, contre 150 kWh pour un panneau horizontal et 140 kWh pour un vertical.

Possibilité d'utilisation du solaire photovoltaïque dans un quartier de «2000 Watts»



Une puissance de 3 kW par logement permet de produire l'équivalent de la consommation annuelle d'un ménage moyen. Avec les technologies standards actuelles, cela représente environ 25 m²/logement. Par ailleurs, afin d'obtenir des économies d'échelle, il sera préférable de réaliser plusieurs installations de grande taille plutôt qu'une par bâtiment. Enfin, dans le cadre d'une conception architecturale adaptée, les panneaux pourraient être intégrés aux toitures, façades, balcons, etc.

Graphique 2 : Energie solaire reçue mensuellement selon la saison et l'inclinaison - en kWh/m².mois

3.5. L'énergie éolienne

Potentiel

L'utilisation de l'énergie éolienne nécessite des ressources en vent et les moyens techniques pour l'exploiter. En plus de ces deux pré-requis, et dans le contexte d'un quartier, l'intégration paysagère et/ou urbaine et le traitement des nuisances sonores des éoliennes sont des facteurs déterminants pour la faisabilité de projets, qu'ils soient grands ou petits. Notre climat est caractérisé principalement par de longues périodes anticycloniques, ayant pour conséquence un gradient de vents faibles, voire nul, [...]

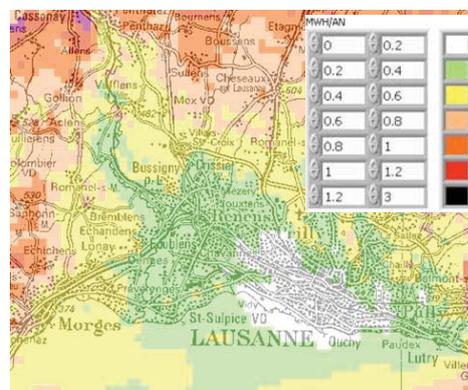


Schéma 4 : Potentiel éolien brut pour 1 m² de surface - en MWh/an

[...] entrecoupés par des flux synoptiques d'est et d'ouest peu persistants. Ces vents, présents principalement en altitude, sont fortement perturbés et freinés par les nombreux reliefs de notre pays, ce qui engendre des vents généralement faibles au niveau du plateau suisse. Pour rencontrer un potentiel éolien favorable, il est donc nécessaire soit de s'élever vers les sommets des reliefs, soit de disposer de vallées qui canalisent ces vents, ou encore de disposer de vents thermiques fréquents. Aucune de ces trois conditions n'est remplie pour la zone d'étude en question. Le potentiel de la région lausannoise est traduit sur le schéma 4.

Possibilité d'utilisation de l'énergie éolienne dans un quartier à « 2000 watts »

Au niveau cantonal, les recommandations pour l'implantation de grandes éoliennes (hauteur de mât > 30 mètres), exige une distance minimale de plus de 300 mètres des habitations les plus proches. Cette recommandation découle des problématiques liées aux nuisances sonores. En tenant compte de ces contraintes, un projet de grande éolienne peut être exclu dans l'éco-quartier. Il reste les petites éoliennes. Celles-ci, malgré un marché peu mature, ont vu ces dernières années de nombreux développements, notamment en ce qui concerne les éoliennes à axe vertical, qui gèrent mieux l'importante turbulence à proximité du sol. Ces développements ont permis de réduire de manière substantielle les nuisances sonores, cependant, force est de constater que ces améliorations se sont faites au détriment des performances. Cela a pour conséquence que les petites installations ont des coûts, au kW installé, importants. En ce qui concerne les autorisations, le Canton de Fribourg a, par exemple, instauré des règles qui n'autorisent la réalisation de projets que s'ils permettent de compenser l'énergie grise. Cette règle se traduit par un nombre minimal d'heures de fonctionnement à pleine charge, estimé à environ 500 heures.

En conclusion, le site de l'éco-quartier n'a pas un potentiel suffisant pour envisager un développement financièrement raisonnable du petit éolien. L'intégration de grandes éoliennes en milieu urbain n'étant pas acceptée par la législation cantonale, l'énergie éolienne est donc à déconseiller sur un site défavorable tel que l'éco-quartier. Au prix de production actuel et à considérer que nous souhaitons produire de l'électricité renouvelable in situ, il est nettement préférable de s'orienter vers des installations photovoltaïques, qui ont un coût de revient inférieur au petit éolien et qui ont l'avantage de ne générer aucune nuisance sonore.

Enfin, au-delà d'une production purement locale qui, nous l'avons vu, n'est pas envisageable sur le plateau des PLaines-du-Loup, l'énergie éolienne produite à des emplacements favorables, tels que les projets en cours à la commune, serait un investissement, pour l'éco-quartier, qui permettrait de lui assurer une énergie électrique renouvelable en quantité et ce à un prix pour le consommateur final de l'ordre de 30% plus cher que le courant distribué sur le réseau (énergie + transport + diverses taxes).

3.6. L'énergie hydraulique

Potentiel

Le futur éco-quartier ne dispose d'aucune ressource permettant d'envisager une production via un turbinage des eaux. En effet, le site ne possède aucun ruissellement de surface ou rivière susceptible d'être exploitée. D'autre part, le débit des eaux claires, basé sur les apports pluviaux, est insuffisant pour pouvoir envisager un turbinage économiquement supportable. Enfin, le réseau d'eaux claires possède de multiples apports latéraux qui ne permettent en général pas d'envisager une mise en pression de la conduite. Il est donc proposé de ne pas retenir cette technologie sur le périmètre des Plaines-du-Loup.

3.7. La cogénération par piles à combustible

Potentiel

La pile à combustible ou PAC est un dispositif qui fonctionne à l'inverse de l'électrolyse de l'eau pure. Elle transforme l'énergie chimique en énergie électrique. Il s'agit d'un dispositif de cogénération électricité–

chaleur intéressant dans la mesure où sa production électrique peut dépasser, avec certains combustibles, des rendements de 60% et ce sur de petites unités.

Possibilité d'utilisation de la cogénération par PAC dans un quartier à «2000 watts»

La pile à combustible est une technologie dont le développement a démarré autour des années 1840, mais qui n'a pas eu de percée commerciale significative à ce jour. En effet, il n'y avait pas, début 2009, d'entreprise en mesure de fournir une pile à combustible et d'annoncer un prix de la pile et des stacks de remplacement. Certains acteurs du marché proposent des piles, mais il s'agit en général de projets bien ciblés de recherche et développement. Les problèmes principaux de cette technologie sont : la nécessité d'un combustible très pur (sous peine d'encrassement et de baisse de rendement), une durée de vie limitée et courte, un prix élevé et des besoins importants en platine pour les membranes. Il existe des piles à combustible fonctionnant avec différents agents énergétiques tels que l'hydrogène, le gaz naturel ou le méthanol. Les PAC au gaz des sociétés Hexis (CH) et Helion (Fr) ont des rendements entre 25 et 30%. Les PAC fonctionnant à l'hydrogène ont parfois des rendements supérieurs. Toutefois, l'hydrogène n'étant pas un gaz inexistant à l'état naturel, il est en général produit à partir de combustibles fossiles ou par hydrolyse de l'eau à grand renfort d'électricité. Dans ces deux cas, l'hydrogène est un vecteur énergétique et la chaîne globale d'approvisionnement : source d'énergie primaire (fossile ou électrique) – hydrogène – PAC – électricité, pourrait, selon les experts, atteindre un rendement maximal de 25%. Il apparaît dès lors que l'utilisation directe de vecteurs énergétiques fossiles ou de l'électricité stockée permet d'atteindre des rendements supérieurs.

Aussi, il n'est pas possible de recommander cette technologie, qui est toujours à l'état de recherche et développement. Les entreprises à suivre et qui sont le plus proche d'une percée commerciale sont Ballard (Canada), Helion (France), Hexis et HTCeramix (Suisse).

4. Le stockage d'énergie

4.1. Le stockage d'électricité

Potentiel

Le chapitre 3 a mis en évidence la «saisonnalité» des besoins en énergie, qui ne correspond pas toujours à celle de la production, plus particulièrement lorsqu'il s'agit d'énergie renouvelable ou de valorisation des rejets de chaleur (solaire, éolienne, incinération des déchets, etc.). Afin d'établir un lien entre la production et la consommation d'énergie, il est nécessaire de la stocker. En ce qui concerne le stockage d'électricité, l'adéquation entre l'offre et la demande est effectuée par les gestionnaires de réseau qui actionnent les productions et stockages en fonction de la demande.

Possibilité d'utilisation du stockage d'électricité dans un quartier à «2000 watts»

En théorie, les stockages d'électricité peuvent être réalisés par les technologies suivantes :

- * pompage d'eau dans des réservoirs (barrages);
- * stockage dans des batteries;
- * stockage dans des compresseurs;
- * stockage des combustibles (gaz naturel, charbon, mazout, bois, etc.).

En pratique, les batteries et les compresseurs ne sont quasiment pas utilisés pour des installations raccordées au réseau électrique. L'investissement financier pour la réalisation d'un stockage local d'électricité pour l'éco-quartier ainsi que son efficacité semblent, à l'heure actuelle, condamner cette possibilité. En effet la Ville de Lausanne est partiellement propriétaire d'une installation de pompage turbinage hydraulique de proximité régionale, qui permet d'envisager des rendements très élevés qui ne peuvent être atteints par d'autres technologies.

4.2. Le stockage de chaleur

Potentiel

Le stockage de chaleur est utilisé principalement pour des applications très locales et le plus souvent au niveau journalier. L'exemple le plus courant est celui d'un «boiler» de 300 litres qui est alimenté durant la nuit en énergie et qui restitue durant la journée la quantité d'eau chaude sanitaire nécessaire aux besoins d'une famille. Des durées plus longues de stockage permettraient toutefois de profiter d'un meilleur taux d'utilisation de l'énergie produite en été, comme la chaleur solaire ou celle issue de l'incinération des déchets. Une étude a été effectuée au printemps 2009 par un spécialiste du domaine et les données principales sont résumées ci-après.

Possibilité d'utilisation du stockage de chaleur dans un quartier à «2000 watts»

Différentes technologies sont envisageables pour stocker la chaleur sur une plus longue période. Si la technologie la plus sûre est la cuve, c'est aussi la plus chère. La technologie intermédiaire qu'est le bassin, présente un double inconvénient : elle nécessite d'une part de réserver des surfaces importantes de terrain et de réaliser, d'autre part, une étanchéité parfaite très difficile à obtenir au vu des expériences réalisées durant les vingt dernières années (cf. réalisations au Danemark). Si nous devons retenir cette technique, nous lui préférerions le bassin rempli d'un mélange «cailloux + eau» (style aquifère artificiel).



Schéma 5 : La cuve

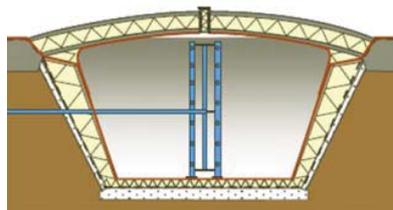


Schéma 6 : Le bassin

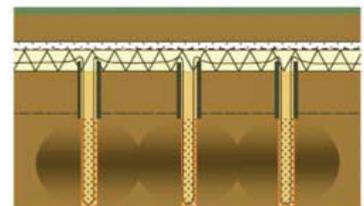


Schéma 7 : Le stockage diffusif

A contrario, la technologie plus délicate du stockage diffusif est la moins chère et la moins intrusive en surface. Cette technologie, bien maîtrisée et correctement mise en oeuvre, peut donner de très bonnes performances technico-économiques. Le système global est représenté sur le schéma 8.

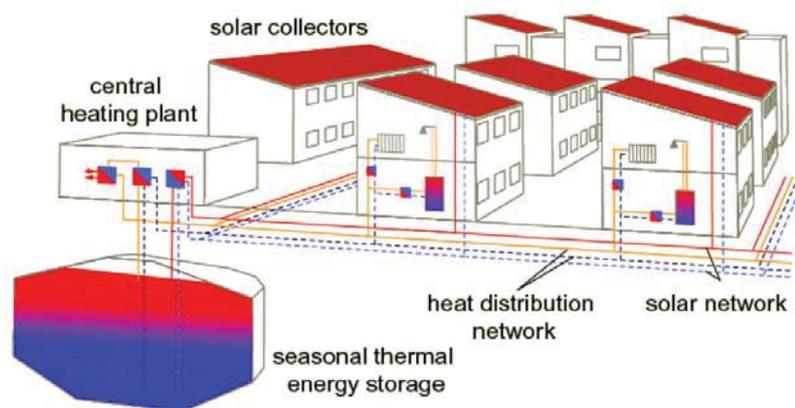


Schéma 8 : Système de stockage diffusif de chaleur produite à l'aide de capteurs solaires thermiques

Plusieurs variantes ont été simulées afin d'identifier les meilleures combinaisons à mettre en place pour obtenir des solutions techniques efficaces à des coûts supportables. Les sources d'énergies prises en compte sont la chaleur solaire, captée à l'aide panneaux solaires thermiques et la chaleur issue de l'incinération des déchets, injectée dans le réseau de chauffage à distance lausannois. Ainsi, pour des bâtiments du type Minergie P® ou Passivhaus®, deux principes de stockage ont été analysés :

- * Le stockage saisonnier individuel (bâtiment par bâtiment) réalisé à l'aide de cuves (cf. schéma 5);
- * Le stockage saisonnier centralisé par îlots (plusieurs bâtiments ou quartier entier).

Les résultats des simulations ont démontré que cette technologie pourrait être adéquate pour augmenter sensiblement la couverture des besoins d'énergie de chauffage des bâtiments par l'énergie solaire. Ensuite, afin d'atteindre un prix compétitif du kWh, les capteurs solaires thermiques ont été substitués par une connexion au réseau de chauffage à distance lausannois qui, comme décrit précédemment possède un surplus de chaleur estivale de 85 GWh (presque intégralement issu de l'incinération des déchets) et dont une partie pourrait être ainsi stockée pour répondre aux besoins hivernaux.

Toutefois, au vu des expériences négatives effectuées à ce jour, il serait souhaitable de réaliser un projet pilote de stockage thermique sur le réseau du chauffage à distance. Si cette technologie s'avérait concluante, il pourrait être envisagé de l'appliquer à l'éco-quartier des Plaines-du-Loup et ce, principalement sur les zones où le CAD est déjà présent.

Conditions nécessaires à l'implantation d'un stockage diffusif de la chaleur

- * Sol : adapté au forage, sans écoulement souterrain, excavation en surface de 1 m ou remblai après isolation sur toute la surface;
- * Bâtiment : réserver une place pour la cuve locale (10 m³);
- * Parkings souterrains : éloignés de plus de 10 m du stock ou, à défaut, prévoir l'isolation des parois des parkings pour limiter les déperditions du stockage diffusif;
- * Fondation : sans contrainte spécifique (le stock souterrain est recouvert d'une épaisseur d'un m de terre, il devient praticable pour des usages courants);
- * Profondeur du stock : de 30 à 150 m (optimum de la forme d'un stock de 30'000 m³ obtenu pour une profondeur de 50 m);
- * Bâtiments adjacents : les locaux enterrés à proximité du stock (dont la température peut atteindre les 90°C) doivent en être éloignés d'au moins 10 à 15 m et leurs parois doivent être isolées;
- * Hauteur de terre : on peut remblayer dessus minimum 1m, maximum sans limite, en laissant un canal accessible pour les conduites de liaison au stock;
- * Accessibilité : mettre en oeuvre des longueurs de sondes permettant de centraliser les raccords et disposer un regard pour accéder à cette zone de fragilité.

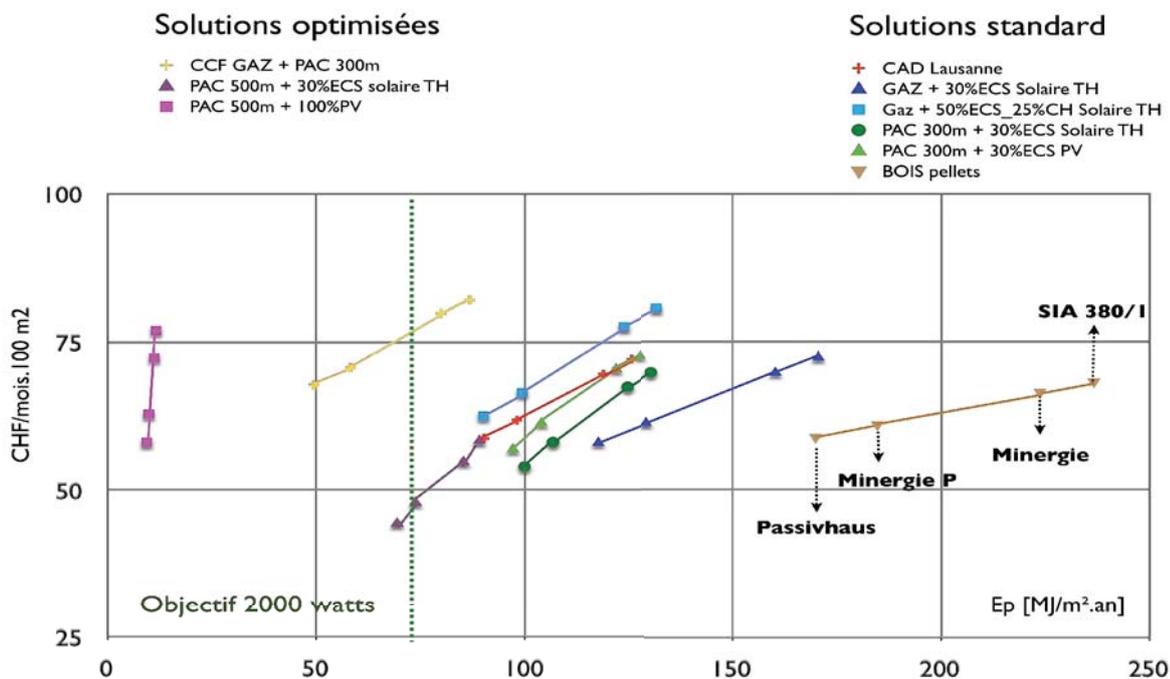
5. Synthèse

L'analyse des besoins en énergie primaire a montré que le recours à des mesures d'efficacité énergétique, menées principalement sur l'enveloppe, la forme urbaine et la valorisation du solaire passif permettra de réduire les besoins de chauffage d'environ 55% par rapport aux normes légales en vigueur. Toutefois, seules, ces mesures constructives ne suffiront pas à atteindre les objectifs de la «Société 2000 watts». Dès lors, la mise en oeuvre de systèmes de production de chaleur efficaces et valorisant en grande partie des sources d'énergies renouvelables, est nécessaire. S'agissant de l'électricité et en complément des mesures d'efficacité imposées par l'atteinte des valeurs cibles de la SIA 380/4, un minimum de 45% des besoins résiduels devront être couverts par une production renouvelable locale.

5.1. Ressources en chaleur

Un système énergétique (filiale de l'agent énergétique et système de production) est caractérisé par son rendement énergétique, c'est-à-dire par sa capacité à transformer l'énergie primaire en énergie utile, tout en en passant par un stockage éventuel. Il est également évalué en fonction de la part d'énergie renouvelable valorisée, des coûts d'investissements, du frais qu'il engendre à l'exploitation (combustibles, électricité, entretien, etc.) et finalement du prix de l'énergie produite.

Un grand nombre de systèmes ont été étudiés dans le cadre de cette étude. Le graphique ci-dessous permet d'étudier la compatibilité des différentes solutions étudiées avec la «Société 2000 watts» (consommations d'énergie primaire pour la chaleur < 72 MJ/m²A_E.an) tout en visualisant leur coût global (amortissement de l'investissement + entretien + frais d'exploitation liés aux combustibles ou à l'électricité consommés). Pour simplifier la lecture, nous avons établi deux familles de systèmes énergétiques : les solutions standard situées à droite de la cible de 72 MJ/m²A_E.an et les solutions optimisées qui permettent d'atteindre l'objectif «Société 2000 watts». Enfin, pour chacun des systèmes énergétiques étudiés, nous avons déterminé quatre points correspondant aux quatre qualités d'enveloppe définies dans le chapitre «Climat intérieur & ECS» (SIA 380/1, Minergie®, Minergie-P® et Passivhaus®).



Graph 3 : coûts globaux de différents systèmes de production de chaleur en fonction de la consommation en énergie primaire nécessaire à la couverture des besoins de chauffage et d'eau chaude sanitaire du quartier des Plaines-du-Loup.

Hypothèses de calculs

Chauffage : rendement de production yc. pertes sur réseau sur site : (Bois : 0.75; CAD : 0.81; Gaz : 0.95; PAC_{300m} : COP = 4.25; PAC_{500m} : COP = 6.6)

ECS : rendement de production yc. pertes sur réseaux sur site : (Bois : 0.75; CAD : 0.81; Gaz : 0.92; PAC_{300m} : COP = 2.25; PAC_{500m} : COP = 3.2)

Rendement de distribution chauffage = 0.9; rendement de distribution de l'ECS= 0.85)

Facteurs de conversion en énergie primaire : "Données des écobilans dans la construction 2009/1" KBOB, eco-bau, IPB, juin 2009.

Sans surprise, aucune des solutions traditionnelles (chaudière à gaz ou à bois, pompe-à-chaleur - avec sondes géothermiques de 300 m de profondeur et une couverture réglementaire de 30% des besoins en ECS par du solaire thermique, CAD) ne permet d'atteindre les objectifs de la «Société 2'000 watts» et ce, qu'elle que soit le standard énergétique des bâtiments.

Les solutions optimisées introduisent une fraction plus ou moins grande d'énergie renouvelable dans la production de chaleur : solaire thermique, chaleur de l'environnement valorisée par des PAC couplées à des sondes géothermiques d'une profondeur minimale de 500 m (dont l'électricité pourrait être produite par exemple à l'aide de capteurs solaires photovoltaïques). D'autre part, le rendement de certaines solutions standard peut être amélioré, comme une centrale chaleur-force au gaz alimentant une PAC et ainsi réduire la consommation en énergie primaire (attention toutefois aux émissions de GES et aux coûts de cette solution). Enfin, pour l'ensemble des solutions optimisés, l'atteinte des objectifs de la «Société 2000 watts», est conditionnée à une qualité optimale des bâtiments puisqu'ils doivent respecter au minimum le standard Minergie P® (y compris dans le cas d'une PAC 500 m - 100% PV, mais cette fois ci pour limiter l'investissement en PV).

Synthèse et analyse du cycle de vie du quartier

Enjeux

Comme évoqué dans le préambule de ce rapport, le concept de «Société 2000 watts» repose sur deux fondements. Le premier, largement traité dans cette étude, est la limitation des consommations d'énergie primaire dans l'objectif de répartir équitablement les ressources énergétiques à l'échelle planétaire. Le second est une gestion durable de nos ressources, la limitation du phénomène de réchauffement climatique et, par extension, de l'impact environnemental global de nos sociétés. C'est pourquoi nous proposons, en résumé, de déterminer l'impact environnemental du quartier des Plaines-du-Loup et ce, en croisant les informations données par les trois indicateurs suivants :

Ep - Energie primaire

Exprimée en $\text{MJ}/\text{m}^2\text{A}_{\text{E}}.\text{an}$, l'énergie primaire permet de comptabiliser la consommation d'énergie totale, depuis l'extraction (par exemple, d'un combustible), jusqu'à l'obtention d'un produit final (par exemple, la chaleur utile). Cet indicateur, en intégrant l'ensemble des pertes de rendement d'un processus, donne une indication de la quantité réelle d'énergie brute prélevée à l'environnement.

GWP - Global Warming Power

Exprimé en $\text{kgCO}_2 \text{ éq.}/\text{m}^2\text{A}_{\text{E}}.\text{an}$, cet indicateur désigne le potentiel de réchauffement global (PRG) d'un gaz émis dans l'atmosphère. Par extension, il permet de mesurer l'impact de l'activité humaine sur le réchauffement climatique.

UBP - Umwelt Belastung Punkten

Exprimés en $\text{pts}/\text{m}^2\text{A}_{\text{E}}.\text{an}$ et à la différence du potentiel de réchauffement global, les UBP représentent l'ampleur globale de différentes catégories d'impact agrégées par un système de pondération, puis de normalisation. Egalement nommés «Ecopoints», ils quantifient les charges environnementales résultant de l'utilisation de ressources énergétiques, de la terre et de l'eau douce, des émissions dans l'air, l'eau et le sol ainsi que de l'élimination des déchets.



Hypothèses

Pour effectuer ce bilan global, nous avons additionné les contributions de chacun des postes de consommation traités précédemment, à savoir : «Matériaux», «Climat intérieur & eau chaude sanitaire», «Lumière & appareils électriques», «Mobilité induite». Nous établirons finalement l'impact environnemental des trois scénarii : «Etat actuel», «Efficacité» et «Société 2000 watts», en agrégeant l'ensemble des hypothèses effectuées précédemment (cf. tableau 1). Ainsi, concernant le choix des systèmes de conversion d'énergie, le scénario «Etat actuel» se verra attribuer le vecteur énergétique «CAD»; le scénario «Efficacité», l'option «PAC sondes géothermiques profondes de 300m + 30% des besoins d'ECS couverts par du solaire thermique»; et enfin, le scénario «Société 2000 watts», la variante «PAC sondes géothermiques profondes de 500m + 30% des besoins d'ECS couverts par du solaire thermique».

A noter qu'à ce stade et par manque de données précises sur le rendement global du système, nous ne calculerons pas l'impact environnemental de l'option «Stockage saisonnier». Celui-ci devra être établi à l'occasion de la réalisation d'un projet pilote.

1. Impact environnemental global

1.1. Agrégation des mesures à prendre dans les quatre domaines

«Matériaux»; «Climat intérieur & eau chaude sanitaire»; Lumière & appareils électriques»; «Mobilité induite»

Dans le tableau 1, est résumé l'ensemble des hypothèses établies tout au long de cette étude. Il définit de manière synthétique les mesures à prendre pour atteindre chacun des trois scénarii énergétiques et, partant de l'état actuel, de mesurer les efforts à fournir pour atteindre le standard «Société 2000 watts».

Scénario	Dimensions moyennes des bâtiments	Matériaux Mode constructif	Climat intérieur & eau chaude sanitaire		Lumière & appareils électriques		Mobilité induite
			Isolation et apports solaires	Système de conversion d'énergie	Lumière & électricité	Eclairage extérieur	
Etat actuel	SBP : 2'000 m ² A _{th} /A _E < 1.4	Type A	Valeur limite SIA 380/1 édition 2009	Chauffage à distance	Valeur limite SIA 380/4	Valeurs actuelles	Parc automobile et comportements actuels
Efficacité	SBP : 3'000 m ² A _{th} /A _E < 1	Type B ou C	Minergie P Masque solaire moyen d'un angle < à 25°	PAC sondes géothermiques de 300 m de profondeur + solaire thermique couvrant 30% des besoins en ECS	Valeur cible SIA 380/4	Réduction nocturne des intensités sauf sur axes principaux	Parc automobile aux normes UE 2020 + comportements actuels
Société 2000 W	SBP : 3'000 m ² A _{th} /A _E < 0.9	50 % type D 50 % type B/C	Passivhaus Masque solaire moyen d'un angle < à 20°	PAC sondes géothermiques de 500 m de profondeur + solaire thermique couvrant 30% des besoins en ECS	Valeur cible SIA 380/4 + 45% des besoins couverts par des énergies renouvelables	Scénario «Efficacité» + lampadaires solaires couplés à des détecteurs de présence sur domaine privé	Parc automobile aux normes UE 2020 + comportements modifiés + 4'500 m ² de PV

Tableau 1 : Synthèse des mesures à appliquer par poste de consommation d'énergie

Compléments d'hypothèse

Matériaux

- Mode constructif A : béton préfabriqué, isolation polyuréthane, cadres de fenêtres en aluminium, etc.
- Mode constructif B/C : béton armé ou briques, isolation en polystyrène XPS, cadres de fenêtres en bois-métal, etc.
- Mode constructif D : ossature bois, isolation en laine minérale, cadres de fenêtres en bois, etc.

Mobilité

- Normes UE 2020 : véhicules consommant au maximum 3.5l/100 km et émettant moins de 90 gCO₂/km.
- Part de véhicules par type de propulsion : 25% essence; 40% diesel; 20% gaz; 15% électrique ou air comprimé.
- Comportements modifiés : report modal permettant que 56% des km parcourus le soient à l'aide de modes de déplacement doux ou de TP et augmentation du taux d'occupation des véhicules de 14% par rapport à 2005. Selon le micro-recensement 2005, le taux d'occupation des véhicules individuels motorisés est de 1.57. Selon le scénario «Société 2000 watts», il serait idéal que ce taux passe à 1.8.
- 4'500 m² de capteurs photovoltaïques dédiés à la couverture des besoins des véhicules alternatifs types électriques ou à air comprimé.

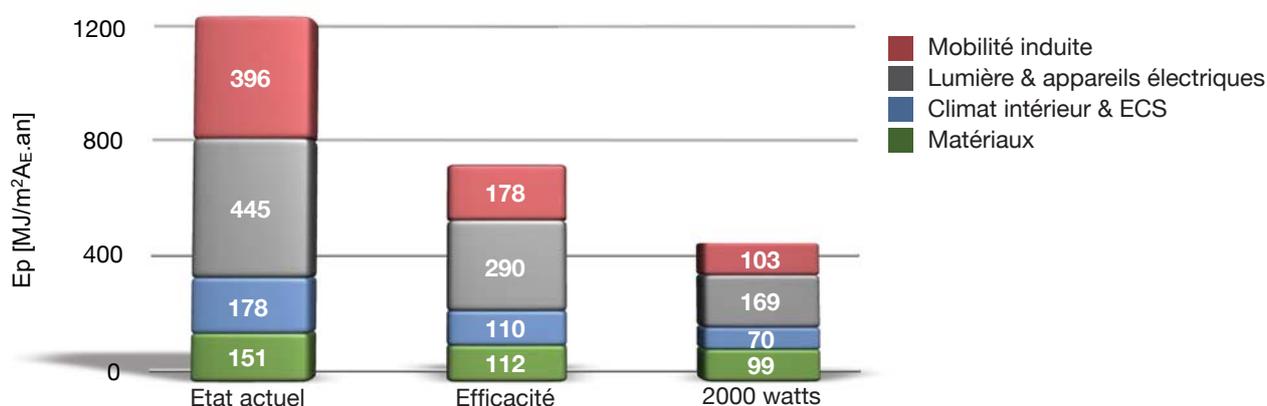
Compte tenu de l'ensemble des mesures constructives et comportementales résumées ci-dessus, nous avons ensuite déduit les trois indicateurs environnementaux Ep, GWP et UBP pour le quartier des Plaines-du-Loup. L'ensemble des résultats est présenté sur les graphiques 1, 2 et 3.

1.2. Energie primaire

D'après le graphique 1, nous constatons que l'atteinte du scénario «Société 2000 watts» représente une réduction des consommations en énergie primaire d'un facteur proche de 3 et ce, par rapport au simple respect des normes et comportements actuels. Le scénario «Efficacité» reste quant à lui supérieur d'environ 56% à cet objectif, ce qui démontre le niveau d'ambition de la Municipalité qui a opté pour la réalisation d'un quartier «2000 watts» sur le périmètre des Plaines-du-Loup.

Si nous raisonnons non plus par scénario mais par poste de consommation, il est essentiel de remarquer que le couple «Energie grise» + «Chaleur» est un enjeu majeur. En effet, il représente actuellement environ 330 MJ/m²A_E.an, ce qui correspond aux 3/4 de la valeur cible A de la «Société 2000 watts». Il est donc primordial de prendre les mesures constructives permettant de réduire d'un facteur 2 ces deux postes, afin de dégager une marge de manoeuvre destinée à couvrir les besoins d'électricité et de mobilité pour lesquels l'effort à fournir est considérable (réduction respectivement d'un facteur 3 et 4).

Graph 1 : Consommation en énergie primaire à l'échelle du quartier et en fonction du scénario énergétique



Par ailleurs, il est intéressant de remarquer que, si les domaines «Climat intérieur & ECS» et «Lumière & appareils électriques» représentent une part relative du bilan global quasiment constante pour les trois scénarii étudiés (respectivement 15 et 40% du bilan global), à l'inverse, la part des «Matériaux» ne cesse d'augmenter au fur et à mesure que nous tendons vers la «Société 2000 watts». Ils représentent, en effet, 13% du bilan global correspondant au scénario «Etat actuel», puis 16% dans le scénario «Efficacité» et enfin, près d'un quart des consommations globales en énergie primaire dans le dernier cas. A noter que sans les mesures d'optimisation qui ont été prises dans ce domaine (compacité de la forme urbaine du quartier et construction de 50% des bâtiments en ossature bois), l'énergie grise représenterait plus d'un tiers des consommations en énergie primaire.

En d'autres termes, la réduction de l'impact des constructions sur les dépenses en énergie primaire est un champ d'investigation désormais inéluctable et prioritaire. Le premier facteur de succès, quant à la réduction des consommations en énergie grise, étant la morphologie des bâtiments et, par extension, du quartier (cf. chapitre «Matériaux»); le stade du concours d'urbanisme est un moment décisif.

1.3. Potentiel de réchauffement global

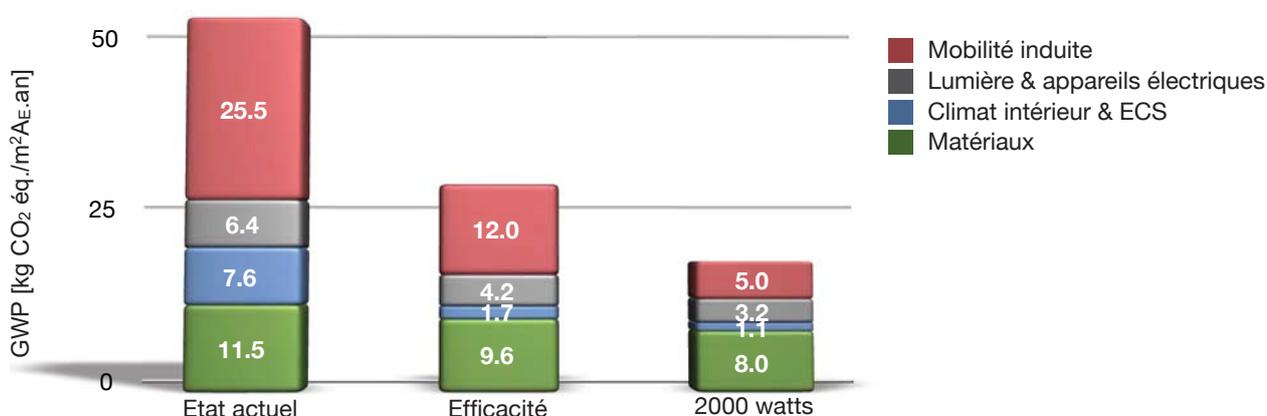
Au vu du graphique 2, nous pouvons constater que, dans le scénario «Etat actuel», le principal poste émetteur de gaz à effet de serre (GES) dans le secteur du bâtiment est en réalité celui de la mobilité qui représente 50% des émissions globales. Viennent ensuite les matériaux de construction, la chaleur puis l'éclairage et les appareils électriques. Si les choix en matière de mobilité dépendent grandement de comportements individuels, il n'en reste pas moins que la planification de l'éco-quartier devrait poser les conditions cadres propices à l'adoption de comportements plus vertueux. En d'autres termes, si nous ne pouvons imposer ici d'obligation de résultats, une obligation de moyens est indispensable.

S'agissant des émissions de GES inhérentes aux matériaux, là encore, plus l'on tend vers le concept de «Société 2000 watts» et plus leur responsabilité dans le bilan global devient importante, pour représenter près de 50% des émissions totales. Nous pouvons toutefois remarquer qu'il demeure, à ce stade, un potentiel de réduction puisque, selon nos hypothèses, 50% des constructions sont réalisées de manière traditionnelle plus émettrices de GES que les bâtiments en ossature bois.

Du point de vue du poste «Climat intérieur & ECS», la combinaison d'une morphologie urbaine optimisée (forme, taille et ensoleillement des bâtiments) avec la mise en oeuvre du standard Passivhaus® et d'une solution de production de chaleur efficace et majoritairement renouvelable, permet de réduire les émissions d'un facteur 8, pour ne plus représenter qu'une part minime dans le bilan CO₂ du quartier.

Enfin, et sans surprise, compte tenu du mix consommé sur le réseau électrique suisse, les émissions de GES de ce poste restent raisonnables même si elles sont plus incompressibles que celles liées à la chaleur (réduction seulement d'un facteur 2 entre «Etat actuel» et «2000 watts»).

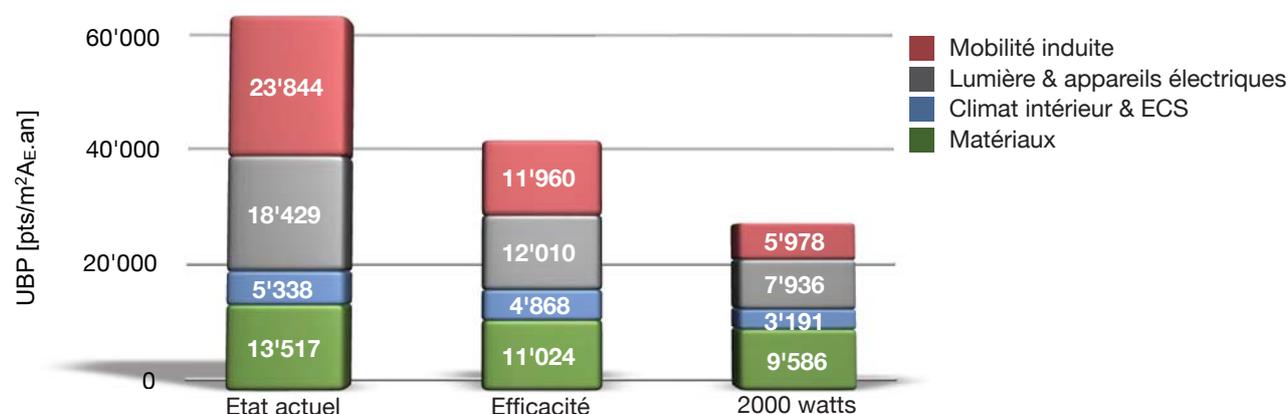
Graph 2 : Emissions de gaz à effet de serre à l'échelle du quartier et en fonction du scénario énergétique



De manière globale, les émissions du quartier planifié selon le scénario «Société 2000 watts» devraient être trois fois moindres que celles du même quartier planifié selon les normes et comportements actuels. Cette réduction représenterait une économie annuelle de plus de 11'700 tonnes de CO₂ et contiendrait les émissions des habitants à moins d'une tonne/pers.an.

1.4. Impact environnemental global

Graph 3 : Impact environnemental global à l'échelle du quartier et en fonction du scénario énergétique

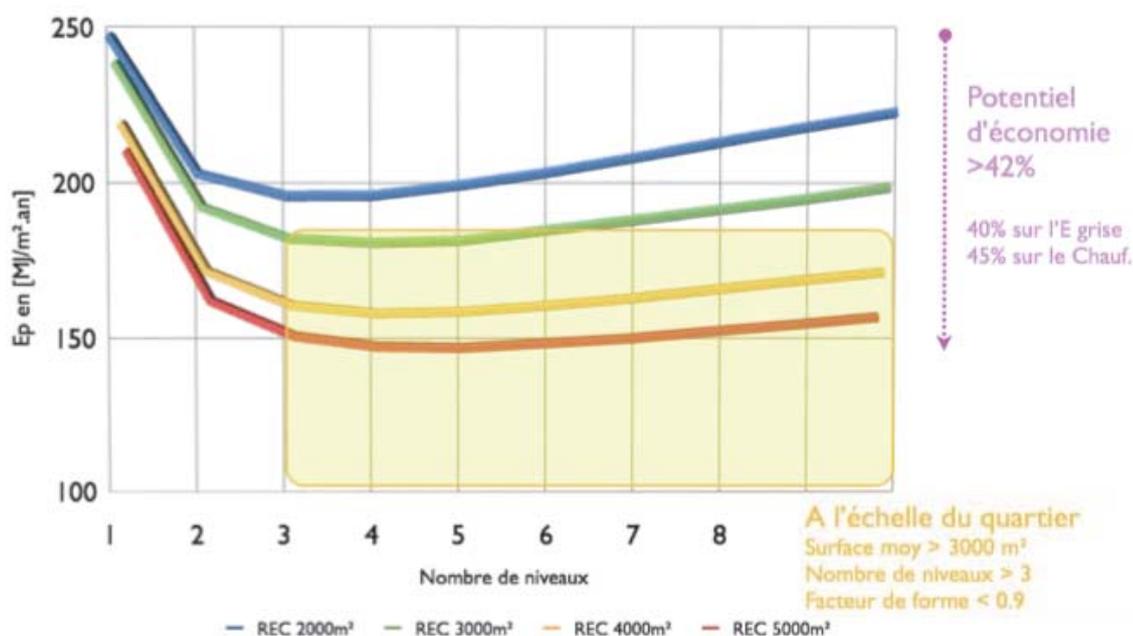


Sur le graphique 3, les efforts consentis en termes d'efficacité des véhicules et des appareils électriques, de la couverture d'une part importante des besoins en électricité par du photovoltaïque (50'000 m² à l'échelle du quartier, dont 4'500 m² dédiés à la mobilité) et enfin, sur les comportements en matière de mobilité, apparaissent très clairement. En effet, alors que les deux postes «Lumière & appareils électriques» et «Mobilité induite» représentent 70% de l'impact environnemental global dans le scénario «Etat actuel», nous constatons une réduction de leur impact d'un facteur 3 dans le scénario «2000 watts».

2. La forme urbaine, enjeu majeur au stade du concours d'urbanisme

Comme nous l'avons vu précédemment, le facteur de forme des bâtiments (A_{th}/A_E) influence directement les besoins d'énergie grise et de chauffage. Sur le graphique 4, nous avons cumulé ces deux besoins en énergie et fait varier la taille et le nombre de niveaux de bâtiments rectangulaires, de manière à mettre en évidence l'impact de la morphologie sur la demande en énergie.

Graph 4 : Somme des dépenses en énergie primaire du couple «Matériaux + Chauffage»



A la vue du graphique ci-dessus, on constate clairement que, pour chaque taille, un optimum énergétique apparaît en fonction du nombre d'étages du bâtiment. Au-delà de cette valeur (qui diffère pour chaque taille de bâtiment), les consommations en énergie primaire sur les deux postes «Matériaux» et «Chauffage» croissent au fur et à mesure que le facteur de forme augmente. En comparant les deux cas extrêmes de ce graphique ($A_{th}/A_E = 2.3$ et $A_{th}/A_E = 0.8$), une réduction des consommations d'énergie grise et des besoins de chauffage de l'ordre de 40% est envisageable.

A l'échelle du quartier, il apparaît donc opportun de viser une taille moyenne des bâtiments d'environ 3'000 m² SBP, un nombre de niveaux supérieur à 3 et un facteur de forme inférieur à 0.9.

Ainsi, de manière à dégager des marges de manoeuvre au niveau économique et architectural, il serait souhaitable de favoriser, sur le quartier des Plaines-du-Loup, un urbanisme dense, préférant la contiguïté et les typologies sur cour à l'implantation de petits bâtiments (du type villas urbaines) qui, par définition, sont isolés les uns des autres. A ce stade, il est essentiel de préciser que cet objectif s'entend en moyenne sur le quartier et ne constitue en aucun cas une règle absolue à appliquer à chacun des bâtiments, sous peine de se retrouver en contradiction avec la diversité urbanistique et architecturale souhaitable et désirée pour ce quartier.

Annexe 1 «Eco gestion des eaux»

démarche/principe	impact environnemental					impact économique					remarques	
	régulation des eaux	rejets polluants	intégration paysagère	réduction eau potable	emprise	valorisation énergétique	descriptif équipements	exploitation/entretien	application locale	application commune/centralisée		
eaux claires												
	infiltration	+	++	+	0		tranchée, puits	0 / -	+	-		
	biotope/fossé	+	++	++	+ ¹	-	régulateur débit	0	+	+		
eaux grises	zone inondable	+	++	++	+ ¹	0 ^a / -	régulateur débit	0	-	+		^a si intégrée à aménagement
	toiture végétalisée	+	+	+	+ ¹	0		0	+	+		
	arrosage	-			+	³	filtre, pompage, réseau complémentaire	0	+	+		
eaux usées	sanitaires	-			+	³	filtre, pompage, réseau complémentaire	-	+	+		
	sanitaires	0	0		++	0	réseau complémentaire	-	+	+		
	toilettes sèches	+ / - ⁴			+		stockage	-	+	-		
	toilettes NoMix	+ / - ⁴			+	locaux dans bâtiments	stockage, réseau complémentaire	-	+	+		
	collecte et stockage fèces	+ / - ⁴			+ / 0		stockage, réseau complémentaire	-	+	+		
	collecte et stockage urine	+ / - ⁴			+ / 0		stockage, réseau complémentaire	-	+	+		
	local	0 / - ⁴		0 / -	+ ¹	-	prétraitement, désodorisation	-	+	-		
	centralisé quartier	0 / - ⁴		-	+ ¹	-	prétraitement, désodorisation	-	+	+		
	STEP Vidy	0	0	0	0	0		0	-	+		
	roselière	+ / 0		+ / -	+ ¹	--		0 / -	+	+		^b indirect, pas de besoins en énergie
fertilisant (urine)				+ ^d			transformation produits	-	-	+	^d combiné avec système NoMix	
incinération boues				0				0	+	+		
recirculation effluents (sanitaires)				++			réseau complémentaire	0 / -	+	+	^c installations de pompage	

Annexe 2 «Matériaux»

Mode Constructif A

Eléments de construction	Composition	Epaisseur [cm]	U [W/m ² .K]
Façades	Parement extérieur en béton armé	8	0.115
	Isolation périphérique en polyuréthane	22	
	Béton armé pour façade	18	
	Enduit au plâtre	1	
Toitures	Gravier	6	0.095 (y compris les ponts thermiques)
	Etanchéité (couche bitumineuse)	0.2	
	Isolation polyuréthane	24	
	Béton armé pour dalle	20	
	Enduit au plâtre	0.5	
Dalles contre sous-sol	Parquet en chêne	1.5	0.155 (yc ponts thermiques des interruptions d'isolation en sous-face)
	Chape de ciment	7	
	Laine de pierre (105 kg/m ³)	3	
	Béton armé pour dalle	20	
	Isolation polyuréthane	14	
Dalles d'étage courant	Parquet en chêne	1.5	-
	Chape de ciment	7	
	Laine de pierre (105 kg/m ³)	3	
	Béton armé pour dalle	20	
	Enduit au plâtre	0.5	
Fenêtres (40% de vitrage en façades)	Triple vitrage - cadre aluminium	25% de cadre	1

Mode Constructif B

Eléments de construction	Composition	Epaisseur [cm]	U [W/m ² .K]
Façades	Revêtement extérieur (fibrociment)	0.2	0.115 (dont +0.02 pour les fixations de la façade ventilée)
	Lattage + lame d'air ventilée	2.25	
	Isolation périphérique XPS	32	
	Béton armé	20	
	Enduit au plâtre	1	
Toitures	Gravier	6	0.095 (y compris les ponts thermiques)
	Etanchéité (couche bitumineuse)	0.2	
	Isolation polystyrène XPS	32	
	Béton armé pour dalle	20	
	Enduit au plâtre	0.5	
Dalles contre sous-sol	Parquet en chêne	1.5	0.155 (yc ponts thermiques des interruptions d'isolation en sous-face)
	Chape de ciment	7	
	Laine de pierre (105 kg/m ³)	3	
	Béton armé pour dalle	20	
	Isolation polystyrène XPS	20	
Dalles d'étage courant	Parquet en chêne	1.5	-
	Chape de ciment	7	
	Laine de pierre (105 kg/m ³)	3	
	Béton armé pour dalle	20	
	Enduit au plâtre	0.5	
Fenêtres (40% de vitrage en façades)	Triple vitrage - cadre bois-métal	25% de cadre	0.85

Mode Constructif C

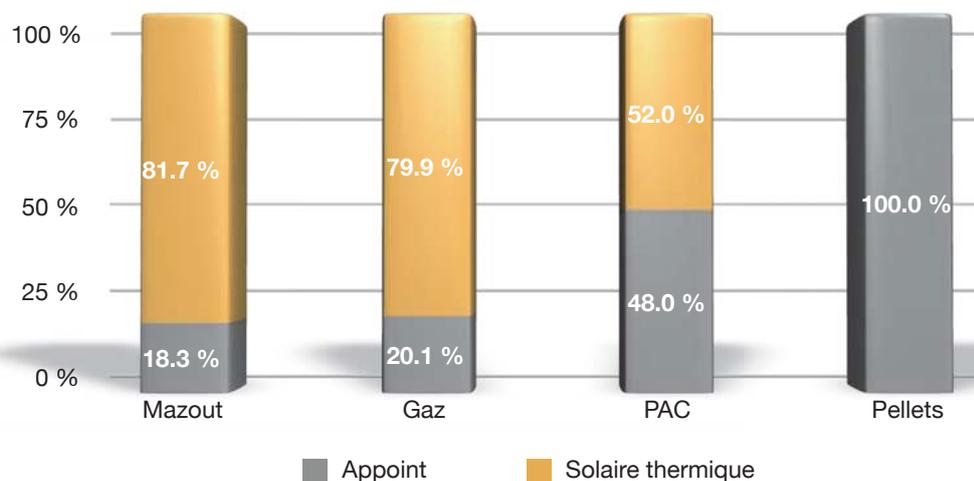
Eléments de construction	Composition	Epaisseur [cm]	U [W/m².K]
Façades	Revêtement extérieur (fibrociment)	0.2	0.115 (dont +0.02 pour les fixations de la façade ventilée)
	Lattage + lame d'air ventilée	2.25	
	Isolation périphérique XPS	32	
	Brique terre cuite 80% / BA 20%	20	
	Enduit au plâtre	1	
Toitures	Gravier	6	0.095 (y compris les ponts thermiques)
	Etanchéité (couche bitumineuse)	0.2	
	Isolation polystyrène XPS	32	
	Béton armé pour dalle	20	
	Enduit au plâtre	0.5	
Dalles contre sous-sol	Parquet en chêne	1.5	0.155 (yc ponts thermiques des interruptions d'isolation en sous-face)
	Chape de ciment	7	
	Laine de pierre (105 kg/m³)	3	
	Béton armé pour dalle	20	
	Isolation polystyrène XPS	20	
Dalles d'étage courant	Parquet en chêne	1.5	-
	Chape de ciment	7	
	Laine de pierre (105 kg/m³)	3	
	Béton armé pour dalle	20	
	Enduit au plâtre	0.5	
Fenêtres (40% de vitrage en façades)	Triple vitrage - cadre bois-métal	25% de cadre	0.85

Mode Constructif D

Eléments de construction	Composition	Epaisseur [cm]	U [W/m².K]
Façades	Enduit mortier extérieur	1.5	0.115 (dont +0.02 pour les fixations de la façade ventilée)
	Isolation périphérique Swisspor ROC	16	
	Panneau aggloméré bois	1.8	
	Poteaux bois / Swisspor ROC	20	
	Panneau aggloméré bois	1.8	
	Enduit au plâtre	1	
Toitures	Gravier	6	0.095 (y compris les ponts thermiques)
	Etanchéité (couche bitumineuse)	0.2	
	Isolation polystyrène XPS	34	
	Dalle bois	20	
	Panneau placo-plâtre	1.25	
Dalles contre sous-sol	Parquet en chêne	1.5	0.155 (yc ponts thermiques des interruptions d'isolation en sous-face)
	Chape de ciment	7	
	Laine de pierre (105 kg/m³)	3	
	Béton armé pour dalle	20	
	Isolation polystyrène XPS	20	
Dalles d'étage courant	Parquet en chêne	1.5	-
	Chape de ciment	7	
	Laine de pierre (105 kg/m³)	3	
	Dalle bois en planches clouées	20	
	Panneau de placo-plâtre	1.25	
Fenêtres (40% de vitrage en façades)	Triple vitrage - cadre bois	15% de cadre	0.85

Annexe 3 «Climat intérieur & eau chaude sanitaire»

Couverture nécessaire des besoins d'ECS par du solaire thermique en fonction de différents appoints et de manière à satisfaire la cible A «Société 2000 watts» dans le domaine ECS ($E_p < 31 \text{ MJ/m}^2\text{A}_{E,\text{an}}$)



Hypothèses

Besoin d'eau chaude sanitaire de $60 \text{ MJ/m}^2\text{A}_{E,\text{an}}$ ($75 \text{ MJ/m}^2\text{A}_{E,\text{an}}$ pour l'habitat et $25 \text{ MJ/m}^2\text{A}_{E,\text{an}}$ pour le bureau)

Facteurs de conversion en énergie primaire définis selon la liste Oekobilanzdaten éditée par la KBOB / eco-bau /IPB 2009/1. A noter que seule la part non renouvelable de l'énergie primaire a été considérée dans ces calculs impliquant les facteurs de conversion en énergie primaire suivants : mazout = 1.23 MJ/MJ ; gaz = 1.14 MJ/MJ ; PAC = 0.665 MJ/MJ ; bois pellets = 0.207 MJ/MJ ; solaire thermique = 0.28 MJ/MJ .

Enfin, nous avons pris un rendement de distribution de l'ECS optimiste et égal à 90% (de manière à prendre en considération les efforts qui devront être effectués dans la rationalisation des gaines techniques, des réseaux, de leur isolation et dans l'installation d'appareils permettant d'économiser la ressource ECS); les rendements de production ont été adaptés selon le vecteur énergétique (mazout et gaz à condensation = 0.95, bois = 0.75)

Annexe 4 «Lumière & appareils électriques»

Hypothèses de dimensionnement de l'éclairage extérieur

Détermination de la surface dédiée aux voiries	
Surface du périmètre de l'éco-quartier	267'800 m ²
Part de la surface dédiée à la voirie	30 %
Surface affectée à la voirie dans l'éco-quartier	80'190 m ²

Tableau A4_1 : Estimation de la surface de voiries sur le quartier des Plaines-du-Loup

Type de voirie	Unités	Voiries A	Voiries B	Voiries C
Largeur moyenne des voiries	m	6.25	10	12
Hauteur du candélabre	m	6.25	10	12
Espacement des candélabres	m	25	40	48
Puissance de l'éclairage	W	70	100	150
Scénario de répartition	%	40	35	25

Tableau A4_2 : Répartition des voiries dans le quartier des Plaines-du-Loup et en fonction des types A, B et C

	Unités	Voiries A	Voiries B	Voiries C	Total
Scénario de répartition	%	40	35	25	100
Surface de voiries	m ²	32'076	28'067	20'048	80'190
Longueur de voiries	m	5'132	2'807	1'671	9'609
Nombre de candélabres	quantité	205	70	35	310
Puissance installée	watts	14'370	7'017	5'221	26'607
Puissance installée par mètre de rue	watts/m	2.8	2.5	3.1	2.8
Heures de fonctionnement maximum	h/an	3'373	3'373	3'373	10'119

Tableau A4_3 : Détermination du nombre de candélabres et des puissances à installer sur le quartier des Plaines-du-Loup.

Consommations d'électricité de l'éclairage extérieur selon les trois scénarii

	Consommation annuelle par type de voirie			Consommation annuelle du quartier	
	A	B	C	MWh/an	MJ/m ² A _E .an
Eclairage des voiries	48.5	23.7	17.6	89.7	0.9
Eclairage interne des parcelles	108.3	0	0	108.3	1.1
Total	156.8	23.7	17.6	198	2.0

Tableau A4_4 : Consommations d'électricité de l'éclairage extérieur - scénario «Etat actuel». Consommations usuelles établies sur la base de quartiers récents, sans aucunes mesures d'efficacité.

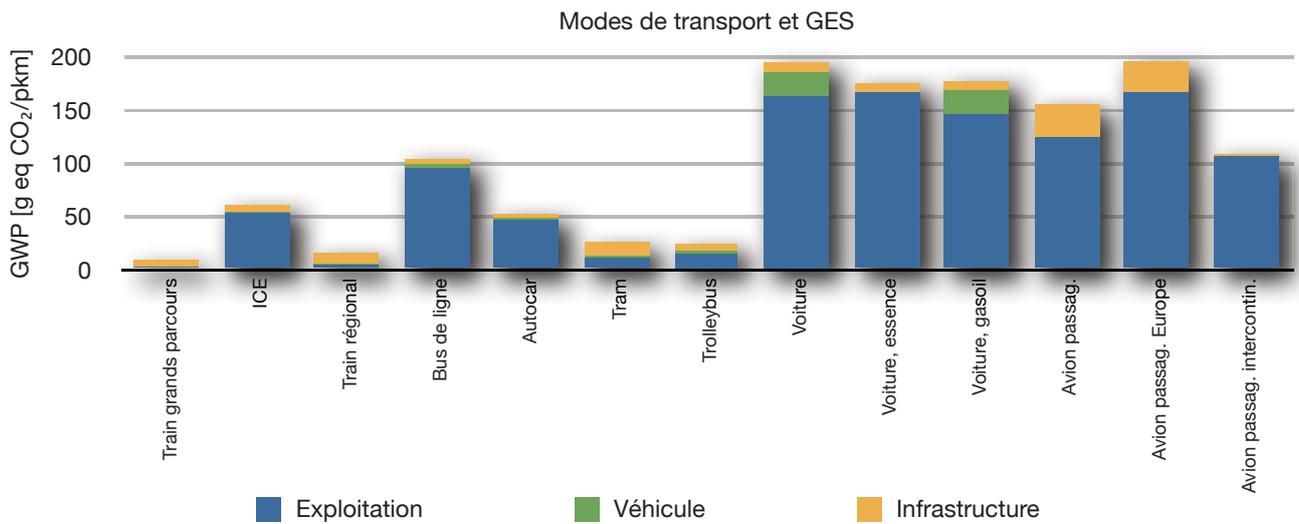
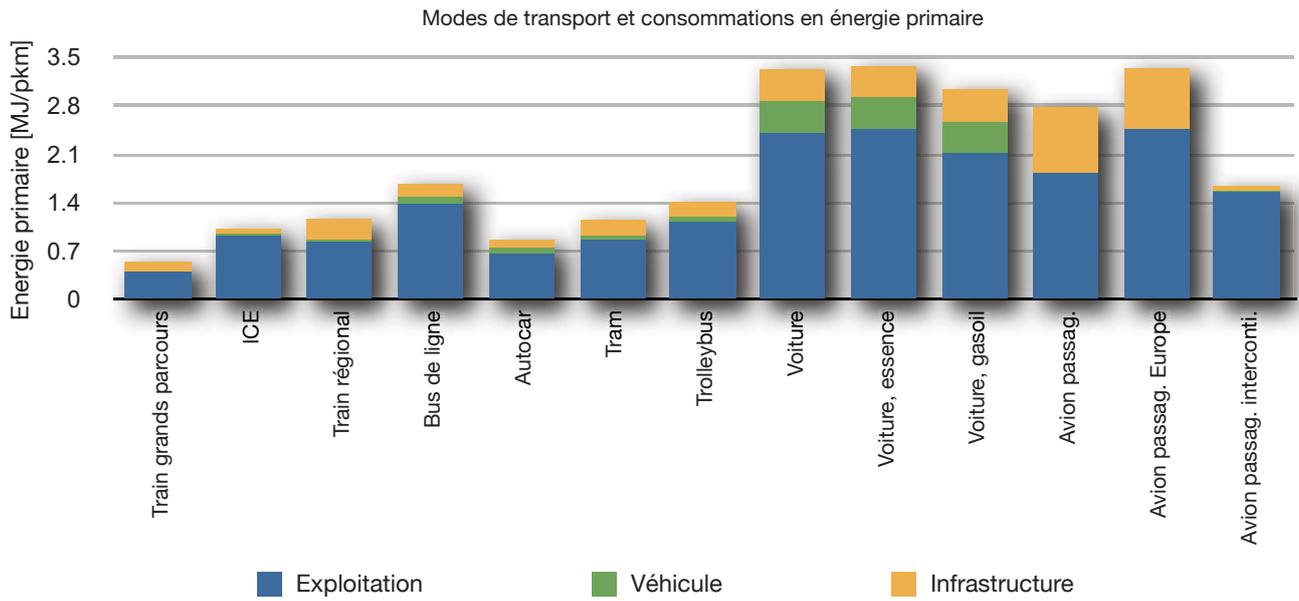
	Consommation annuelle par type de voirie			Consommation annuelle du quartier	
	A	B	C	MWh/an	MJ/m ² A _E .an
Eclairage des voiries	36.4	17.7	17.6	71.7	0.7
Eclairage interne des parcelles	108.3	0	0	108.3	1.1
Total	144.7	17.7	17.6	180	1.9

Tableau A4_5 : Consommations d'électricité de l'éclairage extérieur - scénario «Efficacité». Régulation optimale sur les lampadaires du domaine public (voiries type A et B), aucune mesure d'efficacité sur le domaine privé.

	Consommation annuelle par type de voirie			Consommation annuelle du quartier	
	A	B	C	MWh/an	MJ/m ² A _E .an
Eclairage des voiries	36.4	17.7	17.6	71.7	0.7
Eclairage interne des parcelles	39.9	0	0	39.9	0.4
Total	76.3	17.7	17.6	111.6	1.2

Tableau A4_6 : Consommations d'électricité de l'éclairage extérieur - scénario «Société 2000 watts». Régulation optimale sur les lampadaires du domaine public (voiries type A et B); domaine privé : lampadaires solaires sur espaces verts, régulation et détecteur de présence sur espaces de transition entre bâti et extérieur.

Annexe 5 «Mobilité induite»



Annexe 6 «Projet MEU»

1. Contexte

Les systèmes d'approvisionnement énergétiques urbains actuels sont caractérisés par une complexité croissante. En effet, les technologies dans le domaine énergétique en général deviennent de plus en plus intégrées – on parle désormais de réseaux multi-énergies, de co-, voire de tri-génération. L'approche innovante considérée dans le cadre de ce projet consiste ainsi à utiliser de manière plus accrue les réseaux de distribution multi-énergie (électricité, gaz, chaleur, froid, eau, etc.) afin d'exploiter au maximum les synergies entre consommateurs (habitat, commerce, etc.), d'une part, et les producteurs et ressources locales d'énergie (chaleur de l'environnement, soleil, rejets thermiques, etc.), d'autre part. En effet, l'intégration de plusieurs acteurs énergétiques tant au niveau de la consommation que de la production décentralisée permet : d'atteindre une masse critique suffisante pour utiliser des technologies efficaces et de considérer plusieurs options technologiques d'approvisionnement.

De plus, une série de changements structurels et législatifs, en matière d'électricité, de gaz, de chauffage et de transports, est actuellement en cours et aura certainement une influence déterminante sur les choix des acteurs énergétiques et des villes, en particulier. Citons, par exemple, l'ouverture des marchés énergétiques, la nouvelle Loi sur l'approvisionnement en électricité (LApEI), la récente mise en application de la Loi sur le CO₂ et des ordonnances y relatives, les modules de prescription énergétiques des cantons (MoPEC) ou encore les réglementations internationales qui ont également une influence directe dans notre pays (Protocole de Kyoto). Ces changements ouvrent de nouvelles perspectives pour une production de plus en plus décentralisée et vont probablement changer le paradigme de toute la problématique énergétique urbaine. Les modifications structurelles actuelles peuvent en effet fournir aux intéressés (villes, cantons, industries, etc.) de nouvelles opportunités pour réaliser des projets durables, qui n'étaient pas rentables jusqu'à aujourd'hui.

Enfin, le suivi des performances énergétiques et des émissions de CO₂ est devenu indispensable, afin de pouvoir bénéficier d'exonérations fiscales (taxe CO₂) ou de participer au futur marché suisse des droits d'émission de CO₂; cela permettra également de justifier des aides financières, par exemple au travers de la Fondation Centime Climatique. La réussite à long terme de tels projets énergétiques urbains passe ainsi par une gestion optimale des installations et un suivi continu et minutieux des performances du système. La fourniture de services énergétiques (chaleur, confort, etc.) aux clients finaux permettra aux Services Industriels de créer de la valeur ajoutée en optimisant l'efficacité des systèmes d'approvisionnement (diminution des consommations d'énergie primaire pour fournir un service énergétique équivalent).

2. Enjeux

Différentes études ont montré :

- * qu'il existe un « fossé » entre les solutions optimales proposées par des outils académiques déjà très performants et les solutions généralement mises en place sur le terrain;
- * qu'il n'existe actuellement pas de structure commune des données énergétiques (voire territoriales) pour les villes et que les données de terrain font souvent défaut. Cet état de fait complique l'utilisation d'outils de simulation complexes, en imposant l'usage de multiples hypothèses ou en ralentissant le processus par des campagnes de mesures laborieuses;
- * que les villes, voire les bureaux techniques, ne disposent généralement pas d'outils pour les conseiller lors des phases de planification énergétique.

Suite à ces constats, le projet MEU a été monté en collaboration avec les villes de La Chaux-de-Fonds,

Martigny et Neuchâtel, ainsi qu'avec l'EPFL, HES-SO, le CREM, l'OFEN et Novatlantis.

3. Objectifs du projet de Management énergétique urbain (MEU)

L'objectif général du projet MEU est de fédérer les méthodes et modèles de calculs actuels développés par différents laboratoires universitaires afin de développer et de valider une méthodologie intégrée de planification et de management de systèmes énergétiques en zones urbaines. L'approche de ce problème se base sur:

- * l'élaboration d'un modèle de données unifié à même de structurer l'information relevante (données de terrain, contraintes et indicateurs de performances);
- * la prise en compte des nouveaux outils de régulation (lois, règlements, etc.) et de financement;
- * la mise en adéquation de méthodes et de modèles numériques multi-échelles.

Les divers développements réalisés dans le cadre de ce projet seront concrétisés par un outil informatique d'aide à la décision, reposant sur un modèle de données unifié et agréé par les villes-partenaires. Les informations fournies par l'outil devront permettre:

- * de fournir du support aux planificateurs énergétiques urbains, tant pour la qualification ou le suivi des performances que pour la réalisation d'avant-projets de rénovation ou de construction de zones urbaines;
- * de définir les implications des nouveaux outils structurels (lois, subventions, etc.) sur les processus décisionnels (le cadre structurel faisant partie intégrante des modèles de données et algorithmes développés), soit aussi sur le design des systèmes d'approvisionnement énergétique dans les villes;
- * d'évaluer les forces, faiblesses et opportunités de marché pour les différents acteurs énergétiques actuels et futurs (distributeurs, sociétés de services énergétiques, etc.).

L'objectif lausannois de MEU est de fournir les critères environnementaux que devront remplir les candidats au concours d'urbanisme prévu en 2010. Pour gérer ces situations complexes, le projet fournira également un logiciel d'évaluation énergétique des projets d'urbanisme : CitySim.

Annexe 7 «Tour d'horizon de cinq éco-quartiers européens»

Est présentée ici, la synthèse de cinq expériences de quartiers durables réalisés en Europe (Vauban en Allemagne, BedZED en Angleterre, Eco-Viikki en Finlande, Hammarby et Bo01-Malmö en Suède). Les fiches détaillées sont accessibles sur le site www.lausanne.ch/ecoquartier

BedZED (Beddington Zero Emission Development) - sud de Londres

Objectifs

- Se passer des énergies fossiles et réduire la demande de chauffage de 90% par rapport au standard anglais
- Diviser par deux la consommation énergétique induite par la mobilité et alléger la facture d'eau potable de 33%

Caractéristiques générales

- 1.7 hectares, 82 logements, 2'500 m² de bureaux et commerces, espace communautaire
- Espaces verts, jardins terrasses et équipements sportifs
- Densité : CUS de 0.88, nombre de niveaux = R+2

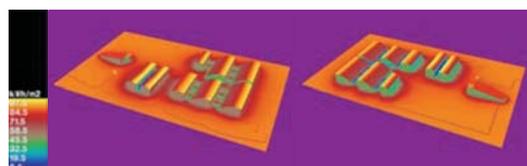
Résultats

- Electricité : 34 kWh/m².an dont 20% couverts du PV
- Chaleur : 25 kWh/m².an
- Eau : 72 l/pers.jour
- Transport : seulement 17% des résidents utilisent la voiture pour se rendre au travail



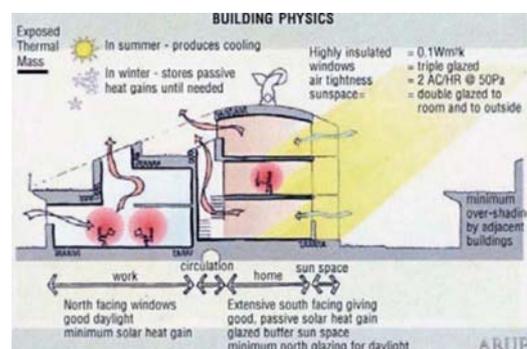
Irradiation solaire

En partie sud du site, les toitures des bâtiments sont tronquées de manière à limiter les ombres portées et à optimiser la pénétration du rayonnement solaire. Les concepteurs ont ainsi identifié une manière d'augmenter la densité d'un quartier tout en limitant les impacts négatifs sur la disponibilité de l'irradiation solaire. Ce n'est pas le cas au nord du site, où l'irradiation reçue par la façade sud du dernier bâtiment est diminuée de manière significative.



Points forts / faibles

- Forme compacte – qualité thermique des enveloppes
- Choix de matériaux à faible contenu en énergie grise
- Panneaux photovoltaïques
- Installations sanitaires économes en eau et récupération des eaux de pluie
- Contrôle de la performance à l'exploitation
- Technologies innovantes : unité de traitement des eaux usées et unité de cogénération hors services



Eco – Viikki, à 8 km du centre d'Helsinki

Objectifs

- ☛ Couvrir 25% des besoins de chaleur avec du solaire
- ☛ Limiter le besoin de chaleur à 105 kWh/m².an, les consommations d'électricité à 45 kWh/m².an et les volumes d'eau potable utilisés à 50 l/pers.jour
- ☛ Plafonner les émissions de CO₂ à 80% des normes

Caractéristiques générales

- ☛ 40 hectares, 600 unités résidentielles et 1'900 habitants
- ☛ Immeubles locatifs, maisons mitoyennes, commerces de première nécessité, centre médico-social et de loisirs, école, etc.
- ☛ Aménagement de «doigts verts» dans l'environnement bâti.
- ☛ Densité : CUS de 1.44, nombre de niveaux = R+5

Irradiation solaire

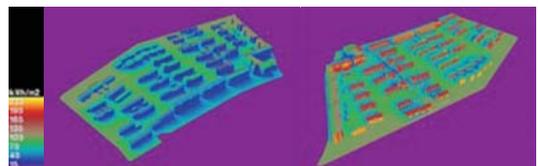
Chaque logement devait intégrer une serre et, la plupart des bâtiments, des capteurs solaires thermiques. La forme et l'implantation des bâtiments ont été optimisées en vue de maximiser la disponibilité du rayonnement solaire en hiver. En effet, à l'exception des bâtiments situés à l'ouest du site et orientés de manière à protéger le quartier des nuisances acoustiques occasionnées par une rue à fort trafic, on constate que les immeubles ont été généralement bien orientés. Cependant, le profil en gradins d'un grand nombre de ces bâtiments (requis par les jardins d'hiver) réduit l'irradiation disponible sur les façades adjacentes. Les bâtiments au centre sont masqués. Vu l'espace disponible sur le site, cela aurait facilement pu être évité.

Résultats

- ☛ 33% des besoins d'ECS sont couverts par du solaire thermique (1248 m²) et le reste de la chaleur est distribuée par un CAD
- ☛ Chaleur : 120 kWh/m².an; électricité : 70 kWh/m².an; eau potable : 126 l/pers.j

Points forts / faibles

- ☛ Imposition de critères environnementaux
- ☛ Serres bioclimatiques orientées au sud
- ☛ Panneaux photovoltaïques – solaire thermique
- ☛ Alternance entre des «doigts verts» et des zones bâties
- ☛ Contrôle de la performance à l'exploitation
- ☛ Quartier isolé du centre-ville impliquant une insuffisance de services de proximité et d'équipements publics.
- ☛ Mal desservi par les transports publics.



Hammarby - ancien site portuaire situé à proximité du centre-ville de Stockholm

Objectifs

- ☛ Couvrir 50% des besoins de chaleur par des énergies renouvelables (solaire + biogaz)
- ☛ Augmenter le recours aux TP (report modal de 80%)
- ☛ Limiter les besoins de chaleur à 40 kWh/m².an, plafonner la consommation d'électricité à 20 kWh/m².an et contenir les besoins en eau potable à 100 l/pers.jour

Caractéristiques générales

- ☛ 200 ha, 11'000 logements, 25'000 hab et 10'000 emplois
- ☛ Bureaux et commerces, école, bibliothèque, librairies, maison de retraite, centre de santé, cafés et restaurants
- ☛ Coût global : 4.5 milliards d'euros
- ☛ Densité : CUS de 2.3, nombre de niveaux = R+4

Irradiation solaire

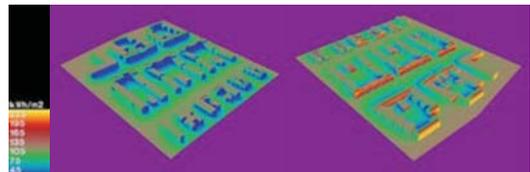
A ce niveau de latitude, les façades sud reçoivent beaucoup plus d'énergie que celles orientées à l'est ou à l'ouest. Dans le cas d'Hammarby, la majorité des volumes bâtis sont malheureusement mal orienté (par exemple, les façades sud des immeubles donnant sur cour ont été rehaussées dans un but de protection acoustique mais péjorant ainsi la disponibilité d'énergie solaire sur les façades intérieures est et ouest). Finalement, le concept spatial de ce quartier est globalement défavorable à l'utilisation de l'énergie solaire.

Résultats

- ☛ Energie : 120 kWh/m².an; eau 150 l/pers.jour
- ☛ Chaleur distribuée par un CAD (déchets : 47%, STEP : 34%, biogaz : 16%)
- ☛ Production de biogaz : 3.5 Mm³ dont 90% utilisés par le CAD et 10% dédié aux bus
- ☛ Construction d'un tramway transportant 19'000 pers/j

Points forts / faibles

- ☛ Système d'éco-cycle
- ☛ Réseau d'aspiration des déchets sous vide
- ☛ Centre d'information GlashausEtt
- ☛ Produit de la location des terrains propriété de l'état affecté au financement des infrastructures publiques
- ☛ Absence de stratégie de réduction des besoins et d'optimisation des ressources



Bo01 Malmö

Objectifs

- ☞ Limiter les besoins de chaleur à 105 kWh/m².an et les couvrir intégralement par des énergies renouvelables,
- ☞ Récupérer les eaux de pluie, valoriser les eaux usées et les déchets, favoriser le recyclage,
- ☞ Favoriser la mobilité douce et les transports publics.

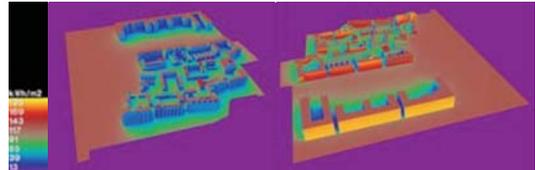
Caractéristiques

- ☞ 22 hectares et 1'303 unités résidentielles
- ☞ Mixité fonctionnelle : bureaux, commerces, école, crèches, librairies, cafés et restaurants,
- ☞ Canaux, ports récréatifs, front de mer
- ☞ Densité : CUS de 1.96, nombre de niveaux = R+4



Irradiation solaire

Le quartier se situe sur l'axe nord-sud et la majorité des bâtiments sont orientés à l'ouest ce qui péjore l'irradiation solaire reçue. Les façades orientées sud sont défavorisées par des occlusions significatives. Finalement, l'implantation a été principalement fixée pour profiter de la vue sur la mer ce qui n'a pas permis d'optimiser l'exploitation du potentiel solaire.



Résultats

- ☞ Production de chaleur : 80% géothermie et biogaz en provenance de la STEP, 15% solaire (1200 m² de capteurs). Stockage saisonnier de 4 GWh.
- ☞ Electricité : 1 éolienne de 2 MW fournissant 6.3 GWh/an couvre 100% des besoins du site.
- ☞ Consommation de chaleur 230 kWh/m².an
- ☞ Limitation du trafic routier. TP efficaces et attractifs. Autopartage et soutien aux véhicules électriques.

Points forts / faibles

- ☞ Production d'énergie 100% renouvelable
- ☞ Système d'aspiration des déchets sous vide
- ☞ «Points verts» préservant la biodiversité
- ☞ Produit de la location des terrains propriété de l'état affecté au financement des infrastructures publiques
- ☞ Haute consommation de chauffage
- ☞ Quartier isolé du centre-ville impliquant une insuffisance de services de proximité et d'équipements publics.



Vauban - anciennes casernes françaises situées à 3 km au sud de Freiburg

Objectifs

- ☞ Limiter le besoin de chaleur à 65 kWh/m².an
- ☞ Favoriser le solaire passif et actif : orientation sud
- ☞ Priorité aux piétons, cyclistes et transports publics.

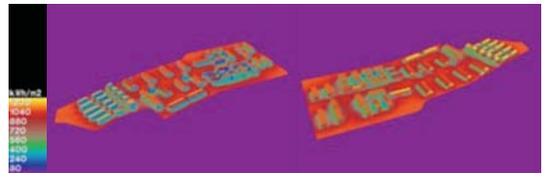
Caractéristiques

- ☞ 38 hectares, 2'000 logements, 5'000 résidents, 600 emplois
- ☞ Centre communautaire, école, crèches
- ☞ Coût : 750 millions, soit un surcoût de 3-5%
- ☞ Densité : CUS de 1.51, nombre de niveau = R+4



Irradiation solaire

Si les toitures sont orientées et inclinées de façon à maximiser l'irradiation incidente, à contrario, trop souvent, des avant-toits et des balcons diminuent l'irradiation reçue par les façades. En contre partie, l'espace entre les bâtiments est suffisant pour garantir un rayonnement solaire assez élevé. Finalement, à l'échelle du quartier, il semble que l'accent ait surtout été mis sur la conversion d'énergie et non sur l'efficacité passive.



Résultats

- ☞ 10% des bâtiments consomment entre 12 et 14 kWh/m².an ou produisent même de l'énergie. Les autres respectent la norme en vigueur à l'époque et sont raccordés à un CAD alimenté par une cogénération au bois.
- ☞ Production locale d'électricité : 2500 m² de panneaux photovoltaïques et cogénération bois
- ☞ Report modal : 67%

Points forts / faibles

- ☞ Qualité thermique des enveloppes, gains solaires passifs
- ☞ Standards énergétiques Passivhaus & PlusE
- ☞ Panneaux solaires photovoltaïques et thermiques
- ☞ TP efficaces (tram), autopartage, priorité aux piétons
- ☞ Espaces extérieurs de qualité
- ☞ Participation citoyenne
- ☞ Diversité architecturale pouvant, suivant les cas, être assimilée à un manque global d'harmonie



Glossaire

A) A_E : surface de référence énergétique

Total de toutes les surfaces brutes de plancher des locaux chauffés ou climatisés, situés au-dessous et au-dessus du niveau du terrain, et qui sont comprises à l'intérieur de l'enveloppe thermique. Les surfaces brutes de plancher d'une hauteur utile inférieure à 1m ne comptent pas dans la surface de référence énergétique.

B) A_{th} : surface de l'enveloppe thermique du bâtiment

La surface de l'enveloppe thermique du bâtiment est la surface de l'enveloppe des éléments (dimensions extérieures) prise en compte dans le bilan thermique. Elle se compose des surfaces en contact avec l'environnement extérieur, les locaux non chauffés, le terrain et les locaux contigus chauffés.

Pour le calcul de l'enveloppe thermique, les surfaces des éléments d'enveloppe A_{th} en contact avec le terrain et des locaux non chauffés sont pondérées par les facteurs de réduction correspondants. Celles en contact avec les locaux chauffés contigus ne sont pas prises en compte, conformément à la SIA 380/1. Toutefois, dans ce rapport et compte tenu des incertitudes au stade de la planification, nous avons considéré les surfaces des éléments d'enveloppe non pondérées.

C) A_{th}/A_E : facteur d'enveloppe

Rapport entre la surface de l'enveloppe thermique A_{th} et la surface de référence énergétique A_E . Il caractérise la forme et les dimensions du bâtiment. Plus ce facteur est petit et plus le bâtiment est compact.

Dans ce rapport le facteur d'enveloppe est égal à la surface des éléments d'enveloppe sans pondération divisée par la surface brute de plancher des bâtiments.

D) CUS : coefficient d'utilisation du sol

Le coefficient d'utilisation du sol est le rapport entre les surfaces brutes de plancher et la surface de la parcelle. Plus ce coefficient est élevé et plus le périmètre observé est dense. Par exemple, à Lausanne, le quartier de la Cité a un CUS de 5.29, le quartier de la Harpe un CUS de 3, le quartier de Bellevaux un CUS de 1.59 et le quartier de Chailly, situé principalement en zone villa, un CUS de 0.31.

E) Energie grise

Dépense d'énergie cumulée pour la fabrication d'un produit ou d'un service. Elle se calcule à l'aide de méthodes normalisées à partir de comptabilité des matières pour tous les processus intervenant en amont du produit : extraction des matières premières, transport, fabrication, mise en oeuvre et traitement en fin de vie. Cette notion a été adaptée au secteur du bâtiment dans le cahier technique SIA 2032 "Energie grise des bâtiments" et correspond à la dépense d'énergie cumulée nécessaire depuis l'édification jusqu'à la déconstruction, en passant par les différentes étapes de rénovation du bâtiment. Elle est généralement exprimée à l'aide de l'indicateur NRE (non renewable energy), qui mesure la part non renouvelable de l'énergie grise utilisée et est exprimée en MJ/kg ou MJ/m². Si l'on souhaite intégrer l'ensemble des dépenses d'énergie grise (y compris la part renouvelable), l'on s'intéressera à l'indicateur CED (cumulative energy demand).

F) Energie utile

Energie à disposition du consommateur, par exemple : chaleur dans une pièce, chaleur retirée de la pièce (refroidissement) ou chaleur dans l'eau chaude au point de soutirage.

G) Energie finale

Energie à disposition du consommateur. Elle comprend l'énergie fournie et la production utilisée sur site.

H) E_p : énergie primaire

Forme d'énergie brute, non encore soumise à une quelconque conversion, transformation ou transport, exemples : sont le pétrole brut, le gaz, l'uranium ou le charbon encore sous terre, le bois sur pied, le rayonnement solaire, l'énergie potentielle de l'eau ou l'énergie cinétique du vent.

I) f_p : Facteur d'énergie primaire

Conformément au cahier technique SIA 2031, c'est la quantité totale d'énergie primaire requise pour fournir une certaine quantité d'énergie au bâtiment, rapportée à cette quantité. Par exemple, pour le gaz, $f_p = 1.15$ MJ d'énergie primaire par MJ d'énergie fournie au bâtiment.

Ce facteur prend en compte l'énergie requise pour extraire, transformer, raffiner, stocker, transporter, distribuer l'énergie, ainsi que toute opération

nécessaire pour fournir l'énergie au bâtiment qui la consomme. C'est en quelque sorte la somme du contenu énergétique d'un agent et de l'énergie grise de ce dernier. Ce facteur permet finalement de mettre en évidence le rendement de chacune des filières énergétiques.

Dans le concept de «Société 2000 watts», l'ensemble des consommations d'énergie est exprimé en énergie primaire de manière à permettre, par exemple, l'addition de kWh thermiques et électriques.

J) GES : gaz à effet de serre

Les émissions de gaz à effet de serre générées par l'homme sont la principale cause du réchauffement climatique. Depuis le début de l'ère industrielle, la concentration de CO₂, gaz référent des GES, a augmenté de plus de 30%. Outre le CO₂, des gaz comme le méthane ou le protoxyde d'azote sont également des GES qui possèdent un potentiel de réchauffement climatique respectivement 21 et 310 fois supérieur au dioxyde de carbone. L'impact de l'activité humaine sur le réchauffement climatique est mesuré à l'aide de l'indicateur GWP (global warming power) exprimé en kg CO₂ équivalent.

K) GWP : global warming power

Exprimé en kg CO₂ équivalent, cet indicateur désigne le potentiel de réchauffement global (PRG) d'un gaz émis dans l'atmosphère. Par extension, il permet de mesurer l'impact de l'activité humaine sur le réchauffement climatique.

L) Lumen

Le lumen est l'unité dérivée du système international utilisée pour le flux lumineux, ou puissance lumineuse. Son symbole est le lm.

M) pkm : personne-kilomètre

Unité de prestation qui correspond au transport d'une personne sur un kilomètre. Si nous souhaitons comparer l'efficacité énergétique de différents modes de transport, il est impératif de rapporter l'énergie primaire consommée par pkm. En effet, si un train consomme, en valeur absolue, 40 fois plus d'énergie primaire par kilomètre qu'une voiture individuelle, il ne nous fournit pas la même prestation puisqu'il va transporter beaucoup plus de passagers. Exprimé en MJ/pkm, un train grandes lignes consomme en réalité 6 fois moins d'énergie primaire qu'une voiture pour la même prestation, à savoir, déplacer une personne sur un kilomètre.

N) SBP : surface brute de plancher

Par surface brute de plancher on entend la somme des surfaces correspondant aux espaces accessibles fermés de toute part. Ces surfaces sont mesurées par l'extérieur des murs, conformément à la recommandation SIA 416. Elles comprennent la surface nette (SN) et la surface de construction (SC).

O) Société à 2000 watts

La «Société à 2000 watts» est un concept issu des Ecoles Polytechniques Fédérales, qui vise à une prise en considération transversale des consommations énergétiques. En 2010, la société suisse consomme environ 55'000 kWh/p.an. A considérer que cette consommation énergétique serait fournie par un moteur fonctionnant à la même puissance tout au long de l'année, celui-ci posséderait une puissance de 6300 watts/p. En parallèle, les émissions de GES représentent annuellement 8.7 t_{éq}CO₂/p.an. La «Société à 2000 watts» se base sur deux objectifs :

- 1) gérer durablement et répartir de manière équitable les ressources énergétiques à l'échelle planétaire en limitant les consommations à 17'500 kWh/p.an;
- 2) lutter contre le réchauffement climatique en limitant les émissions de GES à 1 t_{éq}CO₂/p.an. En résumé, pour que la Suisse soit compatible avec ce concept, elle doit, d'ici à 2100, réduire ses consommations d'énergie d'un facteur 3 et ses émissions de GES d'un facteur 9.

P) SUP : surface utile principale

Partie de la surface utile (SU) qui est affectée aux fonctions répondant à la destination, au sens strict, de l'immeuble. Pour un bâtiment d'habitation, la SUP sera constituée des surfaces dédiées au logement, en excluant donc les buanderies, greniers et caves, débarras, garages, abris PC ou autres locaux poubelles.

Q) TP : Transport Public

Tram, bus, car postal, train. Sauf mention contraire, les taxis (selon la statistique suisse des transports=TIM), les bateaux et les téléphériques ont été attribués lors des exploitations à la catégorie «autres moyens de transport», en raison de leurs propriétés spécifiques ou de la difficulté à les classer de manière claire.

R) TIM : Transport individuel motorisé

Voiture de tourisme (=voiture), motocycles, motocycles légers et cyclomoteurs. Les camions, les

cars et les taxis ont été attribués à la catégorie “autres moyens de transport” (sauf mention contraire) en raison de leurs propriétés spécifiques, c’est-à-dire de la difficulté à les classer de manière claire.

S) TNM : Transport non motorisé

A pied et à vélo (les appareils apparentés à des véhicules sont compris sous “autres moyens de transports”).

T) Taux d’occupation des véhicules

Nombre moyen d’occupants (conducteur et passagers) par véhicule. Concernant la voiture de tourisme, en moyenne pour la Suisse, ce taux est de 1.57 pour l’ensemble des motifs de déplacement. Pour les trajets professionnels, il est de 1.18 et pour les trajets dédiés à l’affectation “Habitat” il est de 1.87. Pour Lausanne, le taux d’occupation moyen est de 2.24.

U) UBP : umwelt belastung punkten

C’est un indicateur appelé “end point” au sens où il ne correspond pas à une unique catégorie d’impacts (comme le GWP), mais représente l’ampleur globale de différentes catégories d’impacts agrégées par un système de pondération puis de normalisation. Les UBP, aussi appelés “Ecopoints”, quantifient les charges environnementales résultant de l’utilisation de ressources énergétiques, de la terre et de l’eau douce, des émissions dans l’air, l’eau et le sol, ainsi que de l’élimination des déchets.

Bibliographie

SIA 380/1. "L'énergie thermique dans le bâtiment". Zurich : SIA, édition 2009.

SIA 380/4. "L'énergie électrique dans le bâtiment". Zurich : SIA, édition 2006.

SIA 416/1. "Indices de calcul pour les installations du bâtiment - dimensions des éléments de construction, grandeurs de référence, indices pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment". Zurich : SIA, édition 2007.

SIA 416. "Surfaces et volumes des bâtiments". Zurich : SIA, édition 2003.

Documentation SIA D0216. "Objectifs de performance énergétique SIA". Zurich : SIA, édition 2008.

Cahier technique SIA 2024. "Conditions d'utilisation standard pour l'énergie et les installations du bâtiment". Zurich : SIA, édition 2006.

Cahier technique SIA 2028. "Données climatiques pour la physique du bâtiment, l'énergie et les installations du bâtiment". Zurich : SIA, édition 2008.

Cahier technique SIA 2031. "Certificat énergétique des bâtiments". Zurich : SIA, édition 2009.

Cahier technique SIA 2032. "Energie grise des bâtiments". Zurich : SIA, édition 2010.

KBOB, eco-bau, IPB. "Données des écobilans dans la construction 2009/1". KBOB, juin 2009.

"Vivre plus légèrement - une nouvelle conception de nos ressources pour un développement durable : la société à 2000 watts". Zurich : Novatlantis, SIA, Suisse Energie.

Eberhard Jochem (coordination). "Steps towards a sustainable development". Zurich :, mars 2004.

TCS & Suisse énergie. "Catalogue consommation 2008/ liste de véhicules avec données de consommation". Berne : infotechtcs, mai 2008.

ATE - Association Transports et Environnement. "Ecomobiliste 09". ATE magazine, 2009.

Dr Jean Bernard Gay. "Impacts des transports". Lausanne : EPFL - Leso PB, 2000.

Office fédéral de la statistique OFS. "Transports et mobilité - Statistique de poche 2007". Neuchâtel : OFS, 2007.

Office fédéral de la statistique et Office fédéral du développement territorial. "La mobilité en Suisse - Résultats du micro-recensement 2005 sur le comportement de la population en matière de transports". Neuchâtel, OFS & ARE, www.aren.admin.ch, 2007

Jemelin Christophe, Laboratoire de Sociologie Urbaine (LASUR), EPFL. "La mobilité des Vaudois en 2005 - Analyse du suréchantillonnage du micro-recensement transports 2005". Lausanne, Etat de Vaud, 2008.

Liman Ulrick. "Etude et stratégie énergétique pour le quartier de la Chapelle-les-Sciers". Genève : ScanE, novembre 2004.

Liman Ulrick, Yves Roulet. "Jalon 6 - SmeO, fil rouge pour la construction durable" et www.smeo.ch. Lausanne : Ville de Lausanne & Etat de Vaud, 2009.