ADEME

Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie

RECUEIL DE BONNES PRATIQUES DE RAFRAICHISSEMENT

à destination des collectivités locales

LIVRABLE PHASE 3 – GUIDE A DESTINATION DES COLLECTIVITES LOCALES

Novembre 2013

icare environnement et stratégie

ALTO INGÉNIERIE

ALTO STEP

SOMMAIRE

1. Introduction 3

2. Guide de dispositifs de rafraichissement 5

2.1 Pour bien lire ce guide… 5
2.1.1 Description du guide et périmètre 5
2.1.2 Quelques définitions 5
2.2 Préalables méthodologiques 8
2.3 Selection des principaux dispositifs de rafraichissement 9

3. Eléments de méthode pour le choix de dispositifs de rafraichissement 48

3.1 Identifier les enjeux de rafraichissement sur le territoire 49
3.2 Définir les possibilités d'intervention de la collectivité 51
3.2.1 Identification des capacités d'action des collectivités territoriales 51
3.2.2 Mobiliser le potentiel d'action lié aux outils d'urbanisme et d'aménagement 53
3.2.3 Identifier les ressources du territoire 55
3.3 Choisir des dispositifs pertinents pour le territoire 57
3.3.1 Principes généraux 57
3.3.2 Au niveau de la ville ou du quartier 61
3.3.3 Au niveau d'un bâtiment 71
3.3.4 Au niveau des systèmes de transport 83

4. Fiches exemples 88

Conclusion 89

5. Annexe 90

4.1 Bibliographie et sites internet 90
4.2 Glossaire 91
4.3 Membres du Comité de Pilotage de l'ADEME 93
4.4 Remerciements 93
4.5 Fiches exemples 93

1. INTRODUCTION

Le changement climatique, un enjeu majeur

Les travaux scientifiques convergent sur le sujet du changement climatique : un réchauffement global est inéluctable à long terme ; le cinquième rapport du GIEC, publié en septembre 2013, confirme une augmentation probable de la température moyenne à l'échelle du globe de +1,2°C entre 2016 et 2035 par rapport à 1850. Cette évolution de la température se traduirait par une augmentation du nombre de jours chauds et de nuits chaudes, et des vagues de chaleur plus fréquentes et plus fortes. A horizon 2100, le GIEC prévoit une augmentation de +1°C à +5,5°C par rapport à 1850 selon la trajectoire envisagée.

La France ne sera pas épargnée par ces changements et devra faire face à l'avenir à des vagues de chaleur et des étés caniculaires plus fréquents et plus intenses.

Face à ce constat, il apparaît nécessaire d'envisager la lutte contre le changement climatique sur deux « fronts » complémentaires :

- L'atténuation du changement climatique, qui consiste à engager des mesures de réduction des émissions de GES au niveau du globe ;
- L'adaptation au changement climatique, qui vise à rendre les organisations humaines (bâtiment, urbanisme, mode de vie) plus résistantes et résilientes face aux impacts des changements climatiques.

Ces deux axes d'actions constituent aujourd'hui des voies incontournables pour le développement durable des sociétés humaines en général et de leurs modes de vie et infrastructures en particulier.

Les bonnes pratiques de rafraîchissement : un levier de lutte contre le changement climatique, à mettre en œuvre au niveau local

- **L'enjeu du rafraichissement**

Face à l'augmentation des températures et des vagues de chaleur estivales, le maintien du confort thermique des habitants nécessite de redéfinir la conception des lieux de vie existants ou à créer. De nombreux systèmes de rafraîchissement « mécaniques » existent mais leur mise en œuvre s'avère consommatrice d'énergie et sources d'impacts environnementaux (émissions de gaz à effet de serre, de polluants, nuisances sonores…). Le choix de ces solutions présente donc le risque d'enclencher un cercle vicieux : en luttant contre la chaleur, on contribue à l'augmenter.

L'amélioration des dispositifs de rafraîchissement, à travers la mise en œuvre de bonnes pratiques, répond ainsi au double enjeu d'adaptation (confort des lieux de vie pour les usagers) et d'atténuation (limitation ou réduction des émissions de gaz à effet de serre). Les solutions proposées permettent aussi, dans de nombreux cas, de répondre à d'autres enjeux environnementaux (air, bruit…).

- **Le rôle des collectivités locales**

Les collectivités ont, de par leurs compétences, un rôle important à jouer dans la prise en compte de la problématique du rafraichissement : elles peuvent en effet contribuer à la mise en œuvre de solutions performantes, de manière plus ou moins directe (intervention sur le patrimoine, exercice d'une compétence, mobilisation des agents et administrés…).

Dans cette optique, une réflexion est bien entendu nécessaire pour gérer au mieux les besoins de rafraîchissement futurs et limiter leurs impacts sur le climat :

En tout premier lieu, la conception des villes, des bâtiments et des transports doit avoir pour point de départ indispensable la recherche de solutions naturellement performantes assurant de manière passive les meilleures conditions de confort possibles (l'optimisation de l'enveloppe -isolation, inertie, étanchéité à l'air, protection solaire…- limitation des apports internes et bonne gestion des bâtiments, choix de matériaux à faible albédo, végétalisation de l'environnement urbain…). Dans un deuxième temps, si les conditions de confort obtenues ne sont pas suffisantes pour les utilisateurs et/ou les usages, des moyens techniques de rafraîchissement pourront être mis en œuvre.

Contexte institutionnel : le rôle de l'ADEME

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie compte parmi ses missions l'animation du centre de ressources national des Plans Climat Energie Territoriaux (PCET) et l'appui aux politiques publiques de lutte contre le changement climatique (atténuation et adaptation)

Dans ce contexte, l'Agence a souhaité élaborer une documentation spécifique à destination des collectivités territoriales sur les dispositifs de *rafraîchissement*. Le présent guide s'adresse ainsi plus particulièrement aux chargés de mission « Plan climat », afin de leur fournir des éléments de connaissance sur les enjeux du rafraichissement et les solutions à faible impact climatique, leur permettant de faciliter sur leur territoire la mise en place de bonnes pratiques.

Contenu du recueil

Ce recueil présente d'abord un catalogue de dispositifs de rafraîchissement, organisés par champs d'application : bâtiment, urbanisme et transport. Une introduction au catalogue permet de resituer l'exercice dans son contexte et d'expliciter les grandes lignes méthodologiques nécessaires à la lecture de ce dernier.

Dans la partie suivante, des éléments de méthode sont fournis, destinés à accompagner la collectivité dans le choix de dispositifs de rafraichissement, en fonction de son contexte territorial propre. La grande variété de stratégies pour remédier à la problématique de la chaleur urbaine ainsi que la diversité des situations des collectivités ne permet pas de fournir des solutions « ad hoc » ; en revanche, les éléments de méthodologie présentés dans cette partie visent à aider la collectivité dans ses choix, à travers une série de questionnements simples.

Enfin, la dernière partie se compose de fiches exemple détachables, visant à illustrer la mise en place effective de dispositifs de rafraichissement dans différentes collectivités territoriales françaises.

2. GUIDE DE DISPOSITIFS DE RAFRAICHISSEMENT

2.1 POUR BIEN LIRE CE GUIDE…

2.1.1 DESCRIPTION DU GUIDE ET PERIMETRE

Le catalogue des dispositifs qui suit est divisé en 3 secteurs d'application : les bâtiments, l'urbanisme et les transports.

- L'axe *Urbanisme* comprend toutes les techniques visant à optimiser le rafraichissement de la ville, comme par exemple les aires de rafraichissement (bassins, fontaines, jets d'eau…)
- L'axe *Bâtiments* concerne les dispositifs d'optimisation du rafraichissement des bâtiments, par exemple les protections solaires, la ventilation naturelle ou les techniques actives comme les thermo-frigo-pompes sur nappe phréatique.
- Enfin, l'axe *Transport* présente les dispositifs de rafraichissement des moyens de transport, en incluant les infrastructures et les véhicules (transports en commun…).

Certains dispositifs ont été identifiés comme potentiellement applicables à plusieurs catégories ; dans ce cas un renvoi a été fait pour faciliter la lecture. Ainsi, la technique « Végétalisation des axes de transport » est développée dans la catégorie *Urbanisme*, mais elle est citée dans la catégorie *Transpor*t.

Le périmètre de l'analyse exclut la problématique de l'affectation des sols ainsi que l'impact des dispositifs sur les caractéristiques des sols. Par ailleurs spécifiquement sur le secteur des transports, seuls les véhicules de types bus/ cars/ véhicules légers ont été considérés.

L'analyse présente une centaine de dispositifs. Les dispositifs inclus dans l'étude se veulent :
- Utilisés et utilisables en France à court/moyen terme France ;
- Matures, ou à défaut au stade de prototype avec des perspectives de commercialisation à court/moyen terme.

2.1.2 QUELQUES DEFINITIONS

- **Le confort d'été**

Le confort d'été est un paramètre permettant d'évaluer le confort des usagers d'un lieu. De façon générale, « les zones de confort sont définies comme étant les environnements où 80 % des personnes ressentent une sensation de confort »[1]. Par convention en génie climatique, on appelle confort d'été ou estival, le confort d'une personne pendant ces périodes dites chaudes car c'est souvent en été que ces périodes se produisent en France.

[1] http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=-1&cid=96&m=3&catid=15887

Cependant le confort n'est pas uniquement une sensation par rapport à une température ; celui-ci dépend en effet de plusieurs paramètres :

- L'individu: son métabolisme varie selon l'environnement extérieur et ses attitudes (habillements, activités…) lui permettent de s'adapter
- La température de l'air
- La vitesse de l'air
- L'hygrométrie (taux d'humidité dans l'air)

Des plages de confort, qui permettent de prendre en compte les différents paramètres mentionnés précédemment, ont été établies comme le montre le diagramme bioclimatique de Givoni ci-dessous.

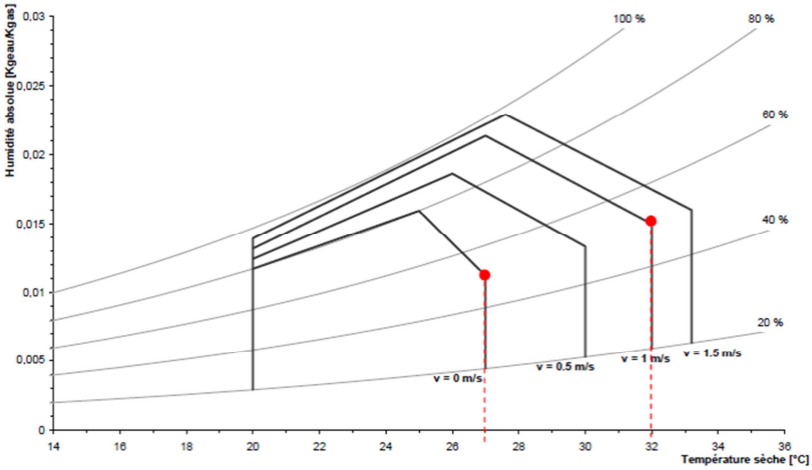


Diagramme de Givoni

Ainsi, à vitesse d'air nulle et pour une humidité de 50%, une température de 27°C constitue un seuil au-delà duquel on considère que le confort n'est plus assuré. Avec une vitesse d'air plus élevée qui peut être obtenue par un brasseur d'air par exemple, la limite augmente.

Cet exemple montre la variété des actions pour améliorer le confort d'été : au-delà de la seule température de l'air[2] (sur laquelle intervient une climatisation classique), plusieurs paramètres peuvent être mobilisés pour améliorer le confort.

- **La notion de rafraichissement**

Une installation de rafraîchissement a pour but, durant les périodes chaudes, de procurer un niveau de confort par une température d'ambiance homogène dans les espaces à occupation prolongée. Il s'agit ainsi d'obtenir des conditions ambiantes confortables en saison chaude, en limitant les montées de température en journée sans cependant nécessairement être en mesure de garantir l'atteinte d'une température de consigne en toutes circonstances. Les solutions de rafraichissement peuvent être utilisées dans différents types de lieux privés ou publics : bâtiments, mais aussi transports ou environnement urbain.

[2] Qui fait l'objet d'une utilisation pour les réglementations : une température de 26°C est réglementairement considérée comme confortable en France ; par ailleurs, les référentiels environnementaux ont introduit la notion de confort qui est exprimée en nombre d'heures au-dessus de 28°C selon le type de bâtiment.

Le rafraîchissement se distingue de la climatisation car il consiste à abaisser la température des lieux sans rechercher le maintien strict d'une température, mais plutôt en réalisant un abaissement de quelques degrés par rapport à l'extérieur :

- Un lieu est dit *rafraîchi* lorsqu'il dispose d'une solution permettant d'abaisser sa température intérieure par rapport à la température extérieure.

- Un lieu est dit *climatisé* lorsque la température d'ambiance est maintenue en dessous d'une température donnée quelle que soit la température extérieure. La climatisation devrait être réservée aux seuls locaux de process tels que les salles informatiques (pour le bon fonctionnement des machines), ou les musées/archives pour la conservation des œuvres.

Le rafraîchissement s'obtient par la mise en œuvre d'équipements parfois similaires à ceux de la climatisation (production de froid, ventilo-convecteurs, boucles indirectes de refroidissement dans le cas des autobus…) auxquels se rajoutent des systèmes spécifiques comme des plafonds rayonnants. Les puissances frigorifiques sont toujours inférieures à celles mises en œuvre en climatisation et les régulations sont plus souples.

- **Les dispositifs passifs**

Les solutions passives de rafraichissement sont des dispositifs ne consommant pas d'énergie pour fonctionner une fois installés : ventilation naturelle, protections solaires ...

Le rafraichissement pour atteindre la température de confort doit être obtenu en premier lieu par des systèmes passifs (conception bioclimatique, ventilation naturelle, fontaines, vitrages athermiques…) ensuite par la réduction des besoins (éclairage performant…).

- **Les dispositifs actifs**

Les solutions actives de rafraichissement sont caractérisées par une consommation d'énergie pour leur fonctionnement.

Les dispositifs passifs et actifs sont traités dans ce guide en parallèle sans les hiérarchiser. L'objectif du guide est de montrer la faisabilité de la mise en œuvre de dispositifs peu consommateurs d'énergie.

2.2 PREALABLES METHODOLOGIQUES

Afin de viser la meilleure conception possible, le bâtiment, l'espace urbain ou l'infrastructure de transport doivent être analysés dans leur contexte urbain et architectural, leur région et leur environnement. La définition d'une solution comme étant « à faible impact environnemental » ou une « bonne pratique » doit se faire au cas par cas, en fonction de ce contexte, afin de s'adapter à l'environnement du projet. La partie relative aux « éléments de méthode pour le choix de dispositifs de rafraichissement » a vocation à aider les collectivités dans cette réflexion.

Cette partie vise en revanche à présenter un ensemble de solutions « passives » et « actives » pour améliorer le confort d'été, de manière individuelle. Il est important de noter qu'un bâtiment ou une place publique urbaine doivent être conçus et traités en prenant en compte les différents critères de confort (hivernal, estival, sonore, d'usage….) et pas uniquement le confort d'été. Par ailleurs, les solutions présentées ci-dessous peuvent être combinées pour fournir une meilleure réponse. Les fiches exemples présentées en annexe du document illustrent cette nécessité d'aborder le rafraîchissement à travers un « bouquet de techniques » à moindre impact environnemental.

De plus, certaines préconisations sont pertinentes aujourd'hui avec une météo dite standard, mais ne le sont pas forcément avec une météo dite caniculaire, vers laquelle nous risquons de nous orienter à l'horizon 2030. Cette aggravation possible doit être prise en compte lors d'études particulières, notamment dans le cas de simulations thermiques dynamiques, une étude doit être réalisée avec une météo standard et avec une météo dite sévérisée, par exemple correspondant à la canicule de 2003.

Exemple : Impact de la prise en compte d'une météo sévérisée

Par exemple, une étude de confort d'été sur des bureaux à Boulogne (2011) a été réalisée avec des solutions de ventilation naturelle et mécanique selon les deux météos. Le recours à la ventilation naturelle nocturne était préconisé pour une météo standard, avec une surface ouverte équivalente à 5% de la façade pour diminuer les besoins de rafraichissement. Avec une météo caniculaire la surface d'ouvrants devait être doublée.

2.3 SELECTION DES PRINCIPAUX DISPOSITIFS DE RAFRAICHISSEMENT

Les techniques de rafraichissement sont décrites et illustrées dans les tableaux ci-dessous. Elles sont analysées selon leur maturité, leurs points forts et leurs points faibles. Des exemples sont présentés dans les tableaux ; d'autres exemples sont développés dans les fiches exemples figurant en annexe du présent document.

Les solutions illustrées sont présentées ci-dessous :

Environnement urbain ***12***

Indice global de végétalisation **12**

Axes de transport **12**

Emprise foncière publique **13**

Terrains privés **13**

Plantation de feuillus **14**

Pérennité et croissance des espèces plantées **14**

Implantation d'arbres d'alignement feuillus à feuillage caduc **14**

Arborer le pourtour des bâtiments **15**

Ombrière **15**

Trame bleue **15**

Cycle naturel de l'eau **16**

Gestion alternative des eaux pluviales **16**

Limitation du débit de fuite **16**

Limiter l'imperméabilisation des sols **16**

Albédo et émissivité globale **17**

Matériaux à fort albédo **17**

Matériaux perméables **17**

Politique de réduction du parc automobile en milieu urbain **18**

Mixité fonctionnelle **18**

Réduction de la mobilité contrainte **18**

Choix énergétiques mutualisés **18**

Orientation de plan masse **18**

Etude aéraulique de conception **19**

Aires de rafraîchissement **19**

Bassins **19**

Brumisateurs/ 20

Pulvérisateurs 20

Jeux d'eau / Jets d'eau / Fontaine 20

Bâtiments *22*

Toiture végétale 22

Mur végétal 22

Façade de micro-algues 23

Protections solaires 23

Conception du bâtiment 24

Toiture blanche (cool roof) 24

Matériaux à changement de phase 25

Matériaux inertiels 25

Isolation 26

Fenêtres à facteur solaire performant 26

Matériel informatique performant 27

Minimiser l'éclairage artificiel et sélectionner le type d'éclairage ayant un faible impact énergétique 27

Gestion technique du bâtiment (GTB) 28

Attitude des occupants 28

Adapter le fonctionnement des locaux au confort climatique 29

Groupe de froid à condensation par air 29

Groupe de froid à condensation par eau + Tour de refroidissement 30

Groupe de froid à condensation par eau + aéroréfrigérant sec (ou dry-cooler) 30

Groupe de froid à condensation par eau + aéroréfrigérant adiabatique 31

Pompe à chaleur air/air 31

Pompe à chaleur air/eau 32

Climatiseurs multi-split ou VRV 33

Rafraichissement géothermique direct (« Géocooling ») 33

Pompe à chaleur eau/eau 34

Réseau d'eau tempéré 35

Réseau de froid 35

climatisation par ab/adsorption 35

Desiccant Evaporative Cooling (DEC) ou Rafraichissement adiabatique par air 36

Ventilation nocturne 36

Surventilation 36

Ventilation naturelle 37

Brasseur d'air 38

Puits climatiques 38

(puits provençal) 38

Stockage de froid 39

Transports *40*

Zones de stationnement abritées par ombrières ou végétalisées 40

Vitrages athermiques 40

Vitrages intelligents 41

Matériaux et couleurs 41

Isolation de l'habitacle 41

Utilisation des énergies disponibles pour réduire les consommations de climatisation : énergie de freinage 42

Fonction éco-mode: limitation automatique de l'utilisation de la climatisation 42

Commande climatisation manuelle et non automatique 42

Free cooling au niveau des véhicules, par ventilation mécanique ou naturelle 43

Rafraichissement adiabatique évaporatif 43

Amélioration de la distribution d'air intérieur : Efficacité de la diffusion de l'air frais 43

Recirculation d'air habitacle 44

Technologie ECG : Optimisation du fonctionnement du groupe froid 44

Boucle indirecte de rafraichissement (par fluide frigoporteur) 44

Boucle de régulation sur la température intérieure : réglage de la température intérieure de consigne 45

Substitution du fluide frigorigène R134a par R 1234yf ou CO2 45

Sièges rafraichissants 45

Autres techniques de rafraichissement des bâtiments de transport (gares, aéroports…) 45

Végétalisation des axes de transport 46

Albédo et émissivité globale 46

Matériaux à fort albédo 46

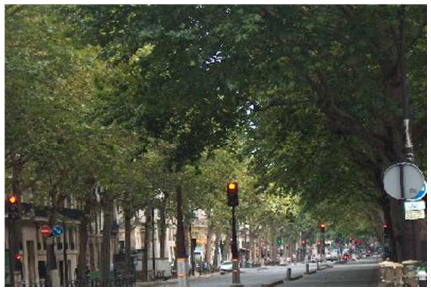
Matériaux perméables 47

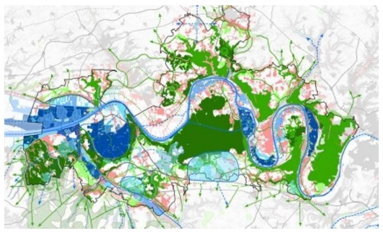
Sensibilisation aux modes de transport doux 47

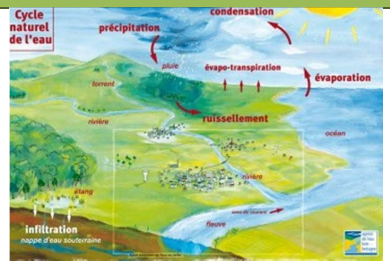
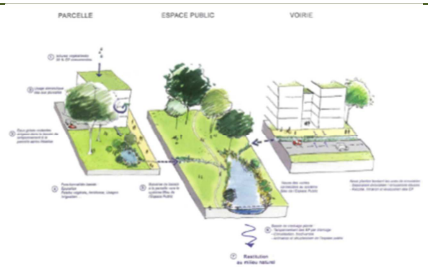
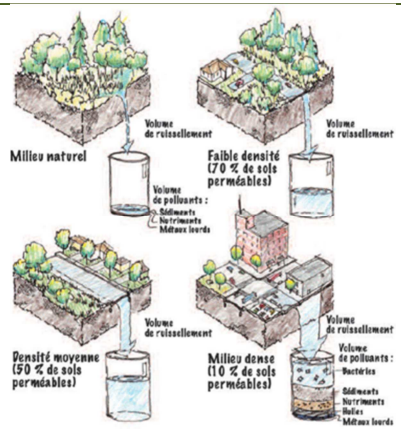
Environnement urbain

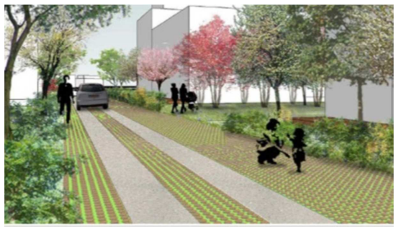
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
1 – Couverture végétale					
1.1	Indice global de végétalisation	La végétation crée de la fraîcheur par trois moyens. D'abord, elle fait de l'ombre, l'été, sur les bâtiments. Ensuite, les plantes rejettent de l'eau dans l'air par évaporation. Enfin, la végétation diminue les écarts de température au sol. Une stratégie territoriale de végétalisation en milieu urbain a pour objectif d'augmenter l'indice global de végétalisation d'une ville. Cette augmentation passe par un développement diffus à l'échelle du territoire et de la ville. Des éléments structurant comme les espaces boisés, les parcs urbains et les jardins doivent être complétés par une végétation diffuse permettant de faire perdurer l'effet de refroidissement ressenti. La végétation fait également perdurer l'effet de fraîcheur ressenti. Cette action passe par une stratégie territoriale de végétalisation qui favorisera notamment la végétalisation des éléments décrits *ci-après*.	 Schéma des grands espaces verts de Niort (vivre-a-niort.com)	**Maturité :** En cours de diffusion dans l'ensemble des grandes agglomérations françaises **Point fort :** - *Ex : une différence de température moyenne de 3,5 °C est observable entre un centre-ville peu végétalisé et des quartiers longeant une bande de végétation d'une profondeur de 50 à 100 m.* - *Ex : l'été, un secteur situé en bordure d'une zone végétalisée présentait une température de surface plus fraîche de 6 °C, comparativement à un secteur situé en bordure de zone industrielle sans végétation* **Point faible :** l'entretien nécessaire et la consommation d'eau	Objectifs du SDRIF : 10m² d'espaces verts publics par habitant. Trame Verte et Bleue à Saint-Etienne Métropole Trame Verte et Bleue de la commune de Niort ***Source :*** La desserte en espaces verts, un outil de suivi de la trame verte d'agglomération – IAU 2009 Centre de ressources Trame verte et bleue (trameverteetbleue.fr)
1.1.1	Axes de transport	La végétalisation des axes de transport (mails, avenues, lignes ferroviaires, plantations d'alignement…) participe au rafraîchissement des infrastructures et du milieu urbain environnant.		**Maturité :** technique reconnue notamment récemment avec le redéploiement des lignes de tramway **Point fort :** - Amélioration du cadre de vie **Point faible :** - Entretien/Gestion	Végétalisation autour du tramway : Expérience de végétalisation de plateformes de tramways en zones Nord/ouest à Paris et Nantes Expérimentation de végétalisation sur les voies de la ligne tramway à Angers ***Source :*** Plante & Cité – Fiches de synthèse Ville d'Angers

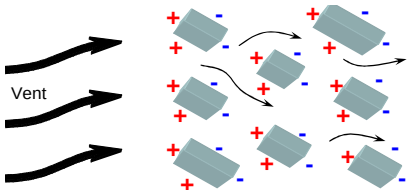
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
1.1.2	Emprise foncière publique	La végétalisation des espaces extérieurs des équipements publics et des emprises foncières publiques participe à l'augmentation de l'indice global de végétalisation d'une ville et au rafraîchissement des milieux urbains environnants. L'implantation de grands espaces verts en amont des vents dominants permet de pré-rafraîchir l'air en période estivale avant qu'il ne pénètre au sein de l'espace urbain. Un grand parc placé en amont d'un centre urbain, dans la direction des vents dominants, peut avoir une plus longue portée rafraîchissante. A noter que la bonne répartition et la préservation des espaces verts sont essentielles en milieu urbain. Bien repartis, ils peuvent créer une trame verte continue à travers les villes et leur territoire, facilitant leur appropriation par les habitants. Une trame verte bien constituée participe au rafraîchissement de l'ensemble du milieu urbain qu'elle traverse.	 *La coulée verte du Sud Parisien (Anthony)*	**Maturité :** Principe connu mais soumis à la pression foncière en ville **Point fort :** **-** Pré-rafraîchissement de l'air en période estivale - la création d'un parc au centre-ville en remplacement de bâtiments générerait une baisse de température de l'air environnant de 2 °C à plus de 6 °C - *Ex : des îlots de végétation urbains d'une largeur de 60 m génèrent un effet de fraîcheur dans un rayon de 100 m. La portée du rafraîchissement varie de façon exponentielle selon la dimension des espaces végétalisés.* *Ex : la température de surface végétalisée d'un parc était de 19 °C inférieure à celle des surfaces asphaltées et la température de l'air, à 1,2 m au-dessus du sol, de 2 °C inférieure à la température de l'air mesurée dans une aire de stationnement d'un centre commercial situé aux alentours.* **Point faible :** - Difficulté de mise en œuvre dans un contexte de pression foncière forte	**Source :** Shashua-Bar et Hoffman (2000) ***Source :*** Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains – Institut National de Santé Publique du Québec – Juillet 2009
1.1.3	Terrains privés	La végétalisation du pourtour des bâtiments, des pieds d'immeubles, des façades… par une politique d'urbanisme incitative permet également d'augmenter l'indice global de végétalisation d'une ville et participe au rafraîchissement de son quartier.		**Maturité :** Largement connue mais souvent peu mis en œuvre dans les nouveaux quartiers **Point fort :** - Une augmentation du taux de végétalisation de 30 % (correspondant à environ trois arbres par domicile) peut générer des économies d'énergie liées à la climatisation de 10 %. **Point faible :** **-** Développement du système racinaire proche du bâti	**Source :** Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique Akbari et Taha (1992)

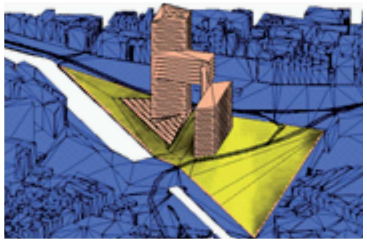
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
1.2	Plantation de feuillus Pérennité et croissance des espèces plantées	Les arbres matures favorisent la fraîcheur par leur capacité d'évapotranspiration et la superficie d'ombre créée. En effet, un arbre mature peut perdre jusqu'à 450 litres d'eau par jour par évapotranspiration, ce qui équivaudrait à cinq climatiseurs fonctionnant 20 heures par jour. Planter des feuillus au vent des vents dominants d'été et à l'ouest, au sud-ouest et au sud des espaces publics permet de rafraîchir l'air à travers la végétation. Veiller à la bonne croissance des arbres par un développement en pleine terre ou en aménagement cellulaire adapté accroit leur capacité rafraîchissante. De même le choix d'espèces indigènes, tolérantes aux variations climatiques de la région assure leur bon développement.		**Maturité :** Technique connue et mise en œuvre notamment au travers de pépinière en phase travaux au sein d'écoquartier **Point fort :** - Apport accru d'ombre et d'évapotranspiration - Une rangée d'arbres diminue la température environnante de l'air de 1°C - Coût moindre d'un jeune arbre **Point faible :** **-** Nécessité d'un entretien régulier lors de la phase de croissance	***Source :*** Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains – Institut National de Santé Publique du Québec – Juillet 2009 Ville de Montréal, 2005; Johnston et Newton, 2004; Bolund et al., 1999.
2 – Surface d'ombrage					
2.1	Implantation d'arbres d'alignement feuillus à feuillage caduc	Outre l'apport de fraicheur (*Voir II.1.4*), l'ombrage créé par les arbres d'alignement permet de limiter la température de surface du sol. Pour que les arbres plantés le long des rues poussent le mieux possible, les aménagements « cellulaires » sont à privilégier. Dans ce type d'aménagement, on utilise des structures qui offrent aux racines un espace suffisant pour leur développement complet. Ensuite, on recouvre partiellement le tout d'asphalte. Les eaux de pluie sont ainsi plus facilement drainées, grâce à la présence d'un sol de qualité.	 *Boulevard parisien*	**Maturité : pratique l**argement diffusé **Point fort :** - Une rangée d'arbre diminue la température environnante de l'air de 1°C - une voiture ombragée par la végétation a une température d'environ 7 °C inférieure à une voiture garée au soleil, tandis qu'un pavé asphalté sera de 2 à 4 °C plus frais - Apport d'ombrage en été - Rafraîchissement par évapotranspiration - Amélioration locale de la qualité de l'air **Point faible :** **-** Entretien/Gestion	**Source :** McPherson et al. (2001)

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
2.2	Arborer le pourtour des bâtiments	Les arbres qui jouent le rôle de protection solaire doivent avoir un tronc élancé afin de ne pas freiner l'écoulement du vent. Privilégier les feuillus au sein des façades Sud-Est et Sud-Ouest. La température intérieure et extérieure d'un bâtiment dépend en partie de la texture et du type de sols qui l'entourent. Les plantes et arbustes permettent de garder le sol plus frais. Ils évitent aussi le réchauffement par les rayons du soleil. Il faut viser à obtenir le plus d'ombrage possible sur le bâtiment. On doit donc planter les arbres sur les faces est, sud-est, sud-ouest et ouest d'un bâtiment. Idéalement, ils devront être assez grands à maturité pour ombrager le toit en partie ou en totalité. Il est aussi possible d'installer des treillis, des pergolas, des murs et des toits végétaux. Toutes ces installations, placées près des bâtiments, assurent une température intérieure plus fraîche.		**Maturité :** Mature mais peu appliquée **Point fort :** - Une augmentation du taux de végétalisation de 30 % (correspondant à environ trois arbres par domicile) peut générer des économies d'énergie liées à la climatisation de 10 %. **Point faible :** - Système racinaire proche du bâti	**Source :** Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique Akbari et Taha (1992)
2.3	Ombrière	*Cf. II.1.6.5*			
3-Surface en eau					
3.1	Trame bleue	Le développement d'une trame bleue permet de compléter et de renouveler les différents écosystèmes et zones humides du territoire : ruisseaux, rivières, lacs, milieux humides, forêts… qui participent à la gestion des eaux de ruissellement du territoire et à l'augmentation des surfaces en eau à l'échelle du territoire. Une trame bleue bien constituée permet également de conserver les eaux de pluie pendant de longues périodes, aidant au développement des végétaux, à l'absorption des fortes pluies et donc au rafraîchissement du milieu urbain.	 *Trame verte et bleue – Parc naturel régional Boucles de la Seine Normande (Source : Biotope)*	**Maturité :** principe appliqué aux espaces naturels (Parc naturel régional..) et en cours de diffusion en milieu urbain **Point fort :** - Participe au développement de la végétation - Participe au renouvellement des écosystèmes **Point faible :** - Difficile en cas de forte pression foncière - Travaux de réouverture des cours d'eau nécessaire en milieu urbain	Parc naturel régional de la Seine Normande Pays cœur de Flandre Trame Verte et Bleu à Saint-Etienne Métropole Trame Verte et Bleu de la commune de Niort ***Source :*** Centre de ressources Trame verte et bleue (trameverteetbleue.fr)

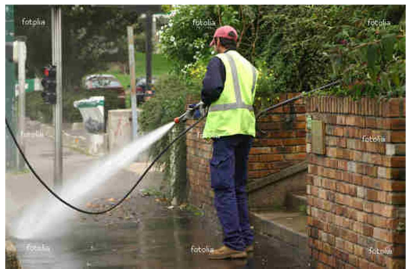
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
3.2	Cycle naturel de l'eau	Retrouver le cycle naturel de l'eau consiste, notamment en milieu urbain, à favoriser l'infiltration naturelle et le ruissellement vers les cours d'eau par des cheminements végétalisés. Ce cheminement de l'eau en surface permet de bénéficier du caractère rafraîchissant des zones humides notamment. Ces surfaces favorisent également l'absorption de chaleur lorsque l'eau liquide s'évapore abaissant la température et atténuant ses variations.	 *Source : Agence de l'eau Loire-Bretagne*	**Maturité :** en cours de diffusion en milieu urbain **Point fort :** - Participe au développement de la végétation - Participe au renouvellement des écosystèmes **Point faible :** - Difficulté de mise en œuvre dans un contexte de pression foncière forte	
3.3	Gestion alternative des eaux pluviales	De même, la mise en place de techniques de gestion alternative des eaux pluviales (Bassins de rétention, drains et noues paysagères, chaussée à structure réservoir…) participe à l'augmentation des surfaces en eau et favorise le développement d'écosystèmes. Le maintien de l'eau sur site et un écoulement plus lent des eaux participe au rafraichissement local d'un quartier.		**Maturité :** technique éprouvée et largement diffusée au sein des écoquartier **Point fort :** - Coût faible - Participe au développement de la végétation **Point faible :** - Entretien/maintenance	De nombreux exemples dont : Rives de la Haute Deûle à Lille – Atelier Pranlas-Descours – Atelier de paysages Bruel-Delmar Quartier Est-Obernai ***Source :*** Ecoquartiers suivez le guide La gestion des eaux pluviales – Retours d'expérience aux travers de quatre projets – C.Goncalves - 2008
2.4	Limitation du débit de fuite	Définir des exigences en matière de débit de fuite à la parcelle et sur l'espace public incite au recours à une gestion alternative des eaux pluviales notamment par le développement de bassin de rétention, de préférence à ciel ouvert. Ainsi, la limitation du débit de fuite à la parcelle participe à la présence d'étendues d'eau en milieu urbain, à la réduction des surfaces imperméables et au recours à une infiltration naturelle.	 *Source: La gestion durable des eaux pluviales*	**Maturité :** principe reconnu et largement diffusé auprès des collectivités et au sein des nouvelles ZAC et écoquartiers **Point fort :** - Coût faible - Participe au développement de la végétation - Réduit la mise en charge des réseaux **Point faible :** - Enfouissement des volumes de rétention (ne génère pas de rafraîchissement)	De nombreux exemples dont : Etudes hydrauliques – OIN Paris Saclay
2.5	Limiter l'imperméabilisation des sols				

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
4 – Matériaux à propriétés thermiques plus adaptés					
4.1	Albédo et émissivité globale	Limiter la part de surface foncée à faible albédo de la superficie de la ville permet d'abaisser la température ambiante d'une ville. Ceci passe par l'augmentation du couvert végétal constituant la ville et le choix de matériaux réfléchissants à fort albédo avec une émissivité élevée. Le choix de pigments de couleur claire participe ainsi à cette dynamique, car la couleur agit sur la réflectivité des surfaces concernées. Une thermographie du territoire ou de certains quartiers de la ville en été permet de cibler les surfaces emmagasinant le plus de chaleur (*Illustration ci-contre*).	 Thermographie aérienne de la Ville de Vincennes *(Source : Ville de Vincennes)*	**Maturité :** En cours de diffusion **Point fort :** - Abaisse la température ambiante d'une ville	L'installation de pavés à hauts albédos combinée à une stratégie de végétalisation pouvait réduire la température ambiante de la ville de Los Angeles de 0,6 °C ***Source :*** Rosenfeld et al., 1998.
4.2	Matériaux à fort albédo	L'albédo des surfaces minéralisées existantes peut être amélioré notamment grâce à des techniques comme: - Les pavés inversés qui consistent à étendre une fine couche de bitume sur laquelle est disposé un granulat à haut albédo, - L'asphalte et le béton coloré qui par l'ajout de pigments réfléchissants permettent d'augmenter la réflectivité. Très répandu, l'asphalte noir est à proscrire du fait de sa couleur très foncée, il a un albédo très faible. - Une couche superficielle de béton appliquée sur une chaussée de bitume, le béton ayant un albédo plus élevé avec des températures de surface plus fraîches. Ces techniques peuvent être en particulier appliquées pour la voirie et les espaces publics..		**Maturité :** En cours de diffusion **Point fort :** - Une augmentation de l'albédo des matériaux des bâtiments de 20 % (soit un albédo moyen) peut générer des économies d'énergie liées à la climatisation 35 %.- - L'augmentation de l'albédo des surfaces minéralisées abaisse la température ambiante d'une ville **Point faible :** - Coût de certains matériaux - Pérennité des revêtements colorés (ternissement)	***Source :*** Akbari et Taha (1992)
4.3	Matériaux perméables	Le choix de matériaux perméables participe au rafraîchissement de l'espace urbain. Les matériaux perméables permettent l'humidification des surfaces minéralisées et parfois leur végétalisation. Les matériaux perméables participent également à une gestion durable des eaux pluviales en limitant le coefficient de ruissellement. Ex: Pavés végétaux, asphalte poreux, structures engazonnées...	 *Source : Ville d'Annecy*	**Maturité :** Approuvé et mis en œuvre progressivement sur l'espace public (espaces piétons, aires de stationnement…) **Point fort :** - Participe à une meilleure gestion des eaux pluviales **Point faible :** - Matériaux végétalisés peu adaptés au trafic routier - Entretien, résistance à l'usure	

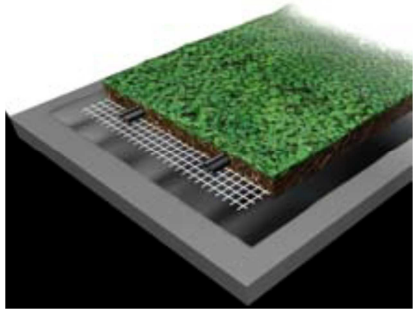
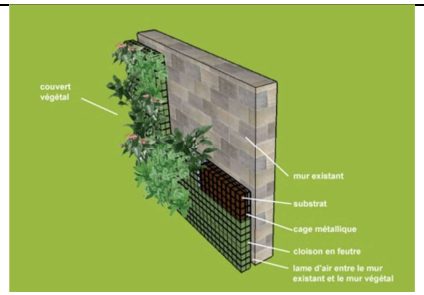
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
5 – Source de chaleur anthropique					
5.1	Politique de réduction du parc automobile en milieu urbain	Localement, la circulation automobile amplifie le réchauffement diurne et ralentit le refroidissement nocturne, elle participe ainsi à la surchauffe des villes en rejetant de la chaleur (véhicule électrique inclus) et de la pollution (hors véhicule électrique).	*Exemple de Plan vélo – Source : Plaine Commune*	**Maturité :** Politique diffusée au cours des vingt dernières années et mise en application dans la plupart des grandes agglomérations françaises **Point fort :** réduction des émissions à la source **Point faible :** effet non mesurable à court-terme	Plan Local de Déplacements Plan de Déplacements Urbains Plan Vélo
5.2	Mixité fonctionnelle Réduction de la mobilité contrainte	Il est aujourd'hui acquis que la mixité fonctionnelle entre activités, bureaux, logements, commerces et équipements permet de diminuer les migrations alternantes et les déplacements motorisés induits. Cette diminution des déplacements motorisés réduit ainsi les apports de chaleur générés et participe à la baisse la température des milieux urbains.	*Quartier de la Duchère à Lyon – Source : site GPV Lyon Duchère*	**Maturité :** Concept éprouvé et largement mis en application au sein des collectivités et des nouvelles ZAC **Point fort :** réduction des émissions à la source **Point faible :** effet non mesurable à court-terme	***Source :*** Mixité fonctionnelle dans les quartiers en rénovation urbaine
5.3	Choix énergétiques mutualisés	Recourir à des choix énergétiques mutualisés à l'échelle du quartier limite les pertes de chaleur. En effet, le fait de centraliser la production de froid permet de limiter les pertes, étant donné que les pertes dans les réseaux sont inférieures à l'amélioration du rendement de l'installation centralisée. Pour le rafraîchissement, la priorité est donnée aux réseaux de froid avec un approvisionnement en énergie renouvelable. *Voir 3. Bâtiment*	Réseau de chaleur *Source : ADEME*	**Point faible :** - Coût d'investissement - Entretien/Gestion	Val d'Europe – Dalkia
6– Autres techniques de rafraichissement					
6.1	Orientation de plan masse	L'implantation des constructions diagonalement à la direction des vents dominants, de façon à ce que les zones de haute et de basse pression englobent alternativement le bâti, assure une ventilation transversale sur toute la surface et évite les problèmes de masque.		**Maturité :** principe aéraulique basique mais il est peu appliqué lors de la conception d'un quartier. **Point fort :** - Aération des espaces extérieurs - Favoriser la ventilation naturelle des bâtiments	***Source :*** Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain : approche bioclimatique – RUROS -CRES

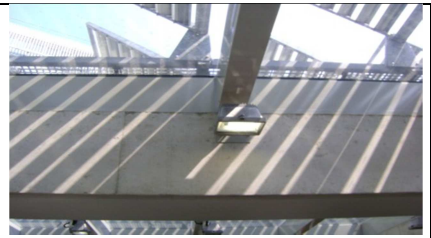
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
				Point faible : - Difficulté de mise en application à l'échelle d'un quartier dans son ensemble ou pour des quartiers existants	
6.2	Etude aéraulique de conception	Réaliser une étude aéraulique en phase conception ou en phase d'exploitation permet : - d'assurer la bonne ventilation des espaces extérieurs sans engendrer de l'inconfort de manière trop importante - d'identifier les zones peu aérées ou les zones d'inconforts afin d'identifier les modifications de plan masse ou les dispositifs à intégrer pour améliorer le confort des espaces extérieurs du quartier. L'intégration des recommandations résultant de ces études participe à favoriser la bonne ventilation des quartiers et à leur rafraîchissement en période estivale.	 Etude aéraulique *Source : ALTO Ingénierie*	**Maturité :** étude de conception connu et beaucoup appliqué aux immeubles de grande hauteur (Ex : La Défense) ou aux aménagements de territoire (OIN, ZAC…) **Point fort :** - Applicable dans le cas de nouvelles opérations d'aménagement **Point faible :** - Coût de l'étude - Difficilement applicable au quartier existant (excepté pour intégrer des dispositifs de protection/ rafraichissement : obstacle, végétalisation)	Lyon Confluence (Etude de ligne de courant et intensité du vent) OIN Paris Saclay La Défense … BET simulation : ALTO Ingénierie ***Source :*** Modélisation et simulation des microclimats urbains : Etude de l'impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs. Cas des écoquartiers – Khaled Athamena
6.3	Aires de rafraîchissement	Ces installations permettent aux citoyens de se rafraîchir pendant les vagues de chaleur notamment par la création de diverses aires de rafraîchissement de proximité : aires de repos ombragées, installation d'étendues d'eau (bassins, fontaines, jets d'eau ou brumisateurs). *Voir ci-dessous (de 1.6.1 à 1.6.5)*	 *Installation de brumisateur* *(Source : Ville de Chevilly-Larue)*	**Maturité :** système prouvé et mis en place dans les grandes agglomérations méditerranéennes **Point fort :** - Augmentation de l'évapotranspiration en maximisant les surfaces de contact air-eau - Accentue le rafraîchissement de l'air ambiant	**Source :** Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques – Alain Liébard - André De Herde – Observ'ER - Editions du Moniteur - 2005
6.3.1	Bassins	Le bassin de rétention est un aménagement du même type que le jardin de pluie, mais plus grand. Il s'agit d'une dépression (un creux) réalisée grâce à un dénivelé du terrain. Il en existe deux types : - les bassins d'eau (qui conservent en tout temps une certaine quantité d'eau stagnante); - les bassins secs. Le bassin de rétention recueille l'eau qui y ruisselle et la laisse s'infiltrer dans le sol. Il est l'occasion de créer des paysages végétaux. Dans certains cas, il permet même d'aménager des espaces de jeux et de loisirs (bassins secs) en milieu urbain. On peut y	 *Bassin de rétention quartier Ginko (Bordeaux)* *(Source : eco-quartiers.fr)*	**Maturité :** Approuvé et mis en place dans plus en plus d'écoquartiers **Point fort :** **-** Amélioration du cadre de vie - Participe à la gestion des eaux pluviales **Point faible :** **-** Difficile en cas de forte pression foncière	De nombreux exemple dont : Ecoquartier de Bonne – Grenoble Rives de la Haute Deûle à Lille – Atelier Pranlas-Descours – Atelier de paysages Bruel-Delmar ***Source :*** Ecoquartiers suivez le guide La gestion des eaux pluviales – Retours d'expérience aux travers de quatre projets – C.Goncalves -

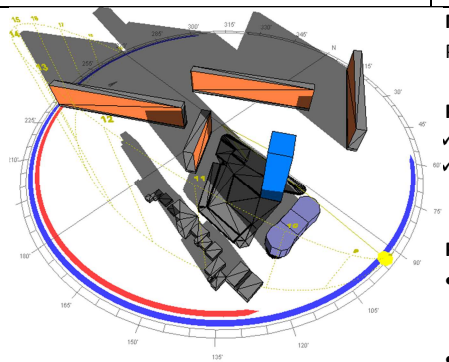
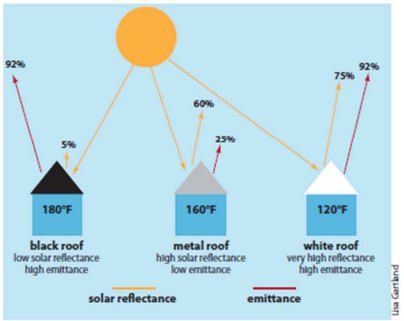
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
		intégrer des moyens de filtrer l'eau pour éviter la pollution du milieu. Les bassins de sédimentation (où se déposent les matières en suspension) et certaines plantes aquatiques filtrantes peuvent jouer ce rôle. C'est utile entre autres dans le cas des stationnements et des sites industriels, où l'on trouve beaucoup de polluants à la surface du sol.			2008
6.3.2	Brumisateurs/ Pulvérisateurs	Les techniques liées à la micronisation (pulvérisation de gouttelettes d'eau de l'ordre du micromètre en suspension dans l'air) favorisent le rafraîchissement de l'air ambiant. Leur effet est maximisé dans un climat chaud et sec, mais permet également de faire des gains de fraîcheur dans les milieux où l'humidité relative est plus élevée, notamment lorsque le rafraîchissement par mouvements d'air est possible. A la suite d'une canicule qui a sévi en Europe en 2003, des chercheurs français ont mené une étude portant sur l'utilisation d'un brumisateur dans un centre de gérontologie de Marseille. L'utilisation de cet appareil dans la salle de séjour où circulent les soignants et les résidents a entraîné une réduction de la température intérieure de 3 °C.	 *Jeu d'eau - Source : Giguère (2009)*	**Maturité :** système reconnu et régulièrement mis en place **Point fort :** - Rafraîchissement immédiat - Ludique, facilité d'appropriation par les habitants en période estivale **Point faible :** - Consommateur d'eau et d'énergie La consommation d'eau associée sera plus élevée que celle d'un espace vert intégrant des espèces adaptées au climat ayant des besoins en arrosage très faibles à nuls, mais cette technique reste à usage ponctuel, en cas de grosses chaleurs.	**Source :** Liébard et DeHerde, 2005 Bonin-Guillaume et al., 2005
6.3.3	Jeux d'eau / Jets d'eau / Fontaine	*Voir 1.6.2*	 *Jeux d'eau – Parc Citroën Paris (parisinfo.com)*	**Maturité :** système prouvé et mis en place dans les grandes agglomérations méditerranéennes **Point fort :** - Ludique **Point faible :** - consommateur d'eau et d'énergie	
6.3.4	Miroir d'eau	Un miroir d'eau est une pièce d'eau peu profonde et de pente très faible. Il est placé dans des lieux où les passants sont exposés à des températures élevées pendant l'été. Il est conçu pour permettre aux usagers de se rafraichir et apporte un meilleur confort thermique tout en offrant des jeux d'eau aux plus jeunes. Le miroir d'eau a un fonctionnement intermittent et peut diffuser à certains moments des jets d'eau ou des brumisateurs	 *Réaménagement de la Place de la République (2013) – source : architopik*	**Maturité :** en cours de diffusion **Point fort :** - Ludique - Participe à l'attractivité touristique de la ville et la mise en valeur du patrimoine. **Point faible :** - Coût - besoin de chlorer le bassin	Bordeaux – Place de la Bourse Paris – Place de la République

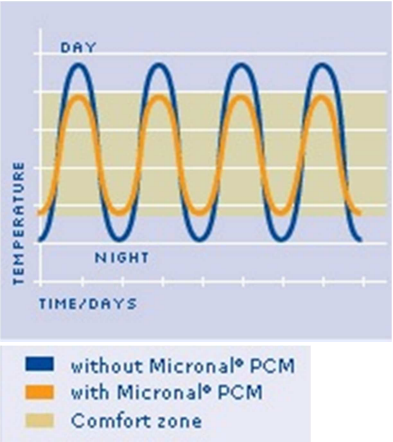
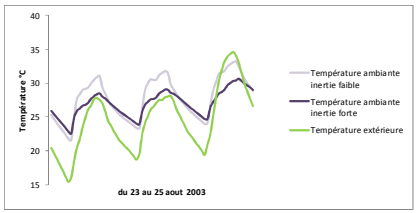
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
6.3.5	Ombrière / Aire de repos ombragé	Une ombrière est un dispositif de protection contre le soleil dans les zones publiques.	 *Ombrière sur le vieux port à Marseille (Norman Foster)*	**Maturité :** système peu développé à grande échelle, mis en œuvre dans les grandes agglomérations méditerranéennes **Point fort :** - Ombre directe Point faible Intégration dans le paysage urbain	Séville Vieux port à Marseille Jardin du Muséum de Toulouse **Source :** Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatique
6.4	Arrosage des surfaces imperméabilisées	Réduire la température de surfaces minéralisées, perméables ou non, participe au rafraîchissement du milieu urbain. Les sorties d'eau utilisées pour le lavage des voiries peuvent servir à ce nouvel usage afin de rafraîchir les voiries du quartier. L'évaporation de l'eau utilise de la chaleur, et donc aide à créer de la fraîcheur. L'arrosage de l'asphalte, qu'il soit imperméable ou non, est donc un moyen efficace de réduire la température à sa surface. L'utilisation d'eau recyclée est toutefois indiquée pour réduire le gaspillage d'eau potable.		**Maturité :** en cours d'expérimentation **Point fort :** - D'après étude réalisée à Tokyo, le gain de fraîcheur provenant de l'arrosage de rues asphaltées avec de l'eau recyclée est de 8 °C le jour et de 3 °C la nuit. Les températures des pavés après arrosage seraient les mêmes que celles des zones végétalisées avoisinantes **Point faible :** - Consommation en eau - Moyen humain pour l'arrosage	Une expérience au Japon a montré que la consommation d'eau pour le rafraîchissement de l'espace public n'excède pas 2L/m²/h pendant 4 h pour un rafraîchissement de l'ordre de 2 à 4 °C. ***Source :*** Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains (INSPQ)

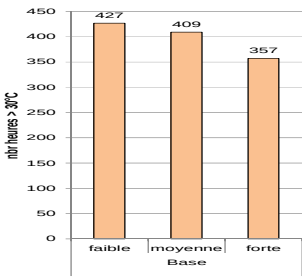
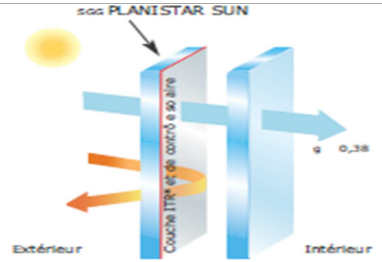
Bâtiments

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
1 – Couverture végétale					
1.1	Toiture végétale	La végétalisation d'une toiture consiste en la mise en œuvre d'un ''tapis végétal'' sur la toiture afin d'en assurer la protection thermique. Elle permet: •Le rafraîchissement par évapotranspiration et l'élévation de l'humidité ambiante de l'air. •La réduction des effets des réflexions et des radiations thermiques ou solaires. •La fixation des poussières (lutte contre la pollution atmosphérique provoquant un microclimat favorable au bien-être des habitants du voisinage immédiat). Pendant une journée ensoleillée de 26 °C, un toit foncé peut atteindre jusqu'à 80 °C, un toit blanc, 45 °C et un toit végétal, 29 °C (Fischetti, 2008; Liu et Bass, 2005).	 Source : http://www.vert-tige.eu/	**Maturité :** système éprouvé et mis en oeuvre dans de plus en plus de centres urbains. **Point fort :** ✓ solution efficace, esthétique et environnementalement idéale car les végétaux fixent en outre le CO2 ✓ Avantage économique car le revêtement de la toiture est remplacé par la végétalisation **Points faibles :** • Conflit d'utilisation d'espace disponible en toiture avec par exemple le solaire thermique et photovoltaïque. • Nécessité de sélectionner une espèce adaptée aux climats locaux pour limiter les consommations d'eau d'arrosage • L'installation sur des surfaces existantes nécessite une étude préalable de structure.	A Toronto, on a établi par modélisation que la création de toits végétaux sur 25 % de la superficie totale des toits de la ville réduirait la température de l'air de 1 ou 2 °C en période estivale (Ministère des Affaires municipales et du Logement de l'Ontario, 2004). Lycée de Libourne (33), Into the green (94), LECLERC DE CANNES - février 2012 ***Source*** : Mesures de lutte aux ilots de chaleur urbains, Institut national de santé public Québec, Juillet 2009 ACV sur les mesures d'atténuation d'îlots de chaleur urbaines, CIRAIG, février 2011
1.2	Mur végétal	Comme la toiture végétale, le mur végétal permet d'assurer une protection thermique du bâtiment. De plus il offre protection et ombrage des façades Sandifer et Givoni (2002) ont évalué l'effet rafraîchissant de la vigne vierge sur un mur. Ils ont observé des réductions de températures allant jusqu'à 20 °C, comparativement à un mur non ombragé.	 Source : http://www.murmurevegetal.com/	**Maturité :** système éprouvé et mis en place dans de plus en plus de centres urbains particulièrement en Amérique du Nord **Points forts :** ✓ Solution efficace, esthétique et environnementalement idéale car les végétaux fixent en outre le CO2. ✓ Ombrage des façades pour éviter les apports solaires. **Points faibles :** • attention à l'occultation totale des apports solaires • Sélectionner une espèce adaptée aux climats locaux	Alpha Park II (Clayes-sous-Bois), sept 2012 ***Source*** : Mesures de lutte aux ilots de chaleur urbains, Institut national de santé public Québec, Juillet 2009

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
				• Difficulté d'entretien • Coût dû à l'entretien important	
1.3	Façade de micro-algues	cultures de micro-algues en façade, i.e. panneaux où les micro-algues poussent dans l'épaisseur d'une paroi créée de tubes ou de panneaux de verre.	 Source : XTU	**Maturité :** Projet en prototype Deux projets d'étude sont en cours avec des tubes contenant les micro-algues **Points forts :** ✓ Idem qu'un mur végétal avec une culture de micro-algues qui peuvent être vendues. **Points faibles :** • Etude de poids sur la façade à prendre en compte • maintenance à étudier • coûts d'investissement élevé	Un bâtiment à la Défense en 2009-2010 La tour D3A dans le 13e arrondissement parisien en 2010-2011 Un test en cours avec une nouvelle technique (lame d'eau de quelques centimètres d'épaisseur comprise entre deux parois en verre) en 2013 à Saint-Nazaire Article du 17/01/2013: des-cultures-de-micro-algues-en-facade-pour-regule-34112
2 – Surface en eau					
2.1	Bassin sur cour	➔ cf. solution urbanisme 2- surface en eau			
3 – Surface d'ombrage					
3.1	Protections solaires	Tous les systèmes de protection au rayonnement solaire direct et diffus, fixes ou mobiles, internes ou externes. Ils permettent de réduire les apports solaires et ainsi de réduire le besoin de rafraichir Les protections solaires sont nettement plus efficaces si installées à l'extérieur ; elles évitent ainsi la surchauffe de l'enveloppe.	 Protections solaires Source : Audit ALTO Ingénierie	**Maturité :** Très grande diversité de protections solaires disponibles, secteur très mature mais avec des constantes améliorations principalement sur les automatismes **Points forts :** • Elément architectural • Performance élevée si extérieure • Evite l'éblouissement • Protections mobiles permettent un meilleur confort • Modes de pilotage variables : manuel par les usagers, motorisation par gestion technique du bâtiment et sondes d'ensoleillement) • Stores intérieurs : coût limité **Points faibles :** • Maintenance des stores extérieurs • Protections solaires fixes ne peuvent s'adapter à toutes les situations avec les mouvements du soleil	Toutes les nouvelles constructions incluent cet élément pour le confort d'été et visuel Source : Fiche ADEME « Mise en place de protections solaires fixes ou mobiles sur les façades exposées » - 08/03/03

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
				• Stores intérieurs : performance limitée, échauffement de la lame d'air entre le store et le vitrage • Stores extérieurs : prix plus élevé et durée de vie limitée	
3.2	Conception du bâtiment	Il n'existe pas de règles applicables à tous les bâtiments. Cependant des éléments de conception influencent le confort d'été : • Orientation du bâtiment • Vents dominants • Augmentation de l'éclairement naturel • Inertie du bâtiment	 Exemple de prise en compte de l'environnement sur l'ensoleillement des façades des projets. Source : ALTO Ingénierie, Tour de logements	**Maturité :** Principe de construction bioclimatique **Points forts :** ✓ « gratuit » ✓ Permet d'éviter des consommations énergétiques **Points faibles :** • Contrainte liée au site selon les ombrages des bâtiments environnants • De plus, la contrainte de taille de la parcelle et du programme demandé pour la construction ne permet pas toujours une liberté sur le positionnement du bâtiment	Conception faites à partir de simulations thermiques dynamiques souvent imposées dans une démarche Haute Qualité Environnementale.
4 – Matériaux à propriétés thermiques plus adaptés					
4.1	Toiture blanche (cool roof)	Membrane ou matériaux de toiture à haute réflectivité solaire et émissivité thermique élevée, à haut albédo (pâle), réfléchissant les rayons solaires et réduisant ainsi l'absorption de chaleur.	Figure 5: Example of Combined Effects of Solar Reflectance and Thermal Emittance on Roof Surface Temperature[4]  Source: Reducing Urban heat islands : compendium of strategies – cool roofs, Environmental Protection Agency, 2009	**Maturité** : solution connue et fréquemment appliquée en Amérique du Nord. **Points forts :** Moindre coût, adaptabilité sur des surfaces de toitures existantes avec peu de modification **Points faibles :** Moins efficace qu'une toiture végétale Entretien variable selon les membranes. Impact potentiel important sur l'environnement de l'enduit réfléchissant à appliquer de façon régulière	Les ''Cool Roof'' permettent de réduire la température d'un toit de 28 à 33°C pendant une période très chaude en été. Source: Reducing Urban heat islands : compendium of strategies – cool roofs, Environmental Protection Agency, 2009

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
4.2	Matériaux à changement de phase	La mise en œuvre de matériaux à changement de phase dans les parois d'un bâtiment permet d'augmenter son inertie thermique et ainsi d'améliorer le confort d'été pour les occupants tout en diminuant les consommations d'énergie de climatisation. Pour les bâtiments à inertie lourde, ces matériaux ne sont d'aucune utilité. En revanche, pour des bâtiments à inertie légère pouvant bénéficier d'une surventilation nocturne et ayant des protections solaires performantes (ex : construction bois), les MCP peuvent permettre de limiter la température intérieure du local. Leur utilisation peut également être intéressante en rénovation.	 Principe de stockage et déstockage de chaleur (Source : BASF Micronal)	**Maturité :** Le coût important de leur utilisation et l'arrêt de leur production par Knauf notamment freinent leur développement. **Points forts :** ✓ Solution passive permettant d'augmenter l'inertie thermique de l'enveloppe et d'améliorer le confort d'été ✓ Aucune contrainte d'exploitation ✓ D'un point de vue exploitation, le bilan environnemental des PCM est tout à fait positif puisqu'il permet de diminuer les consommations liées à la climatisation tout en améliorant le confort. **Points faibles :** • Solution onéreuse du fait de son faible développement commercial • Analyse de cycle de vie (production et fin de vie) à étudier	Une étude a montré un Gain moyen de 4.5°C en période estivale sur une maison individuelle en béton et un gaine sur les consommations jusqu'à 7,7% en mi-saison - sous des hypothèses précises (aucun apport interne et 2,4vol/h en renouvellement d'air la nuit et 0,5vol/h le jour). Quelques exemples en Allemagne à partir de 2001 (Solar Decathlon House 2008, école, bureaux). http://www.micronal.de/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_290872 En énergie, éléments annoncés sur le site internet : http://www.energyefficiency.basf.com/ecp1/micronal/study_micronal_study_results
4.3	Matériaux inertiels	L'inertie permet d'amortir les variations de température : lors d'un pic de température extérieure, la chaleur sera en partie stockée dans les murs, limitant l'augmentation de température à l'intérieur. Il faut par contre pouvoir « décharger » le bâtiment lorsque la température extérieure diminue, la nuit, grâce à une ventilation naturelle performante. Cette inertie est le plus souvent réalisée grâce à des matériaux dits inertiels à forte effusivité comme la pierre, le béton, la terre, l'eau …. Plus l'inertie est grande (beaucoup de béton ou autre matériau inertiel apparent), plus l'effet est important Les besoins en climatisation ou rafraichissement sont donc grandement diminués (la climatisation peut même devenir inutile dans les climats plus froid). L'inertie est intéressante à condition d'être couplée à une ventilation naturelle performante et nocturne.	 Ce graphique met en évidence l'impact de l'inertie thermique sur le confort d'été, caractérisé ici par la température ambiante d'un bureau individuel avec ventilation nocturne par ouverture des baies et un fichier météo à Paris en 2003 (caniculaire) Source : ALTO Ingénierie.	**Maturité :** Principe bioclimatique mature **Points forts :** ✓ Diminue les besoins de rafraîchissement ✓ N'induit pas directement de consommations complémentaires ✓ Surcoût limité **Points faibles :** • une trop grande inertie thermique dans un bâtiment à usage fortement intermittent augmente les consommations énergétiques, d'hiver notamment • inintéressant si usage du bâtiment surtout de nuit • peu efficace si la température diminue peu la nuit	

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
4.4	Isolation	L'impact de l'isolation d'un bâtiment est très variable selon l'occupation du bâtiment, sa localisation et les apports internes. L'isolation d'un bâtiment permet de renforcer son inertie si elle est extérieure. Elle limite la pénétration de chaleur et permet de maintenir plus longtemps la fraîcheur de la nuit.	 Impact de l'inertie donné par l'isolation (en nombre d'heures au-dessus de 30°C). Réduction de 16% avec une inertie forte. Source : ALTO Ingénierie.	**Maturité :** Principe bioclimatique mature **Points forts :** ✓ Peut diminuer les besoins de rafraîchissement ✓ N'induit pas de consommations complémentaires **Points faibles :** • Solution très variable selon les cas, à étudier au cas par cas • Si apports internes importants, l'isolation peut être néfaste en empêchant la chaleur de sortir • L'isolation par l'intérieur supprime l'inertie et ses bénéfices	
4.5	Fenêtres à facteur solaire performant	Le choix du vitrage est un compromis entre le facteur solaire qui limite les apports de chaleur par le soleil et la transmission lumineuse qui permet d'assurer un éclairage naturel (qui réduit donc les apports et consommations de l'éclairage artificiel). Les valeurs optimales sont variables selon la typologie et la localisation du bâtiment. Il est possible aussi de mettre des films solaires sur des vitrages existants. De plus, il existe des vitrages intelligents, ce sont des vitrages à propriétés optiques réversibles : la réflexion des vitrages est capable d'évoluer avec le contexte. Cf. technique 4.2 dans transports.	 Exemple de vitrage à couche de contrôle solaire et à faible émissivité Source : Saint Gobain	**Maturité :** Un grand choix de vitrages est aujourd'hui disponible et les fabricants proposent constamment des optimisations.	Solution très courante dans les bâtiments neufs Groupe scolaire de Montreuil (vitrage FS=28%, TL=60%), ALTO Ingénierie Bureaux de poste, mise en place de films solaires, ALTO Ingénierie
5 – Source de chaleur anthropique					

<table>
<tr><th>Num</th><th>Technique</th><th>Descriptif</th><th>Illustration</th><th>Points clefs</th><th>Exemples/Sources</th></tr>
<tr>
<td>5.1</td>
<td>Matériel informatique performant</td>
<td>Le matériel informatique a un impact important sur les apports de chaleur dans une pièce.
A plus forte raison, les es serveurs ou salles informatiques ont des apports très élevés : 100 à 700 Watts/m², constants été comme hiver. Les salles serveurs nécessitent souvent une climatisation de qualité (température ambiante : 20 C environ, humidité ambiante : 50 à 60%HR) et fiable.
Certaines solutions permettent de réduire les consommations:
• placer les équipements communs dans un local climatisé séparément et/ou dans lequel une température supérieure est acceptée.
• utilisation de nouveaux appareils de bureautique, plus performants
• Mise en veille des appareils</td>
<td>
Client léger + écran

Selon la technologie les apports varient:
<table>
<tr><th>Apport en W</th><th>Fonctionnement normal</th><th>Veille</th></tr>
<tr><td>PC Fixe</td><td>70.0</td><td>2.17</td></tr>
<tr><td>Portable</td><td>25.0</td><td>0.99</td></tr>
<tr><td>Client léger</td><td>15.0</td><td></td></tr>
<tr><td>Ecran LCD 17''</td><td>19.0</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>Ecran LCD 19''</td><td>21.0</td><td></td></tr>
<tr><td>Ecran LCD 22''</td><td>24.0</td><td></td></tr>
</table></td>
<td>Maturité :
Différents labels permettent d’assurer les performances environnementales.

Points forts :
✓ Réduction de la consommation électrique des appareils
✓ Réduction des surchauffes d’été ou de la consommation de climatisation
✓ Eteindre les appareils en veille permet d’économiser jusqu’à 75% de la consommation énergétique
✓ L'économie annuelle réalisée grâce à la mise en veille est estimée à 500 kWh/an pour un écran de 21 pouces et jusqu’à 35% pour une mise ne veille de l’unité centrale

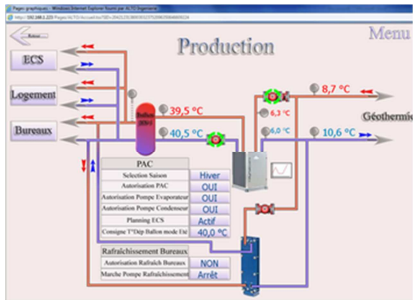
Points faibles :
• Il peut être plus onéreux d’acheter des technologies à faibles impacts énergétiques
• Remplacer prématurément le matériel n’est pas forcément souhaitable en raison de l’impact environnemental de sa production</td>
<td>Source :
Internet, courriel : réduire les impacts, ADEME, Avril 2012

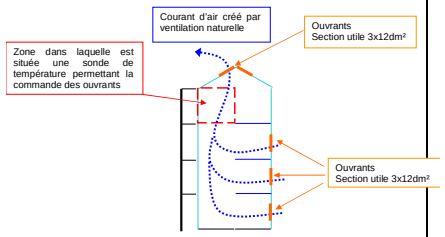
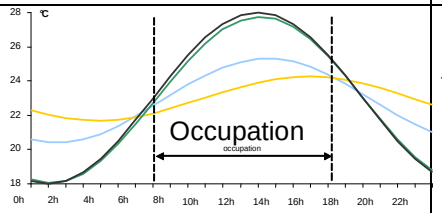
http://ecocitoyens.ademe.fr/mes-achats/bien-acheter/bureautique</td>
</tr>
<tr>
<td>5.2</td>
<td>Minimiser l'éclairage artificiel et sélectionner le type d’éclairage ayant un faible impact énergétique</td>
<td>• En optimisant la lumière naturelle
• En optimisant le temps d'utilisation de l'éclairage artificiel (détecteur de présence, programme horaire)
• En régulant le flux lumineux (gradateur, cellules d'éclairement)</td>
<td>
Source : Bureaux ALTOSPHERE- Alto Ingénierie</td>
<td>Maturité :
Système utilisé dans la conception bioclimatique avec une vérification en simulation thermique dynamique (FLJ) dans le cas d’une démarche HQE.

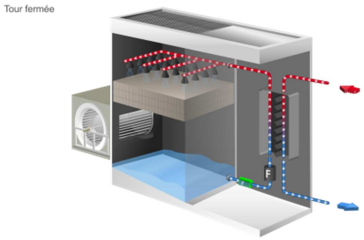
Points forts :
✓ Réduction des consommations de climatisation et d’éclairage
Points faibles :
• Equipements complémentaires à mettre en place pour la gestion de l’éclairage donc surcout
• Nécessité d’être vigilant aux consommations en mode veille des systèmes de commande</td>
<td>Les solutions permettant de l’imiter les consommations de l’éclairage artificiel sont de plus en plus diffusées. La réglementation thermique impose d’ailleurs des performances minimales en neuf ou rénovation.

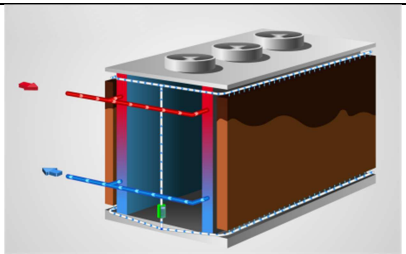
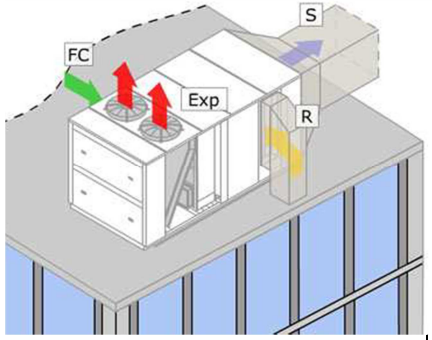
Bureaux ALTOSPHERE- Alto Ingénierie

Ecole de Pantin, 0 énergies- Alto Ingénierie</td>
</tr>
<tr><td colspan="6">6 – Disposition organisationnelle</td></tr>
</table>

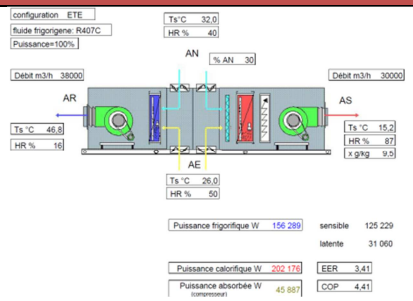
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
6.1	Gestion technique du bâtiment (GTB)	LaGTB permet - une utilisation du bâtiment et des équipements plus adaptée aux besoins réels - une maintenance plus aisée des systèmes, ce qui favorise le maintien de leur performances dans le temps. Elle permet par exemple : - d'ajuster la température de consigne de chaque pièce selon son planning d'utilisation, ce qui évite des consommations inutiles de climatisation en inoccupation ; - de couper l'éclairage et éventuellement la bureautique hors occupation, ce qui réduit les apports de ces équipements ; -d'ajuster le fonctionnement des équipements de ventilation à l'occupation, et d'augmenter les débits pour réaliser de la surventilation nocturne lorsque c'est pertinent (température intérieure élevée, température extérieure suffisamment basse), ou encore d'ouvrir des ouvrants de ventilation naturelle.	 Source : GTB ALTOSPHERE, ALTO Ingénierie	**Maturité :** Système existant, utilisé principalement dans les constructions neuves. Doit être développé de plus en plus dans les rénovations. **Points forts :** ✓ Gestion en temps réel ✓ Economies d'énergie ✓ Très modulable selon le degré d'automatisation souhaité ✓ Simple d'utilisation : un responsable du bâtiment doit savoir piloter son bâtiment pour des fonctions simples comme la programmation journalière **Points faibles :** • Système complet encore cher • difficultés de communication, manque d'un langage commun	
6.2	Attitude des occupants	Une bonne utilisation du bâtiment par les occupants permet de limiter les besoins de froid et donc la consommation correspondante. • Baisser les stores s'il fait chaud et que le soleil rentre • Ouvrir les fenêtres lorsque la température extérieure est plus fraîche que celle du bâtiment, pour permettre la ventilation naturelle, plutôt que d'utiliser un système de rafraichissement actif lorsque c' est suffisant pour garantir le confort. • La température de consigne réglementaire de confort d'été est 26°C. Le rafraichissement actif ne peut pas être mis en place tant que la température intérieure n'atteint pas 26°C. • Eviter les sources de chaleur inutiles : éteindre l'éclairage lorsque l'la lumière naturelle est suffisante. • Mettre en place une programmation des éventuels systèmes de rafraichissement actif adaptée aux horaires d'occupation des locaux. • Ventiler le bâtiment la nuit de manière à	 Activation des stores	**Maturité :** Mesures de « bon sens » **Points forts :** ✓ Gratuit ✓ Permet d'éviter et d'optimiser les besoins en froid Point d'attention : il faut sensibiliser les utilisateurs et former les exploitants. **Points faibles :** • Changement de paradigme nécessaire (besoin de se réapproprier le bâtiment) •	

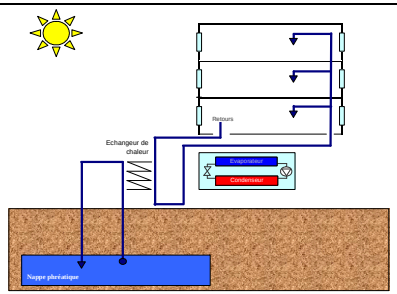
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
		accumuler de la fraîcheur si la température extérieure nocturne est inférieure à la température des locaux et si le bâtiment possède une inertie suffisante.	 Ventilation naturelle créée Source : Alto Ingénierie		
6.3	Adapter le fonctionnement des locaux au confort climatique	Il s'agit d'adapter le fonctionnement en été des bâtiments pour minimiser la demande de rafraichissement. Prise en compte des forts apports ponctuels et permettre la ventilation hors des heures d'utilisation Certains locaux sont plus confortables en été ; s'il est possible de délocaliser l'activité durant la journée dans ces locaux, cela permet d'assurer le confort d'été. Cette solution est à envisager notamment dans les bâtiments dont l'activité est plus faible en été, de telle sorte qu'il est possible de ne pas utiliser tous les locaux		**Points forts :** ✓ Réduction de la demande de rafraîchissement à coût nul **Points faibles :** Solution adaptée seulement à certains bâtiments	Ecole dont une partie seulement est utilisée en centre de loisirs Ecole du Centre de Pantin, BET : ALTO Ingénierie
7 - Autres techniques de rafraichissement					
7.1	Groupe de froid à condensation par air	Un groupe de froid est une machine thermodynamique qui produit du « froid », au niveau de son évaporateur et rejette la chaleur produite au niveau du condenseur à air.	 Groupe de froid à condensation par . Source : AQUACIAT – CIAT	**Maturité :** Mature **Points forts :** ✓ Investissement limité ✓ Compacité **Points faibles :** • Système bruyant • EER plus faible que les solutions géothermiques • Utilise de l'électricité d'origine non renouvelable	Siège de l'ANSES, Maison Alfort BET : Alto Ingénierie

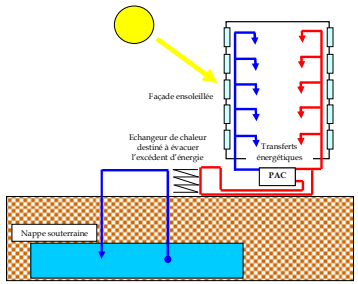
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
7.2	Groupe de froid à condensation par eau + Tour de refroidissement	Un groupe de froid est une machine thermodynamique qui produit du « froid », au niveau de son évaporateur. La chaleur rejetée au niveau du condenseur s'évacue par l'intermédiaire d'un circuit d'eau relié à une tour de refroidissement	 Groupe de froid Source : Audit ALTO Ingénierie  Tour de refroidissement fermée Source : JACIR- www.jacir.fr	**Maturité :** Système très mature. **Points forts :** ✓ Energétiquement plus performant ✓ Peu encombrant (6 fois moins de surface que des dry coolers secs) ✓ Capacité de refroidissement la plus élevée (par rapport à dry et tour fermée) ✓ investissement par rapport à dry plus faible pour une tour ouverte mais plus élevé pour une tour fermée **Points faibles :** • Système non réversible • Système soumis à l'ICPE 2921 (Risque de légionelle) • Maintenance très élevée • Grande consommation d'eau • Image néfaste et impact psychologique des panaches • effet de serre des fluides frigorigènes pouvant être jusqu'à 14 000 fois plus fort que le CO2	Système utilisé sur les principaux immeubles de bureaux construits à partir des années 1960. Nouveaux systèmes de tour fermée principalement en remplacement d'existantes et sur des installations de bureaux, industrie. Audit siège de l'AFD: 3 Groupes frigorifiques à compresseurs + 3 tours de refroidissement à circuit fermé. Conso annuelle de 344 MWh/ 3 groupes. Source : Audit ALTO Ingénierie
7.3	Groupe de froid à condensation par eau + aéroréfrigérant sec (ou dry-cooler)	Les dry-cooler secs refroidissent l'eau provenant du condenseur uniquement à l'aide de ventilateurs, il n'y a pas de consommation d'eau. Par rapport aux tours de refroidissement avec aspersion d'eau, la surface d'échange doit être plus importante, l'emplacement au sol également.	 Source : Aéroréfrigérant CIAT	**Maturité :** **Points forts :** ✓ Pas de risque de légionelle (non soumis à l'ICPE 2921) ✓ Fiabilité (moindre corrosion du circuit hydraulique) ✓ Maintenance faible ✓ Niveau sonore plus faible qu'une tour **Points faibles :** • Système non réversible • aéroréfrigérant nécessairement à l'extérieur pour évacuer la chaleur • Par rapport à un groupe de froid air/eau, hauteur des équipements en toiture beaucoup plus faible • Occupe une surface importante en toiture • Performances moyennes	Installation d'aéroréfrigérants secs sur des bureaux, hôpitaux, industrie, tour de bureaux ORSUD : remplacement de la production frigorifique, remplacement de la tour aéroréfrigérante par des drys secs – BET : ALTO Ingénierie

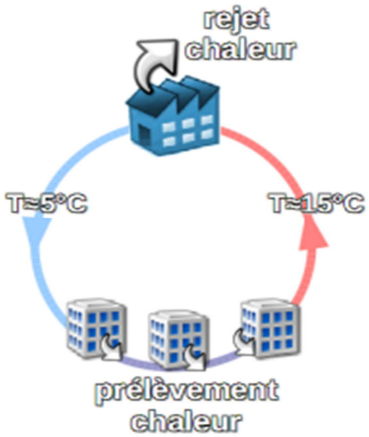
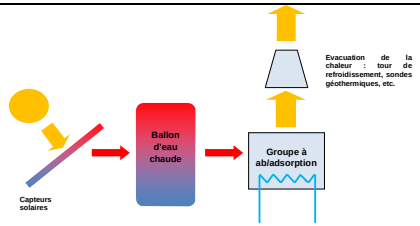
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
				• effet de serre des fluides frigorigènes pouvant être jusqu'à 14 000 fois plus fort que le CO2	
7.4	Groupe de froid à condensation par eau + aéroréfrigérant adiabatique	Les dry coolers adiabatiques rafraichissent l'air grâce à un média humide Les dry adiabatiques ont une capacité de refroidissement nettement supérieure à celle des dry secs. Cette eau ne refroidit pas l'air par pulvérisation comme pour les tours..	 Aéroréfrigérant adiabatique Source : JACIR- www.jacir.fr	**Maturité :** Système en voie de développement. **Points forts :** ✓ Meilleure performance qu'un dry ✓ Non soumis à l'ICPE 2921 ✓ Consommation plus faible d'eau que la tour aéroréfrigérante, avec recyclage possible ✓ Maintenance faible **Points faibles :** • Système non réversible • Aéroréfrigérant adiabatique nécessairement à l'extérieur pour le évacuer la chaleur • Encombrant • Investissement plus élevé que les drys • effet de serre des fluides frigorigènes pouvant être jusqu'à 14 000 fois plus fort que le CO2	Installation d'aéroréfrigérants adiabatiques sur des bureaux, hopitaux, industrie, tour de bureaux, depuis février 2009. Puissance de 47kW à 711kW Hôpitaux de Saintes et de Suresnes BNP, Nanterre Bouygues Challenger, St Quentin Tour CARPE DIEM, La Défense Ministère de la Défense (pour le data center) Source : Jacir
7.5	Pompe à chaleur air/air	La PAC aérothermique de type air extérieur/air prélève l'énergie dans l'air extérieur. En hiver, elle prélève les calories de l'air extérieur pour les fournir à l'intérieur. En été, elle évacue les calories à l'extérieur. Les unités de condensation et d'évaporation sont intégrées dans le même appareil posé en toiture (ou en local technique) et relié par une gaine à la diffusion d'air du local à traiter. La PAC air/air est parfois appelée roof top quand elle fonctionne en tout air neuf sans recyclage. Elle joue le rôle de Centrale de traitement d'air (en alimentant en air neuf le local ; c'est une CTA au mieux 6 volets) avec une production d'énergie intégrée (PAC réversible)	 PAC réversible aérothermique (air/air) en toiture Source : Climaveneta ®	**Maturité :** En toiture ce système est souvent utilisé pour des locaux traités en tout air (l'air apporte l'air neuf hygiénique et les calories ou les frigories dans le local). **Points forts :** ✓ Energie renouvelable : Air extérieur ✓ Système réversible pouvant assurer le chaud et le froid ✓ Performances moyennes (EER3 ≈ 3), supérieures (jusqu'à 10) avec intégration d'un récupérateur énergétique (roue ou caloduc) ✓ Cout d'investissement globalement très avantageux	Beaucoup de salles de spectacle, musées, grandes salles sont traitées en tout air. La PAC air/air permet de réunir deux appareils en un. Centre culturel de Mouvaux, King Kong Architecture, – BET : ALTO Ingénierie Auditorium de Bordeaux Equipement associatif, évènementiel et sportif à Saint Louis, Manuelle Gautrand, –

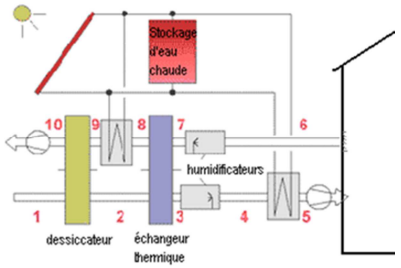
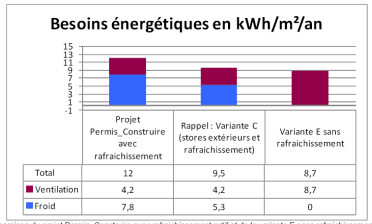
[3] EER : Energy Efficiency Ratio, ou rendement. Variable selon la température d'eau glacée produite et la température extérieure. Donné ici pour une température extrême de 35°C extérieure et une production d'eau glacée à 7°C. Variable également selon la taille des machines, donné ici pour des petites puissances (<200 kW).

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
			 PAC air/air fonctionnement été PCAA300LMR Source : THERECO/ ALTO Ingénierie	✓ Free cooling possible **Points faibles :** • Système bruyant • Besoin d'un débit d'air supérieurà celui de la seule ventilation hygiénique, donc des locaux techniques et des tailles de gaine plus importants • COP & EER plus faibles que ceux des autres PAC • Utilise de l'électricité d'origine non renouvelable • Ne fonctionne pas en mode thermofrigopompe (chaud et froid simultanément) • Encombrement en toiture plus important que celui d' une centrale de traitement d'air	BET : ALTO Ingénierie
7.6	Pompe à chaleur air/eau	La pompe à chaleur est un groupe de froid identique au point 1.1 mais a l'avantage d'être réversible en produisant soit de l'eau chaude soit de l'eau glacée pour le rafraichissement.	 PAC air/eau avec ventilateur. Source : AQUACIAT – CIAT	**Maturité :** Mature **Points forts :** ✓ Système réversible (thermofrigopompe) ✓ Investissement plus faible si besoin de froid et de chaud ne sont pas simultanés ✓ compacité **Points faibles :** • Système bruyant • Système bruyant • EER plus faible que les solutions géothermiques Utilise de l'électricité d'origine non renouvelable	Centre culturel de Saint Alban, King Kong Architectes, – BET : ALTO Ingénierie

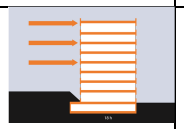
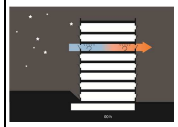
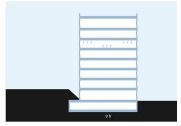
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
7.7	Climatiseurs multi-split ou VRV	Il s'agit d'une production de froid à détente directe. En effet, c'est directement le fluide frigorigène qui d'un côté refroidit le milieu intérieur (grâce à l'unité intérieure) et de l'autre évacue les calories sur le milieu extérieur (à travers l'unité extérieure). C'est donc un réseau de fluide frigorigène qui circule dans le bâtiment pour relier l'unité intérieure et l'unité extérieure.	 Unité extérieur détente directe Source : Audit ALTO Ingénierie	**Maturité :** Système très mature **Points forts :** ✓ Système assurant une température de consigne ✓ Système flexible par local ✓ Réversible ✓ Réseaux de faible encombrement, donc système bien adapté aux rénovations ✓ Système dits 3tubes permet la production simultanée de chaud et de froid et le transfert de chaleur d'une façade à refroidir à une façade à réchauffer **Points faibles :** • utilisation imposée des émetteurs fournis avec le système • maintenance suivie du fait de la présence de fluide frigorigène dans les espaces intérieurs • Possibilité d'utilisation contradictoire (chauffage dans une pièce à côté d'une pièce refroidie) • Bruyant • Quantité de fluide réfrigérant importante	Système de bureaux, d'habitation individuelle, d'habitation collective par appartement Bureaux Chatenay Appert Justice, BET : ALTO Ingénierie
7.8	Rafraichissement géothermique direct (« Géocooling »)	Cela correspond à un refroidissement de l'eau sans utilisation d'une machine thermodynamique (PAC). En effet, à la mi-saison, pour rafraîchir les locaux, les émetteurs (plafonds ou planchers rafraîchissants, poutres froides) peuvent être irrigués en eau fraiche, issue de l'échangeur de la nappe ou des sondes. La PAC n'est utilisée qu'en hiver pour le chauffage. Néanmoins, l'eau est rejetée dans la nappe ou le sol à une température peu élevée, de l'ordre de 22°C au plus, et l'on évacue donc nettement moins de calories qu'en utilisant un système thermodynamique. En conséquence cette solution est souvent utilisée dans les bâtiments qui ne sont que rafraîchis (et pas	 	**Maturité :** Mature (technique simple). **Points forts :** ✓ Dès qu'une solution de PAC sur nappe est envisagée, ce refroidissement « gratuit » permet de mieux valoriser l'énergie renouvelable de la nappe ou du sol ✓ Utilisation d'une énergie renouvelable (géothermie) ✓ Consommation limitée aux auxiliaires(pompe du puits/sondes et pompes secondaires) **Points faibles :**	ALTO SPHERE, Siège de ALTO Ingénierie : sondes géothermiques Médiathèque de Bourg-La-Reine, nappe phréatique, Pascal Guédot Architecte, – BET : ALTO Ingénierie

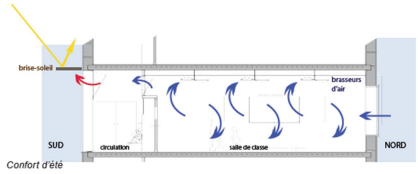
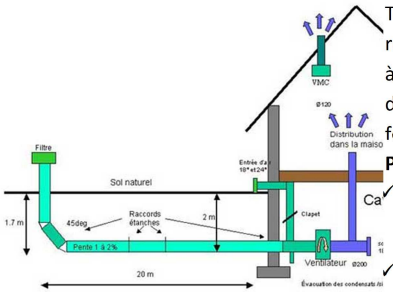
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
		climatisés), ou en mi-saison. La puissance obtenue avec les émetteurs fonctionnant à de tels niveaux de température est également limitée ; ils peuvent traiter des espaces aux apports limités comme des bureaux récents bien conçus, mais pas des espaces présentant de très forts apports internes. Cette solution est souvent mise en œuvre lorsqu'une PAC sur nappe ou sondes est mise en œuvre pour le chauffage et éventuellement le rafraichissement.		• Nécessite une nappe phréatique avec un débit satisfaisant ou un espace suffisant pour les sondes • Investissement pouvant être important, en particulier avec des sondes ; coût des forages sur nappe variable selon caractéristiques du site ; difficilement justifiable si la géothermie n'est pas aussi utilisée pour le chauffage. • Régime de température contraignant, • compatible uniquement avec des émetteurs adaptés, de grande surface • Puissance frigorifique limitée	
7.9	Pompe à chaleur eau/eau	La PAC eau/eau prélève ou évacue l'énergie vers un milieu naturel : • dans le sol • sur une nappe phréatique • sur l'eau des rivières Des études hydrogéologiques sont impératives afin de s'assurer du potentiel géothermique.	 Schéma de principe du fonctionnement en thermofrigopompe Source : ALTO Ingénierie	**Maturité :** Système mature, solution encouragée par l'ADEME et BRGM **Points forts :** ✓ Très bon rendement énergétique (systèmes plus performants que les systèmes utilisant l'air) ✓ Bilan carbone très satisfaisant ✓ Intégration aisée (pas d'équipements en toiture) ✓ Très peu de gêne acoustique ✓ Possibilité de produire simultanément du chaud et du froid, avec récupération d'énergie gratuite **Points faibles :** • Nécessite des émetteurs et un réseau adaptés au fonctionnement en basse température pour le chauffage • Investissement élevé • Applicable si terrain non construit ou si nappe peu profonde au droit du site • PAC sur sondes adaptée seulement pour des bâtiments petits ou moyens (<5000 m²) car nécessite une surface importante pour les sondes.	Théâtre des Célestins à Lyon – BET : ALTO Ingénierie Réseau du plateau de Saclay - – BET : ALTO Ingénierie Réseau de géothermie de l'écoquartier du Fort-Issy-les-Moulineaux http://www.cete-ouest.developpement-durable.gouv.fr/reseau-de-geothermie-de-l-a932.html

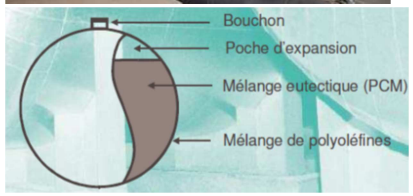
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
7.10	Réseau d'eau tempéré	Principe identique à la pompe à chaleur géothermique, sauf que la source d'énergie est un réseau d'eau récupérée.			Réseau de chaleur et de froid des bassins à flots, Bordeaux, Energies des bassins
7.11	Réseau de froid	Un réseau de froid urbain se compose d'une centrale de production de froid et d'un réseau de canalisations enterrées et isolées desservant plusieurs bâtiments, à l'échelle d'un quartier voire d'une ville. La production de froid peut se faire à partir de tous les systèmes définis plus haut. Toutefois, actuellement les centrales existantes fonctionnent principalement grâce à des groupes frigorifiques Au niveau du bâtiment, une sous-station comprenant un échangeur et des systèmes de régulation transfère l'énergie du réseau vers les bâtiments.	 Réseau de froid. Source : CETE OUEST	**Maturité :** Il existe 15 réseaux de froid en France en 2011. Ils ne cessent de se développer. (enquête SNCU 2013) **Points forts :** ✓ Intégration aisée au niveau du bâtiment ✓ Très peu de maintenance ✓ En général, bon rendement énergétique (EER ≈ 4 Variable selon le réseau) **Points faibles :** • Intéressant uniquement si le réseau passe à proximité du bâtiment • Coût de raccordement et de coût du MWh élevé	• Centrale de Trigénération du réseau de froid de Polygone, SERM Montpellier : Utilisant du gaz, elle valorise 76% de l'énergie en électricité, eau chaude et eau glacée. • Climespace, Paris : utilisation de 50% freecooling (refroidissement naturel par l'eau de la Seine) sans l'utilisation des compresseurs -> meilleure performance énergétique ***Source*** : • CETE Ouest- Fiche réseau de froid - 2010 • Note sur les réseaux de froid et la production de froid à partir de réseaux de chaleur, AMORCE, ADEME, 2008
7.12	climatisation par ab/adsorption	Un groupe de production de froid à sorption (absorption et adsorption) produit de l'eau glacée. Le cycle du fluide frigorigène est similaire à celui d'une climatisation électrique traditionnelle, mais Il faut une source de chaleur en remplacement du compresseur et un système d'évacuation de chaleur En général, il y a une bonne adéquation entre la production et le besoin (besoin de climatisation souvent corrélé avec l'ensoleillement) Actuellement les gains, principalement au niveau des consommations énergétiques, sont trop faibles pour compenser le surinvestissement.	 Schéma de principe d'une climatisation par ab/adsorption Source : ALTO Ingénierie	**Maturité :** Technologie encore peu répandue. Peu de retours d'expérience. Nombre de fournisseurs limité. **Points forts :** ✓ Si combiné à des panneaux solaires, énergie gratuite (soleil) donc réduction des consommations et des émissions de CO2 ✓ Peu de pièces mécaniques en mouvement ce qui réduit le bruit et allonge la durée de vie (estimée à 25 ans). ✓ Pas de fluide frigorigène polluant ✓ Utilisation possible d'excès de chaleur (rejets industriels, usines d'incinération d'ordures ménagères…) **Points faibles :** • Production dépendante de l'ensoleillement (nécessité d'un	L'Agence Internationale de l'Energie a recensé plus de 300 installations dans le monde. Gamme de puissance : en général <100kWf. On compte quelques installations autour de 200 à 250 kWf. Une installation de 700 kWf. (2008) Plusieurs installations ont été mises en place en France depuis 2003 notamment : • CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment Sophia-Antipolis • DIREN - DIrection Régionale de l'Environnement - Guadeloupe • GICB - Groupement

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
				complément par une production classique si l'on veut climatiser et pas seulement rafraîchir). • Rendement plus faible qu'un groupe froid électrique • Surface de panneaux solaires importante (si chaleur solaire) • Nécessité d'évacuer de fortes quantités de chaleur, à un niveau de température bas >Recours en général aux tours de refroidissement compte tenu des régimes de fonctionnement, d'exploitation lourde en raison du risque de légionellose • Nécessité d'un suivi adéquat de l'installation • Coût d'investissement élevé	Interproducteurs Collioure Banyuls - Banyuls sur mer • Villefontaine (PAC gaz) – ALTO Ingénierie ***Source*** : Formation TECSOL Rapport Hespul sur le froid solaire Guide Climasol IEA task 38
7.13	Desiccant Evaporative Cooling (DEC) ou Rafraichissement adiabatique par air	Les installations de rafraîchissement évaporatif par dessiccation produisent directement de l'air frais, contrairement aux groupes frigorifiques à compression mécanique, à absorption ou à adsorption qui eux refroidissent un fluide intermédiaire. L'air est directement traité (refroidissement, déshumidification) en fonction des conditions de confort souhaitées. Le «réfrigérant » est toujours de l'eau, puisqu'il est en contact direct avec l'air à refroidir. Les systèmes les plus répandus utilisent une roue à dessiccation rotative. Ils sont couramment appelés systèmes de « desiccant cooling ». Le système nécessite une source de chaleur	 Schéma de principe DEC avec une source solaire	**Idem point 1.11 avec en complément :** **Points forts :** ✓ Niveaux de température faibles adaptés à un climat moins ensoleillé ou l'utilisation de capteurs plans **Points faibles** • Consommation d'eau plus importante	Projets: COOLEA : industrie principalement et tertiaire. **COLT : dans l'industrie** principalement rafraichissement adiabatique combiné avec de la ventilation naturelle (réduction de 10°C de la température intérieure observée). **Source :** **http://conseils.xpair.com/consulter_parole_expert/refroidissement-air-adiabatique-confort-ete-sans-clim.htm**
7.14	Ventilation nocturne Surventilation	Freecoooliong est du froid « gratuit » lorsqu'il fait plus frais dehors qu'à l'intérieur du bâtiment. La ventilation nocturne est l'utilisation du système de ventilation du bâtiment en nocturne en mode freecooling. La surventilation permet en surdimensionnant les équipements d'augmenter les performances du freeecooling.	 Comparaison du projet Permis_Construire avec rafraichissement actif et de la variante E sans rafraichissement actif Autres postes de consommation du §5.1 inchangés	**Maturité :** Les centrales de traitement d'air sont un système de ventilation d'air neuf hygiénique. Très mature **Points forts :** • Pas de surcoût d'investissement et utilisation d'un équipement existant dans le cas de la ventilation nocturne	En rénovation, il est intéressant de mettre en œuvre ces systèmes mais la disposition existante des centrales conditionne souvent l'installation.

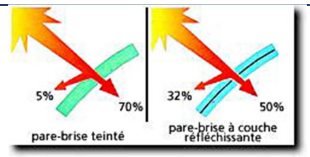
	Projet Permis_Construire avec rafraichissement	Rappel : Variante C (stores extérieurs et rafraichissement)	Variante E sans rafraichissement
Total	12	9,5	8,7
Ventilation	4,2	4,2	8,7
Froid	7,8	5,3	0

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
			Projet neuf. Bâtiment de bureaux en région parisienne. Variante E = surventilation diurne + surventilation nocturne + stores vénitiens, aucun rafraîchissement. On observe que les consommations ventilation + froid passent de 12 kWh/m²/an à 8,7 kWh/m²/an, soit une diminution de 3 kWh/m²/an par rapport à une consommation totale de 68 kWh/m²/an. Source : Alto Ingénierie.	• Diminution des consommations de rafraichissement • Permet d'éviter la climatisation des locaux **Points faibles :** • Surconsommation des ventilateurs hors des horaires et avec des débits plus importants • bilan environnemental reste mitigé (cf point précédent) • Surcoût induit par le surdimensionnement des gaines et équipements de ventilation pour la sur-ventilation	
7.15	Ventilation naturelle	Ouverture manuelle ou automatisée d'ouvrant sur l'extérieur. Cela permet de dissiper les surchauffes en exploitant les gradients de température entre les températures extérieure et intérieure. La pression du vent et la canalisation des flux d'air peuvent aussi évacuer l'air surchauffé d'un bâtiment. En théorie, ce système est applicable dans tous les cas. Toutefois, une attention particulière doit être portée aux problématiques de bruit, d'anti-intrusion et de confidentialité dans les bureaux.	A 18h, la structure du bâtiment a accumulé la chaleur provenant des apports internes et des apports solaires    Nuit : Pour évacuer les calories emmagasinées la journée, une ventilation naturelle nocturne permet de stocker la fraîcheur nocturne dans les dalles et les murs. Ce dispositif est de préférence assuré par des ouvrants asservis à la GTB. Matin : Le stockage de la fraîcheur nocturne dans le bâtiment permet de retarder la hausse des températures. Cela permet ainsi de réduire les consommations de rafraichissement du bâtiment tout en conservant un bon niveau de confort pour les usagers *Source* : MRVDV – Alto Ingénierie	**Maturité :** **Points forts :** • Diminue les consommations d'énergie liées au rafraîchissement • N'induit pas de consommations complémentaires • Surcoût limité **Points faibles :** • Surface d'ouverture très importante pour assurer une ventilation naturelle efficace sur les salles avec beaucoup d'apport (type salle de conférence/polyvalente) • Plus efficace sur une double exposition • Coût élevé d'une solution motorisée	Ecole du Centre de Pantin, 0 énergies, Méandre, ALTO ingénierie, 2007 Groupe Scolaire 0 énergies, 0 carbone, 0 déchet nucléaire de Montreuil, Méandre, ALTO ingénierie, 2011 Ensemble immobilier mixte espace santé, logements, plan campus à Pessac, ALTO ingénierie, 2010

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
7.16	Brasseur d'air	Les brasseurs d'air (ventilateurs plafonniers) à longues pales profilées permettent de mettre en mouvement des quantités d'air importantes, à faible vitesse. Ils augmentent ainsi le confort des personnes lors de fortes chaleurs en facilitant les mécanismes d'évapotranspiration. Attention par contre à choisir un équipement dont la performance est certifiée Energy Star	 Source : ALTO ingénierie : Groupe Scolaire 0 énergies, 0 carbone, 0 déchet nucléaire de Montreuil, 2011	**Maturité :** Technologie mature **Points forts :** ✓ Permet d'éviter des systèmes de production de froid ✓ Faible vitesse d'air ne créant pas d'inconfort (pas de jet d'air) **Points faibles :** • Consommation électrique	Bureaux de poste, Cahier des charges développement durable, POSTE Immo, ALTO Ingénierie ***Source*** : ADEME : Cahier pratique : améliorer le confort d'été dans les établissements pour personnes âgées et handicapées
7.17	Puits climatiques (puits provençal)	Puits climatiques (puits provençal)	Un puits est un réseau aéraulique où circule de l'air provenant de l'extérieur en direction de l'intérieur, ce réseau forme un serpentin sous la surface du sol, il agit comme un échangeur et peut ainsi réchauffer ou refroidir l'air extérieur de 3 à 5 degrés environ, et permettre de faire des économies d'énergies. On parle souvent de puits canadien (ce qui désigne plutôt un puits climatique utilisé pour préchauffer l'air normalement) ou de puits provençal. Ce système s'applique aux maisons individuelles, aux petits bâtiments voire aux bâtiments de moyenne taille disposant d'un terrain suffisamment grand.	 Source : http://energies-renouvelables-herault.com/img/photos/zoom/puits_canal_1.jpg	**Maturité :** Technologie encore peu répandue (300 à 400 en Europe à ce jour). Peu de retours d'expérience. Nombre de fournisseurs limité **Points forts :** ✓ Energie gratuite du sol permettant de rafraîchir l'ambiance en été. ✓ Enfouissement de canalisations dans le sol : système simple. ✓ Peut permettre d'envisager de se passer de système de climatisation ✓ Durée de vie importante ✓ Impact sur les coûts de fonctionnement négligeable **Points faibles :** • L'énergie disponible est une résultante du fonctionnement antérieur du système : risque d'appauvrissement, … • Pour des débits importants, les ouvrages sont très encombrants • Ce système ne peut pas garantir une température intérieure • Risque hygiénique

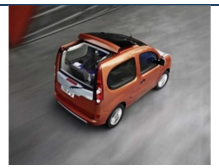
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/Sources
					• Système cher pour son efficacité énergétique inférieur à d'autre système (comme la récupération énergétique sur centrale de traitement d'air)
7.18	Stockage de froid	Le stockage de glace consiste à stocker sous forme de glace ou d'eau glacée en période généralement nocturne pour être réutilisée en période diurne sans faire fonctionner les groupes de froid. Le stockage thermique est réalisé dans des cuves avec des échangeurs. Alternativement, différentes techniques utilisant des matériaux à changement de phase ont été développées. Le stockage permet de faire basculer la consommation électrique des groupes frigorifiques des périodes de pointe, où elle est la plus chère, vers celles où elle est meilleur marché. C'est un stockage à court terme. Particulièrement intéressant pour des bâtiments ayant une forte demande de froid sur des périodes limitées..	  Vue des cuves de stockage de l'hôpital de Valenciennes – opération de rénovation + extension neuve (source Enerzine) et coupe du nodule de Cristopia (source : présentation Critopia Energy systems)	**Maturité :** Maitrisé, principalement sur des grands ensembles (réseau ou industriel) avec des grands besoins de froid Aux USA, stockage sur les toitures des immeubles de bureaux de plus en plus généralisé. **Points forts :** ✓ Réduction de 30 à 70% de la puissance des groupes froid et des systèmes de refroidissement ✓ Ecrêtage de la demande d'énergie • Réduction de la consommation électrique durant les heures de pointe où elle est la plus coûteuse et la plus polluante ✓ Donc réduction des émissions de CO2 ✓ réduction des coûts de maintenance Lissage des puissances appelées permettant un fonctionnement des appareils à charge constantes **Points faibles :** • Peut engendrer des volumes de stockage importants très rapidement • Coût d'investissement du stockage (+ surfaces nécessaires) • Travail à température négative qui nécessite l'utilisation d glycol et qui dégrade le rendement	projet PREMIO : 1 système sur 1 site tertiaire à Gardanne (bureaux), besoins frigorifiques maximum 350kW, Puissance du groupe frigorifique 190kW, volume de stockage 20m3, énergie journalière stockée 1 100kWh A la Défense, le concessionnaire du réseau thermique (Enertherm) exploite un système de stockage de froid (6 piscines) d'une capacité de 240 MWh. Fabricant : Baltimore Aircoil. Le Palais des congrès de Paris a pu réduire de 15% de sa facture d'électricité grâce à ce système. Source : http://www.kaplan-energy.com/ http://www.cristopia.com/ http://www.enertherm.fr/energie-thermodynamique/la-production-distribution-de-froid

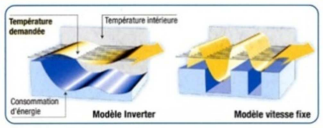
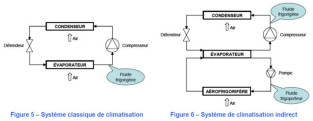
Transports

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/ Sources
I - VEHICULES					
1 – Couverture végétale		***Cf. techniques proposées en Urbanisme***			
2 – Surface en eau		***Cf. techniques proposées en Urbanisme***			
3 – Surface d'ombrage					
3.1	Zones de stationnement abritées par ombrières ou végétalisées	L'installation de protections solaires sur les zones de stationnement permet de réduire les apports solaires sur les véhicules stationnés. Elle permet de réduire fortement la température des voitures à l'arrêt : une voiture ombragée par la végétation a une température d'environ 7 °C inférieure à une voiture garée au soleil.	 http://www.greenunivers.com/	**Maturité :** Cette technologie connue est déjà appliquée en France **Point fort :** Cette technologie peut facilement être mise en place par les collectivités, pour un coût réduit. Elle peut être combinée à une production photovoltaïque. Elle est particulièrement adaptée aux régions ensoleillées. **Point faible :** Mise en place onéreuse (par rapport à aucune protection)	Plusieurs exemples en France : - Ombrières en panneaux photovoltaïques sur le parking de l'usine Renault Cléon (Seine Maritime) : 2350 places de parking du personnel, puissance totale de 5 MWc - Ombrières du parking du Centre Commercial E Leclerc Saint Aunés (proche Montpellier)… Sources : Dispositifs rafraichissement état de l'art - TECSOL ADEME http://outilssolaires.com/ Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains, Institut National de Santé Publique du Québec
4 – Matériaux à propriétés thermiques plus adaptés					
4.1	Vitrages athermiques	Les vitrages athermiques sont des vitrages réfléchissants permettant de limiter les apports d'infrarouge. Cette technologie permet de réduire les apports solaires : 33% du rayonnement énergétique est réfléchi au lieu de 8% pour les verres clairs.	 http://www.auto-innovations.com/site/glossaire/gconfort-aq.html	**Maturité :** Au stade de prototype **Point fort :** Cette technique permet à un coût d'investissement relativement limité, de réduire les apports externes et ainsi de limiter les besoins de climatisation. **Point faible :** La capacité d'action des collectivités est faible. La performance énergétique reste à chiffrer.	Le TER solaire Poitou Charentes a des vitrages athermiques, de même que le véhicule démonstrateur VEGA THOP de Renault/Valeo/Saint Gobain Source : La climatisation des autobus - Laurent Gagnepain - Oct2007 http://www.transbus.org/dossiers/climatisation.html http://www.autobiz.fr/technique/confort/55_vitres-athermiques.html

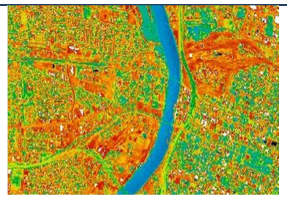
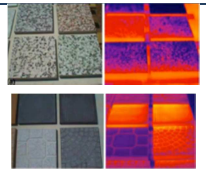
Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/ Sources
I - VEHICULES					
4.2	**Vitrages intelligents**	Les vitrages intelligents sont des vitrages à propriétés optiques réversibles : la réflexion des vitrages est capable d'évoluer avec le contexte.	http://radium.net.espci.fr/esp/CONF/2008/C08_09/conf09_2008.htm	**Maturité :** Cette technique est au stade de prototype. **Point fort :** Cette technologie permet d'adapter le véhicule au contexte environnemental du véhicule. **Point faible :** Cette technologie n'est pas mature et a un coût d'investissement important par rapport à d'autres technologies plus simples telles que les vitres athermiques.	Source : Dispositifs rafraichissement état de l'art - TECSOL ADEME http://www.ardi-rhonealpes.fr/c/document_library/get_file?uuid=5ec8af4a-cce5-4a31-a192-fd2053c20a17&groupId=10136
4.3	**Matériaux et couleurs**	Il s'agit de choisir des couleurs claires et réfléchissantes sur les parois et l'intérieur des véhicules pour limiter le réchauffement du véhicule par apports externes.	http://www.voitureelectrique.net/economies-denergies-des-couleurs-plus-claires-pour-les-voitures-3642	**Maturité :** Cette technique est mature et diffusée. **Point fort :** Ce dispositif ne représente pas un surcoût à l'investissement ou au fonctionnement. **Point faible :** La capacité d'action des collectivités sur cette technique est faible.	Source : Dispositifs rafraichissement état de l'art - TECSOL ADEME http://www.voitureelectrique.net/economies-denergies-des-couleurs-plus-claires-pour-les-voitures-3642 http://www.energie-environnement.ch/transports-et-mobilite/voiture/431
4.4	**Isolation de l'habitacle**	Il s'agit d'isoler l'intérieur de l'habitacle pour réduire les apports externes. Des isolants en aluminium avec des cellules vides en nids d'abeille, emprisonnant de l'air ou des gaz rares (xénon, krypton, argon), peuvent être utilisés.	http://www.webcarcenter.com/dossier/evenements/salon/mondial-automobile/2008/concepts/print/gtbycitroen.html	Maturité : Cette technologie est au stade de prototype. Point fort : Réduit la nécessité de climatiser Point faible : Cette technologie représente un investissement initial relativement important par rapport aux techniques décrites dans ce catalogue. Par ailleurs la voiture est plus lourde donc consomme plus, d'où des émissions de GES plus importantes.	Un exemple d'application est le prototype Ford Taurus développé en 1999 par l'université de Berkeley .La Renault ZE Concept possède une peinture athermique, ainsi qu'une carrosserie isolante. Source : Dispositifs rafraichissement état de l'art - TECSOL ADEME http://www.senat.fr/rap/r05-125/r05-12511.html http://www.webcarcenter.com/dossier/evenements/salon/mondial-automobile/2008/concepts/print/gtbycitroen.html http://via3.at/UserFiles/Image/automotivesummit/Valeo%20Systemes%20Thermiques%20%20sas_%20Daniel%20Neveu.pdf

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/ Sources
I - VEHICULES					
5 – Source de chaleur anthropique					
5.1	**Utilisation des énergies disponibles pour réduire les consommations de climatisation : énergie de freinage**	La récupération de l'énergie de freinage permet de d'éviter le réchauffement par frottements, et donc de limiter le réchauffement de l'intérieur des véhicules (rames de métro par exemple). L'énergie récupérée peut être renvoyée sur le réseau électrique ou être consommée pour l'accélération d'autres trains par exemple.	http://www.ratp.fr/fr/upload/docs/application/pdf/2011-02/dp_mi09.pdf	**Maturité :** Ce système est mature et déjà utilisée pour les transports en commun. **Point fort :** Cette technique a l'avantage de réduire les apports internes en récupérant l'énergie, qui peut ainsi être utilisée pour d'autres usages. Cela permet donc en parallèle de réaliser des économies d'énergie sur d'autres postes.	Les rames de métro MF01 d'Alstom sont pas exemple équipées de ce type de système. Source : Dispositifs rafraichissement état de l'art - TECSOL ADEME http://www.alstom.com/press-centre/fr/2011/7/La-RATP-commande-66-rames-pour-le-metro-de-Paris/ http://www.tickettokyoto.eu/fr/2-investir-dans-les-infrastructures-pour-r%C3%A9duirebr-les-%C3%A9missions-de-cosub2sub http://www.bombardier.fr/fr/transport/durabilite/technologie/systeme-de-stockage-de-l-energie-en-bordure-de-voie-energstor?docID=0901260d80130620
6 – Dispositions organisationnelles					
6.1	Fonction éco-mode: limitation automatique de l'utilisation de la climatisation	La fonction éco-mode permet de limiter de façon automatique l'utilisation de climatisation pour réduire les consommations énergétiques. Il s'agit d'un système de gestion ajoutée au système classique de pilotage de la climatisation.	http://www.casa-infos.fr/sites/files/documents/pages/envinet/clim_auto.pdf	**Maturité :** Ce système est mature et déjà utilisée dans certaines voitures. **Point fort :** Cette technologie est peu chère à l'investissement et permet de réduire l'utilisation de climatisation sans faire appel à des changements de comportement des usagers.	La Renault Fluence possède ce type de système, qui permet de limiter la consommation de la climatisation et ainsi d'augmenter l'autonomie du véhicule. Source:http://www.renault.com/fr/vehicules/aujourd-hui/renault-vehicules-electriques/pages/fluence-ze.aspx http://www.casa-infos.fr/sites/files/documents/pages/envinet/clim_auto.pdf
6.2	Commande climatisation manuelle et non automatique	Il s'agit de favoriser l'utilisation manuelle de la climatisation plutôt qu'en mode automatique. Pour cela, l'usager peut prendre le contrôle de la climatisation.	http://www.casa-infos.fr/sites/files/documents/pages/e	**Maturité :** Ce système manuel est déjà en place dans tous les véhicules. **Point fort :** Il s'agit d'un dispositif mature et sans cout d'investissement supplémentaire. Ce dispositif nécessite une sensibilisation des	Les systèmes de climatisation de tous les véhicules peuvent fonctionner en mode manuel Source : http://www.casa-infos.fr/sites/files/documents/pages/envinet/clim_auto.pdf

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/ Sources
I - VEHICULES					
			nvinet/clim_auto.pdf	usagers.	
6.3	Free cooling au niveau des véhicules, par ventilation mécanique ou naturelle	Il s'agit de faciliter la ventilation (naturelle ou mécanique) afin de réduire l'utilisation de climatisation. Elle peut se faire par des moyens mécaniques (utilisation de la vitesse des véhicules par exemple) ou naturelle (ouverture des fenêtres).	 http://www.automobile-magazine.fr/essais/renault/renault_kangoo_be_bop_1_5_dci_105_fun/(galerie) //(media)/photo/(photo)/26577	**Maturité :** Ce système est mature et utilisé sur tous les véhicules. **Point fort :** Ce dispositif peut être mis en place pour un coût d'investissement faible. **Point faible :** Le principal inconvénient de ce dispositif est le bruit qu'il génère, en particulier pour la ventilation naturelle (ouverture des fenêtres). Il ne permet pas de garantir un niveau de température	La ventilation naturelle peut être utilisée sur plupart des véhicules. Source : http://www.casa-infos.fr/sites/files/documents/pages/envinet/clim_auto.pdf
7 - Autres techniques de rafraichissement					
7.1	**Rafraichissement adiabatique évaporatif**	Il s'agit de mettre en place des systèmes de rafraichissement par humidification de l'air. L'évaporation d'eau permet de réduire la température du local ou du véhicule.	http://green-westafrica.com/solutions/climatisation-basse-consommation/solutions-fixes/	**Maturité :** Ce système est à l'état de prototype en système embarqué, et est utilisé dans certains bâtiments de transport (en tests en France) **Point faible :** Il ne permet pas de garantir un niveau de température pour de trop fortes températures extérieures.	Des tests ont été mis en place par la RATP de solutions de ventilation adiabatique pour ses locaux (au niveau des locaux techniques de la station Bastille) Source : Dispositifs rafraichissement état de l'art - TECSOL ADEME http://www.ratp.fr/fr/ratp/c_5083/economies-d-energie http://www.coolea.fr/rep-edito/ido-52/la_ratp_teste_la_ventilation_adiabatique.html http://www.tickettokyoto.eu/sites/default/files/pdfs/RATP_adiabatique_NEWS_fev_2011.pdf
7.2	**Amélioration de la distribution d'air intérieur : Efficacité de la diffusion de l'air frais**	L'homogénéisation de la température intérieure est nécessaire pour garantir le confort optimal de tous les usagers : assis, debout, en haut et en bas). Cela permet de réduire la puissance frigorifique.	Démonstrateur n°2 - Diffusion d'air par système d'éjection d'air et déplacement Etude de la climatisation d'autobus RATP, PREDIT	**Maturité :** Ce système est en prototype pour les bus. **Point fort :** Il permet, à faible coût d'investissement supplémentaire, d'améliorer l'efficacité de la climatisation.	Un système prototype de distribution d'air vers les passagers développé par l'Ecole des Mines de Paris avec le soutien de la RATP et l'ADEME et installé sur un bus exploité. La climatisation de la GS Lexus ne rafraichit que les sièges occupés. Source : La climatisation des autobus - Laurent Gagnepain - Oct2007 Dispositifs rafraichissement état de l'art - TECSOL ADEME

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/ Sources
I - VEHICULES					
					http://www.lexus.fr/car-models/gs/million-mile-test-drive/index.tmex
7.3	**Recirculation d'air habitacle**	Le recyclage de l'air intérieur permet, en période chaude, de réduire les besoins de consommation : la température de l'air recyclé étant inférieure à l'air extérieur, le besoin de rafraichissement est moindre.		**Maturité :** Ce système est mature. Il est déjà mis en place dans la plupart des véhicules. **Point fort :** Ce système permet à moindre coût de réduire les consommations de climatisation. **Point faible :** Ce système n'est pas systématiquement utilisé par les usagers.	Le véhicule démonstrateur VEGA THOP (Renault/Valeo/saint Gobain) prévoit d'intégrer ce type de système, en utilisant jusqu'à 80% d'air recyclé. Source : La climatisation des autobus - Laurent Gagnepain - Oct2007 Mi parcours du predit 4 http://via3.at/UserFiles/Image/automotivesummit/Valeo%20Systemes%20Thermiques%20%20sas_%20Daniel%20Neveu.pdf
7.4	**Technologie ECG : Optimisation du fonctionnement du groupe froid**	Il s'agit d'un système de pilotage du circuit de climatisation pour court-circuiter le compresseur lors des phases de forte demande de puissance mécanique (fortes accélérations, côtes…).	 http://www.ecg-habitat.fr/climatisation/systeme-inverter/	**Maturité :** Ce système est un prototype. **Point fort :** Il représente un investissement supplémentaire à un système de climatisation classique. **Point faible :** Ce système n'est pas mature. Les économies d'énergie sont faibles en saison chaude (les écarts de consommation n'étant pas significatifs). Par contre, en mi-saison, un différentiel de 10% est apparu pour les bus équipés du système sans dégradation du confort intérieur.	2 autobus à Nice (Veolia Transports - ADEME) ont été équipés de ce système en 2004 pour test. La société Hispacold France a effectué un autre test avec la RATP et l'ADEME. Source : La climatisation des autobus - Laurent Gagnepain - Oct2007
7.5	**Boucle indirecte de rafraichissement (par fluide frigoporteur)**	Une double boucle de rafraichissement permet de limiter les quantités de fluides frigorigènes embarquées, et ainsi de réduire les fuites associées aux fluides frigorigènes des circuits de climatisation.	 La climatisation des autobus, Impacts consommation et pollution, L. Gagnepain, Oct 2007	**Maturité :** Ce système est à l'étude. **Point fort :** Il permettrait des économies importantes de fluides frigorigènes pour les bus et cars.	Source : La climatisation des autobus - Laurent Gagnepain - Oct2007 Mi parcours du predit 4

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/ Sources
I - VEHICULES					
7.6	Boucle de régulation sur la température intérieure : réglage de la température intérieure de consigne	Il s'agit de favoriser un réglage adéquat de la température de consigne en fonction des besoins. Ainsi la température doit être réglée par rapport à la température extérieure (-5°C maximum à partir de 31°C)		**Maturité :** Ce système est mature. **Point fort :** Ce système permet de réduire le coût de fonctionnement de la climatisation pour un niveau de confort acceptable et sans coût d'investissement supplémentaire.	Source : La climatisation des autobus - Laurent Gagnepain - Oct2007
7.7	**Substitution du fluide frigorigène R134a par R 1234yf ou CO2**	Il s'agit d'utiliser un fluide frigorigène à moindre PRG sur les systèmes de climatisation.	 http://sandyblogs.com/techconnect_french/?p=147	**Maturité :** Ce système est à l'état de prototype pour l'utilisation de CO2 comme fluide frigorigène (pressions de fonctionnement très élevées). **Point fort:** Le CO2 utilisé est une ressource peu chère, abondante et non polluante. : il peut être capté et recyclé au niveau des usines émettrices. **Point faible :** Le fluide R1234yf pose des problèmes de sécurité (inflammabilité).	Des prototypes ont été mis en place par Valeo et Delphi system. Source : Dispositifs rafraichissement état de l'art - TECSOL ADEME http://europeecologie.eu/Gaz-frigorigene-mortel-HFO-1234yf http://www.journaldelenvironnement.net/article/le-co2-remplace-les-hfc-dans-la-climatisation-auto,10620 http://www.france-mobilite-electrique.org/le-co2-pour-climatiser-sa-voiture-electrique,2900.html
7.8	**Sièges rafraichissants**	Il s'agit d'utiliser des systèmes de rafraichissement localisés de type sièges rafraichissants. Ces sièges ou sur-sièges sont connectés à une alimentation électrique.	 http://www.ec-promos.com/1bcatalogs/cn1b/sc30c/heating-cooling-car-seat-cushi_1.html	**Maturité :** Ce système en « sur-siège » est mature. **Point faible :** Le confort permis par ce type de dispositif (froid en contact) n'est pas évident.	Le véhicule démonstrateur VEGA THOP (Renault/Valeo/saint Gobain) prévoit d'intégrer ce type de système. Source : Mi parcours du predit 4 http://via3.at/UserFiles/Image/automotivesummit/Valeo%20Systemes%20Thermiques%20%20sas_%20Daniel%20Neveu.pdf
7.9	**Autres techniques de rafraichissement des bâtiments de transport (gares, aéroports…)**	Voir dans la catégorie bâtiments, on peut citer : • Ventilation naturelle • Isolement du bâti • Free-cooling *Pour plus d'informations, se référer aux techniques de la section Bâtiments.*		*Pour plus d'informations, se référer aux techniques de la section Bâtiments.*	*Pour plus d'informations, se référer aux techniques de la section Bâtiments.*

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/ Sources
I - VILLE					
1 – Couverture végétale					
1.1	Végétalisation des axes de transport	Il s'agit de mettre en place une végétalisation des axes de transport (mails, avenues, lignes ferroviaires, plantations d'alignement…). La végétalisation crée de la fraicheur de plusieurs façons : d'abord, elle fait de l'ombre, l'été, sur les bâtiments. Ensuite, les plantes rejettent de l'eau dans l'air par évaporation. Enfin, la végétation diminue les écarts de température au sol. *Pour plus d'informations, se référer à la technique 1.1.1 de la section Environnement Urbain.*		*Se référer à la technique 1.1.1 de la section Environnement Urbain.*	*Se référer à la technique 1.1.1 de la section Environnement Urbain.*
2 – Surface en eau		***Cf. techniques proposées en Urbanisme***			
3 – Surface d'ombrage					
4.5	**Albédo et émissivité globale**	Il s'agit de limiter la part foncée de surface foncée à faible albédo sur les routes, en augmentant le couvert végétal, en choisissant des pigments de couleur claire car la couleur agit sur la réflectivité des surfaces concernées… *Pour plus d'informations, se référer à la technique 4.1 de la section Environnement Urbain.*	 NASA/Marshall Space Flight Center and Global Hydrology and Climate Center	*Se référer à la technique 4.1 de la section Environnement Urbain.*	*Se référer à la technique 4.1 de la section Environnement Urbain.*
4.6	**Matériaux à fort albédo**	Il s'agit d'améliorer l'albédo des surfaces minéralisées existantes. Ces techniques peuvent être en particulier appliquées pour la voirie et les espaces publics. *Pour plus d'informations, se référer à la technique 4.2 de la section Environnement Urbain.*	 Doulos, L; Santamouris, M; Livada, I; passive cooling of urban spaces. The role of materials solar energy, 2004	*Se référer à la technique 4.2 de la section Environnement Urbain.*	*Se référer à la technique 4.2 de la section Environnement Urbain.*

Num	Technique	Descriptif	Illustration	Points clefs	Exemples/ Sources
I - VILLE					
4.7	Matériaux perméables	Choix de matériaux perméables permet d'humidifier les surfaces minéralisées et parfois de végétaliser a minima ces surfaces. De plus, Les matériaux à bas albédo sont, de plus, généralement imperméables et ne participent pas à une gestion durable des eaux pluviales. *Pour plus d'informations, se référer à la technique 4.3 de la section Environnement Urbain.*	 aura-architectes.com	*Se référer à la technique 4.3 de la section Environnement Urbain.*	*Se référer à la technique 4.3 de la section Environnement Urbain.*
5 – Source de chaleur anthropique					
5.2	**Sensibilisation aux modes de transport doux**	Sensibilisation des usagers aux modes de transport doux : vélos, véhicules électriques… La circulation automobile amplifie localement le réchauffement diurne et ralentit le refroidissement nocturne, elle participe ainsi à la surchauffe des villes en rejetant de la chaleur (véhicule électrique inclus) et de la pollution (hors véhicule électrique). *Pour plus d'informations, se référer à la technique 5.1 de la section Environnement Urbain.*		*Se référer à la technique 5.1 de la section Environnement Urbain.*	*Se référer à la technique 5.1 de la section Environnement Urbain.*

3. ELEMENTS DE METHODE POUR LE CHOIX DE DISPOSITIFS DE RAFRAICHISSEMENT

Il s'agit dans cette partie de présenter des éléments de méthode pouvant aider une collectivité à mettre en place des systèmes de rafraichissement « optimisés » (c'est-à-dire à moindre impact, en termes de consommation d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre). Il s'agit d'aiguiller les collectivités vers les méthodes et outils qu'elles peuvent mobiliser pour s'orienter vers des solutions pertinentes dans leur contexte territorial propre, et pour éclairer leur connaissance du territoire en utilisant les ressources et les compétences dont elles disposent.

La séquence de choix proposée ci-dessous, en trois temps, fait l'objet de développements dans les parties suivantes.

Le schéma ci-dessous présente ainsi les différentes phases de ce cheminement :

Figure 1: Schéma du cheminement à suivre par les collectivités pour mettre en place des dispositifs de rafraichissement à faible impact climatique

3.1 IDENTIFIER LES ENJEUX DE RAFRAICHISSEMENT SUR LE TERRITOIRE

Face au changement climatique induisant des risques d'augmentation des températures ainsi que des occurrences de vagues de chaleur, il est nécessaire pour les collectivités de mettre en place les stratégies adaptées pour réduire ces risques.

Afin d'identifier les dispositifs pertinents sur leur territoire, il est nécessaire pour les collectivités d'adopter une approche à l'échelle « macro », avant de passer à une approche plus spécifique sur les projets envisagés. Plusieurs outils de compréhension des enjeux territoriaux peuvent être utilisés.

Parmi ceux-ci, le diagnostic des vulnérabilités du territoire au changement climatique permet aux collectivités de couvrir l'ensemble des problématiques auxquelles elles risquent d'être confrontées dans les années à venir, afin de s'adapter et d'atténuer ces risques. Plus particulièrement concernant le rafraichissement, il s'agit d'identifier :

- les aléas que risquent de rencontrer le territoire, ayant un impact sur les besoins de rafraichissement (augmentation des températures, occurrences des vagues de chaleur…)
- les secteurs sur lesquels ces aléas pourraient s'avérer les plus problématiques, en fonction du contexte territorial: forte présence de personnes âgées, enfants en bas âge etc…
- les zones géographiques sur lesquels ces aléas pourraient s'avérer les plus problématiques
- les contraintes du territoire (artificialisation des sols, faibles ressources en eau…) qui limiteront les réponses possibles aux besoins.

Impact'Climat

Impact'Climat s'adresse aux personnes en charge de l'animation interne de la démarche du Plan Climat Energie Territorial. Il s'agit d'une démarche de prédiagnostic des impacts du changement climatique sur un territoire. Ce prédiagnostic permetà une collectivité d'aborder le sujet du changement climatique, en facilitant la prise de conscience et le dialogue autour de ce sujet. L'outil fournit un cadre permettant de structurer la réflexion et d'identifier les domaines où la collectivité devra agir en priorité[4].

Il permet en particulier aux collectivités de choisir les thèmes qu'elles souhaitent aborder plus spécifiquement : gestion de l'approvisionnement en eau, santé, secteurs économiques, milieux naturels…

Pour plus d'informations : Outil de pré-diagnostic de l'impact du changement climatique sur un territoire, Guide utilisateur, ADEME

Cet exercice doit être réalisé au niveau d'un territoire ou du champ de compétences d'une collectivité, car il s'agit d'une démarche locale prenant en compte les spécificités propres au territoire : sensibilité des personnes présentes sur le territoire (personnes âgées, jeunes enfants…), urbanisation du territoire… L'identification de ces enjeux permet ainsi à la collectivité d'orienter ses travaux sur le rafraichissement vers les secteurs les plus vulnérables et les plus en besoin de solutions

[4] Outil de pré-diagnostic de l'impact du changement climatique sur un territoire, Guide utilisateur, ADEME

En complément de cette démarche, certaines collectivités peuvent mener un exercice à une échelle plus fine, afin d'identifier les problématiques d'îlots de chaleur urbains : l'analyse du climat permet en effet d'identifier les enjeux territoriaux dans le *contexte actuel* (météorologique, démographique…). La cartographie des îlots de chaleur urbains permet en particulier d'identifier les zones urbaines sur lesquelles une politique de rafraichissement à faible impact climatique est particulièrement nécessaire. Les zones d'îlot de chaleur urbain sont la conséquence des apports de chaleur naturels et anthropiques et des conditions climatiques et météorologiques des espaces. [5]

Parmi les outils de cartographie des îlots de chaleur urbain, l'outil TEB (Town Energy Balance) permet de modéliser les interactions entre l'activité d'une zone urbaine et le climat local. Couplé au modèle atmosphérique MesoNH, il permet de reproduire la météorologie locale induite par la ville et permet ainsi de réaliser des études d'îlots de chaleur.[6]

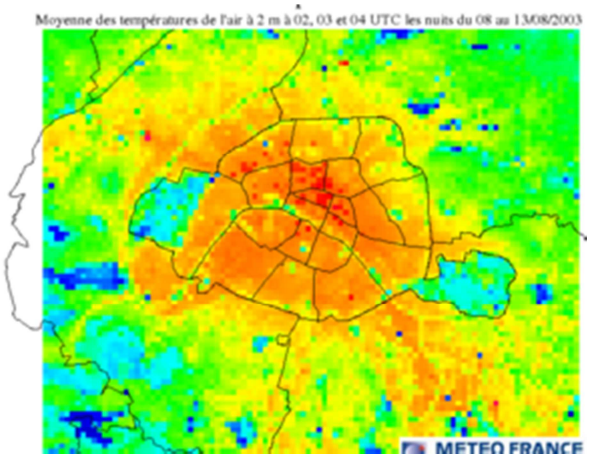


Figure 2 : Exemple de cartographie des îlots de chaleur urbains à Paris, Source Agence parisienne du climat

[5] Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain, ADEME, I Care Environnement, Alto Step, Alto Ingénierie, Octobre 2012

[6] Approche Environnementale de l'urbanisme, Cahier Climat Energie, 2012

3.2 DEFINIR LES POSSIBILITES D'INTERVENTION DE LA COLLECTIVITE

3.2.1 IDENTIFICATION DES CAPACITES D'ACTION DES COLLECTIVITES TERRITORIALES

Destiné aux collectivités, le recueil de bonnes pratiques de rafraîchissement se doit de donner les clefs pour favoriser la mise en œuvre des différents dispositifs de rafraîchissement. Le tableau ci-dessous présente une liste non exhaustive d'actions que les collectivités peuvent mettre en place à leur échelle afin de favoriser le recours au rafraîchissement passif ou aux techniques de rafraîchissement à faible impact.

Thème	Action envisagée	Cadre opérationnel mobilisable	Service de la collectivité mobilisable
Transport	- Sensibiliser aux modes de transport actifs	- Communication	Transports et infrastructure
Transport	- Sensibiliser les acheteurs et les usagers aux bonnes pratiques comportementales : choix de véhicules de couleur adaptée, sensibilisation à l'utilisation de la ventilation et à la limitation de la climatisation automatique…	- Communication	Transports et infrastructure
Transport	- Mettre en place des ombrages sur les zones de stationnement privés et publics de la ville - Imposer des ombrières sur les zones de stationnement dans les cahiers des charges dans les documents d'urbanisme pour les parkings privés/ parkings de Grandes et Moyennes Surfaces	- Travaux d'urbanisme - Réglementation PLU - Orientations d'aménagement et de programmation du PLU	Aménagement
Transport / Urbanisme	- Mettre en place une politique pour changer les pratiques de mobilité	- Plan de Déplacements Urbains - Plan Local de Déplacements - Plan Vélo	Urbanisme Transports et infrastructure
Transport / Urbanisme	- Mettre en place une politique de réduction du parc automobile	- Plan de Déplacements Urbains - Plan Local de Déplacements - Plan Vélo	Urbanisme Transports et infrastructure
Urbanisme	- Encourager le développement des trames vertes et bleues	- SRCE – Schéma régional de cohérence écologique / - SCOT / PLU (PADD – Plan de zonage)	Urbanisme Ecologie urbaine
Urbanisme	- Végétaliser les axes de transports / les terrains publics - Encourager à la végétalisation des terrains privés	- Zonage PLU (EBC, L123 1 5 7°) - Règlement PLU - Orientations d'aménagement et de programmation du PLU - CPAPE – Cahier de prescriptions - Guide de recommandation (Ex : Guide d'aménagement des espaces publics, Guide de gestion des espaces verts) Travaux d'aménagement de l'espace public	Urbanisme Espaces vert Voirie

Thème	Action envisagée	Cadre opérationnel mobilisable	Service de la collectivité mobilisable
Urbanisme	- Promouvoir le recours à une gestion alternative des eaux pluviales / Limiter les débits de fuite / Limiter le coefficient d'imperméabilisation	- Règlement PLU - Orientations d'aménagement et de programmation du PLU - CPAPE – Cahier de prescriptions - Guide de recommandation (Ex : Guide de gestion des eaux pluviales)	Urbanisme Assainissement
Urbanisme	- Recourir à des matériaux à fort albédo et à faible émissivité ainsi qu'à des matériaux perméables	- Règlement PLU - Orientations d'aménagement et de programmation du PLU - CPAPE – Cahier de prescriptions - Guide de recommandation (Ex : Guide d'aménagement des espaces publics) - Travaux d'aménagement de l'espace public	Urbanisme Voirie
Urbanisme	- Développer les aires de rafraîchissement publiques : fontaines à eau, parcs publics…	- Orientations d'aménagement et de programmation du PLU - Travaux d'aménagement de l'espace public	
Urbanisme/bâtiment	- Encourager la prise en compte des vents dominants et le recours aux études aérauliques pour favoriser la ventilation naturelle	- Cahier des charges pour la consultation d'aménageur/d'opérateurs - CPAPE – Cahier de prescriptions	Urbanisme
Bâtiment/ urbanisme	- Encourager la mutualisation/ la proximité des locaux à forts besoins de froid (exemple data-center d'une ville)	- Exemplarité des bâtiments de la collectivité	Bâtiment et aménagement
Bâtiment/ urbanisme	- Encourager les réseaux dits vertueux. Soutenir les actions et les incorporer à leur compétence développement durable. - TVA à 5,5% avec 50% d'ENR&R	- à travers des PAE (Programmes d'Aménagement d'Ensemble[7]), PLU	Aménagement Service ayant la compétence « réseau »
Bâtiment	- Limiter l'utilisation de la climatisation. - Etudier le remplacement d'équipements déjà mis en place peu performants. - Proposer de mutualiser les équipements	- Exemplarité des bâtiments de la collectivité	Bâtiment

[7] Voir glossaire

3.2.2 MOBILISER LE POTENTIEL D'ACTION LIE AUX OUTILS D'URBANISME ET D'AMENAGEMENT

Aborder la question du rafraichissement, pour une collectivité, passe par la mobilisation des outils et compétences qu'elle met en œuvre. En effet, celle-ci possède un certain nombre de leviers lui permettant d'inscrire la problématique du rafraichissement dans les choix de gestion urbaine. Dans ce cadre, il apparaît nécessaire d'identifier ces leviers et le « lieu » où ils peuvent être mobilisés.

Ces derniers sont de différentes natures :

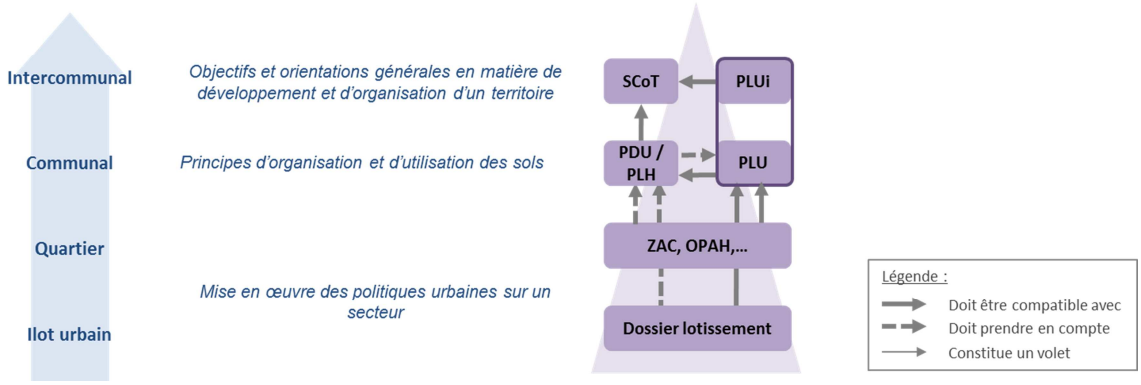
- Documents-cadre instituant une stratégie à l'échelle du territoire : Plan climat énergie territoire, qui doit être cohérent avec le Schéma Régional Climat-Air-Energie ; si ces documents de planification restent généralement éloignés des solutions urbanistiques, ils fournissent une vision d'ensemble des problématiques liées aux évolutions climatiques particulièrement utile ;

- Schéma de Cohérence Territoriale (SCoT) : document-cadre à l'échelle de planification territoriale, il fixe les grands choix stratégiques en matière de développement et d'organisation d'un territoire : respect des équilibres entre développement urbain et protection des milieux naturels, extension et renouvellement urbain,... Ses orientations sont par la suite traduites aux échelles inférieures via les documents de planification sectorielle, auxquels le SCoT s'impose : PLU, Programme Local d'Habitat (PLH), Plan des Déplacements Urbains (PDU), etc.

- Plan Local d'Urbanisme (PLU) : vecteur de la politique urbaine d'une collectivité, il définit les principes d'organisation et d'utilisation des sols : conditions d'ouverture à l'urbanisation, choix de zonages, définition des règles d'aménagement, etc. Devant être lui-même compatible avec le SCoT, le PDU et le PLH, il s'impose par ailleurs aux opérations d'aménagement, dont il peut fixer les objectifs de qualité environnementale ou de performance énergétique.

- Les procédures à l'échelle de l'aménagement : des opérations de lotissement aux Zones d'Aménagement Concerté multi-sites, elles sont l'échelon de mise en œuvre des politiques urbaines : plan de composition urbaine, programmation, cahier de prescriptions… Pour compléter les règles du PLU, auxquelles les opérations d'aménagement sont soumises, les actes de vente, notamment le Cahier des Charges de Cession de Terrain (CCCT), sont souvent annexés de Cahiers des Prescriptions Environnementales (CPE) ou autres cahiers de charges, intègrant des prescriptions supplémentaires.

L'ensemble de ces outils (qui sont autant d'opportunités d'action) est synthétisé dans le schéma ci-dessous :



Ainsi et en synthèse, dans le cadre d'une politique volontariste de rafraichissement, la collectivité pourra, de manière systématique, viser à intégrer les éléments de diagnostic ou pistes de solutions dans les documents suivants :

Outil	Collectivité en charge	Mode d'action	Exemple
Documents de planification supra-communaux : SDAGE, SRCAE, SRADDT…	-	Contribution à la rédaction des lignes directrices	Orientations favorisant le traitement alternatif des eaux usées par des modes de gestion en surface
SCoT	EPCI ou syndicat mixte	Grandes orientations sur l'organisation du territoire	Orientations favorisant le développement d'une trame verte et bleue
PLU	Collectivité territoriale	Choix de l'affectation des sols, définition de règlements d'aménagement,…	Préservation de grands espaces verts à l'ouverture à l'urbanisation
Prescriptions	Collectivité territoriale / Aménageur	Définition d'exigences environnementales	Prescriptions sur le taux de végétalisation des toitures
Programmation du projet	Collectivité territoriale / Aménageur	Conception du projet d'aménagement	Mise en place de techniques de gestion alternative des eaux pluviales (bassins de rétention, noues paysagères,…)

Il est nécessaire de mobiliser une série d'acteurs ressources favorisant l'intégration du rafraichissement dans les documents d'urbanisme.

3.2.3 IDENTIFIER LES RESSOURCES DU TERRITOIRE

Les personnes (morales) ressources sur le territoire sont potentiellement nombreuses ; un recensement préalable doit être effectué afin d'optimiser l'efficacité du diagnostic et du plan d'action associé. On peut distinguer les acteurs « producteurs d'information » des acteurs opérationnels sur le champ considéré :

Les acteurs apportant de l'information pouvant être mobilisés sont les suivants :

- Agences nationales
    - ANAH (Agence Nationale de l'Habitat)
    - ANR (Agence Nationale de Recherche)
    - ANSES (Agence Nationale de Sécurité Sanitaire)
- Instituts de recherche
    - CDC Climat
    - CERMA (Centre de recherche méthodologique d'architecture)
    - CNRS
    - CSTB
    - INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale)
    - Météo France,
- Programmes de recherche
    - PREBAT (Programme de recherche et d'expérimentation sur l'énergie dans le bâtiment)
- Services de l'état :
    - DGEC (Direction Générale de l'Energie et du Climat)
    - SOeS (service statistique du ministère du développement durable)
- Fédérations :
    - FFSA (Fédération Française des Sociétés d'Assurances)
- Observatoires / réseaux d'observation :
    - ONERC (Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique)
    - RARE (Réseau national des Agences Régionales de l'Energie et de l'Environnement)
- Grandes entreprises :
    - SNCF
    - EDF
- …

Les acteurs opérationnels pouvant être mobilisés à l'échelle locale :

- Sociétés d'assurances,
- Agences locales de l'énergie,
- Associations locales,
- Etablissement publics d'aménagement,
- Etablissements du domaine de la santé,
- Entreprises de transport,
- Agences d'urbanisme
- Office Public de l'habitat
- Bailleurs sociaux
- Conseil d'Architecture, d'Urbanisme et d'Environnement (CAUE)
- Services déconcentrés de l'Etat
- Espace Info Energie

- Professionnels du bâtiment (CAPEB, FFB…)
- …

L'ensemble de ces acteurs pourra utilement être mobilisé dans le cadre de l'élaboration d'une stratégie « rafraichissement »

3.3 CHOISIR DES DISPOSITIFS PERTINENTS POUR LE TERRITOIRE

3.3.1 PRINCIPES GENERAUX

Afin de se rapprocher d'une conception « optimum » sous l'angle du rafraichissement, il est nécessaire d'analyser l'objet considéré (le bâtiment, l'espace urbain ou encore l'infrastructure de transport) dans son contexte urbain, architectural, sa région et son environnement. La définition d'une solution « à faible impact environnemental » doit se faire au cas par cas, en fonction de ce contexte.

Cependant, des principes généraux peuvent être fixés afin de guider les choix, en amont des études permettant d'orienter vers telle ou telle solution technique.

3.3.1.1 Complémentarité nécessaire entre les solutions

On remarquera que les différentes solutions sont généralement complémentaires entre elles : la combinaison des dispositifs permet bien souvent d'améliorer la performance d'un système, à la fois sur le plan environnemental et en termes d'efficacité énergétique.

Une première complémentarité réside dans la séquence logique de la réflexion : sont prioritaires les solutions permettant de limiter les besoins en rafraichissement ; viennent ensuite l'analyse et la mise en place des systèmes de rafraichissement eux-mêmes. Cette complémentarité entre solutions préventives et solutions curatives est particulièrement cruciale dans le bâtiment, où plus les apports de chaleur sont importants, plus il est difficile de limiter leur impact sur la température des espaces. En particulier, les systèmes passifs doivent être surdimensionnés quand ils font face à des apports de chaleur importants. A titre d'illustration, plus il y a de chaleur à évacuer, plus les ouvrants de ventilation naturelle sont grands, ce qui présente une réelle difficulté sur des projets architecturaux ou sur des bâtiments existants.

Une autre complémentarité réside dans les types de solutions pouvant être mises en place, de natures très différentes : la fiche exemple relative aux actions menées par le Conseil Général du Val de Marne montre ainsi de façon concrète la complémentarité entre des dispositifs organisationnels (mise en place d'un protocole pour les crèches, qui permet de limiter leurs besoins de rafraichissement par regroupement des crèches actives en été par exemple) et des solutions passives de réduction des apports solaires.

3.3.1.2 Démarche générale à adopter

Quel que soit le domaine faisant l'objet d'une réflexion « rafraichissement », une démarche générale peut être fixée :

a) Identification des besoins et des opportunités

Dans un premier temps, il est nécessaire de réaliser un diagnostic précis des besoins et des opportunités autour du projet de rafraichissement : l'analyse du cadre et de l'environnement dans lequel se situe le sujet considéré permettra de faire émerger le « champ des possibles ». A titre d'exemples :

- Une analyse portant sur l'environnement urbain aura pour objectif de décrire les spécificités du site et de l'opération qui s'y déroule, afin d'en identifier les besoins et les potentialités en termes de ventilation, végétalisation, gestion de l'eau…
- Concernant le bâtiment, la réflexion portera sur les contraintes d'intégration du bâtiment dans son environnement afin d'en améliorer le confort estival : analyse de l'orientation du bâtiment, de ses besoins en fonction de ses usages et du confort thermique visé…

Cette phase constitue un préalable indispensable à l'identification des solutions possibles ; elle se traduit généralement par une note de diagnostic devant être partagée par les différentes parties prenantes du projet.

b) Identification et analyse des solutions

L'étape suivante porte sur l'identification des différentes solutions envisageables pour le rafraichissement. Il s'agit ici de définir, dans la programmation du projet, les objectifs (éventuellement chiffrés) de rafraîchissement, ainsi que les solutions pouvant être mobilisées pour les atteindre. Le catalogue fourni dans le présent guide constitue une aide précieuse pour répondre à ce questionnement ; dans un deuxième temps, les solutions doivent faire l'objet d'études (ex. : simulations thermique pour évaluer le comportement et les consommations énergétiques du bâtiment, modélisation aéraulique du site…), visant à produire un premier chiffrage en termes de coûts et de gains associés.

Cette étape est souvent l'occasion, pour la maîtrise d'ouvrage, de positionner de manière précise (au-delà des principes rappelés dans les documents à caractère général, type Agenda 21, Plan climat…) les orientations du projet au regard du développement durable, en tenant compte des résultats de ces études : des arbitrages sont souvent nécessaires à ce stade.

Cette analyse permettra d'aider au choix des solutions de rafraichissement les plus pertinentes pour l'opération d'un point de vue énergie-climat et des autres contraintes (économiques, techniques…).

Analyse multicritère des solutions

Pour l'ensemble des solutions qui auront été identifiées comme potentiellement pertinentes, il est recommandé d'identifier de façon globale les impacts de telles solutions. Pour ce faire, les collectivités pourront utiliser le tableau d'analyse multicritère suivant :

		Solution A	**Solution B**	**Etc…**
Performances énergétiques	Consommation énergétique (aux. inclus)			
Performances climatiques	Emissions GES			
Performances environnementales	Consommation d'eau			
	Réchauffement de l'air extérieur (à proximité immédiate du système)			
	Niveau sonore en fonctionnement			
	Autres pollutions			
Performances économiques	Coût d'investissement			
	Coût de fonctionnement			
Impact sur le confort des usagers	Humidité			
	Température			
	Santé			
	Sécurité			
Autres impacts	…			

Il est en effet essentiel, avant de choisir une solution, d'identifier les bénéfices collatéraux que peuvent présenter les solutions (en termes de bruit, d'autres polluants…) ainsi que les impacts négatifs qui peuvent exister (forte consommation d'eau…).

c) ***Implémentation des solutions***

Enfin, la mise en œuvre effective des solutions de rafraichissement permettra de limiter les besoins de rafraichissement tout en assurant un confort climatique aux usagers. Il s'agira là de privilégier une approche « systèmes », combinant des solutions de rafraichissement complémentaires, axée en priorité sur l'utilisation de solutions passives permettant de limiter les consommations énergétiques utilisées pour le rafraichissement.

Cette dernière étape doit intégrer la phase d'exploitation : l'atteinte des objectifs associés à une solution donnée dépend en effet très fortement d'une utilisation pertinente et efficace de celle-ci. A ce titre, la formation et/ou la sensibilisation des agents et usagers constitue un élément incontournable : certains dispositifs nécessitant une compréhension et un apprentissage dans leur utilisation. Par ailleurs et de manière complémentaire, un suivi des consommations et des températures en exploitation peut permettre de mettre en lumière certains disfonctionnements (fermeture automatique des stores non cohérentes avec les horaires de fort ensoleillement direct par exemple).

3.3.2 AU NIVEAU DE LA VILLE OU DU QUARTIER

3.3.2.1 Spécificités du secteur

De par l'échelle qu'il concerne, le secteur de la ville et du quartier présente certaines spécificités en matière de pratiques de rafraichissement :

- La compréhension de la ville ou du quartier se fait à plusieurs échelles : la planification (SCOT, PLU,), les opérations d'aménagement (ZAC, Ecoquartiers, Lotissements, opérations groupées, etc) et les opérations de renouvellement ou de requalification urbaine.
- Ces opérations entrainent la réalisation de programmes bâtis, de voiries, d'espaces verts, de systèmes de gestion des eaux pluviales qui mobilisent des acteurs et compétences variés et une connaissance pointue du territoire.

A ce niveau, la problématique du rafraîchissement doit être traitée avec précaution à chaque étape du projet pour aboutir à la mise en œuvre de dispositifs passifs de rafraîchissement, limitant l'impact sur l'environnement des solutions choisies.

3.3.2.2 Cheminement permettant de mener à la mise en place de solutions pertinentes de rafraichissement à faible impact climatique

Dans une démarche de développement durable, il est indispensable à une échelle pertinente pour le projet de:

a) Réaliser un diagnostic précis du territoire sur les thématiques en lien avec le rafraîchissement, permettant **d'identifier les besoins et opportunités** à ce sujet,
b) **Identifier les solutions envisageables** à travers :
   - la définition d'un programme, d'objectifs ambitieux tenant compte de la problématique de rafraîchissement,
   - les choix et la mise en œuvre de dispositifs de rafraîchissement
c) Articuler les solutions entre elles en phase exploitation et accompagner les acteurs en charge de la gestion des espaces publics (**implémentation des solutions de rafraichissement**).

Les points suivants détaillent les questions importantes à se poser lorsque la maitrise d'ouvrage envisage le confort d'été au niveau d'une ville ou d'un quartier.

a) Identification des besoins et des opportunités

Le **diagnostic environnemental du site** à l'échelle d'un projet urbain (échelle territoriale, communale ou d'un quartier) est primordial pour appréhender les possibilités de rafraîchissement à ces différentes échelles. Il permet d'identifier les potentialités du site et de caractériser les données indispensables au choix des pratiques de rafraîchissement les plus adaptées au projet et à son environnement.

Ce diagnostic environnemental peut être complété tant qu'il se doit par des visites attentives du terrain et de son territoire ainsi que des mesures sur site. Les échanges avec les riverains, les anciens occupants ou les responsables locaux sont aussi primordiaux pour appréhender la notion de confort au sein d'un quartier. Certaines investigations techniques complémentaires pourront être menées si nécessaires :

- Diagnostic Trame verte et Bleue,
- Mesures hydrauliques,
- Etudes des sols (perméabilité),
- Thermographie (albédo et émissivité),
- Diagnostic de déplacement,

- Etc…

Enfin, la collecte de multiples documents : PLU, SCOT, Plan Climat, Plan d'adaptation aux changements climatiques, Plan de Déplacement, SDAGE… permet d'orienter le projet vers les grands objectifs d'une politique territoriale et de mettre en place des solutions de rafraîchissement au sein d'un projet cohérent à l'échelle du territoire.

Ce diagnostic devra répondre, suivant les différentes thématiques urbaines en lien avec le rafraîchissement, *a minima* aux questions suivantes :

- **Ventilation/Microclimat/Aéraulique**

QUELLES SONT LES CONDITIONS CLIMATIQUES D'ETE DE MON SITE D'ETUDE ?

Ces données, à collecter au plus proche du site étudié, sont disponibles sur demande à Météo France :

- zone climatique ;
- conditions d'ensoleillement rayonnement global normal (par mois, en moyenne annuelle), rayonnement global diffus (en moyenne annuelle), course du soleil en hiver et en été ;
- températures sèches maximale et minimale ;
- précipitations (mois par mois, par an) ;
- régime des vents : orientation des vents dominants suivant les saisons, rose des vents ;

Ces données permettront par la suite de définir les dispositifs les plus adaptés et d'assurer leur bon fonctionnement (ombrage, ventilation naturelle, gestion alternative des eaux pluviales, modélisation aéraulique, microclimats…)

QUELS SONT LES ESPACES NATURELS RAFRAICHISSANTS DE MON TERRITOIRE A PROXIMITE DE MON SITE ?

De nombreux espaces naturels ont des propriétés rafraîchissantes intrinsèques qu'il est facile d'exploiter, notamment :

- Les espaces verts majeurs, les espaces boisés
- Les cours d'eau, rivières et fleuves,
- Les lacs, bassins et plans d'eau.

Identifier ces espaces permettra par la suite d'organiser ou d'orienter le quartier vis-à-vis de leur propriété rafraichissante (orientation dans le sens des vents dominants, dispersion des vents depuis ces espaces, formes urbaines adaptées…). ***Voir Ex.: Nantes***

QUELLE EST MA CONNAISSANCE DES MICROCLIMATS SUR MON TERRITOIRE ?

Il est possible de réaliser des campagnes de mesures (température, ensoleillement…) qui permettront de caractériser les différents espaces dans la ville et définir les lieux où les actions en faveur du rafraîchissement seront le plus bénéfiques.

Une connaissance fine des microclimats dans un tissu existant permettra ensuite de mettre en application ces enseignements au sein d'un projet d'aménagement.

Voir Sol 6.2 et 6.3 / Ex.: PIRVE

- **Végétalisation**

QUEL EST L'INDICE GLOBAL DE VEGETALISATION DE MON TERRITOIRE/QUARTIER ?

L'indice de végétalisation ou indice de végétation permet d'avoir une lecture de son territoire vis-à-vis de la densité de végétalisation. Il représente un indicateur de départ qui pourra être amélioré dans une perspective de rafraichissement : développement diffus de la végétation, création d'espaces boisés, de parcs urbains, …***Voir Sol I.1.1***

QUEL EST LE MAILLAGE ECOLOGIQUE DE MON TERRITOIRE ? QUELS SONT LES ESPACES VERTS CONSTITUTIFS DE LA TRAME VERTE ?

Avoir une connaissance de la trame verte de son territoire et de sa composition est essentiel pour développer une végétation en cohérence avec la trame existante.

En savoir plus : Centre de ressource www.trameverteetbleue.fr/ (outils et méthodes d'identification des continuités écologiques)

QUELS SONT LES ESPECES VEGETALES ADAPTEES AU CLIMAT LOCAL ET AUX CARACTERISTIQUES PEDOLOGIQUES DE MON SITE, CAPABLES DE DE FOURNIR DE LA FRAICHEUR VIA LEUR BONNE CROISSANCE ?

Il est possible de réaliser un diagnostic écologique de la biodiversité végétale afin d'identifier les espèces les mieux adaptées. Il est également possible de se renseigner auprès des observatoires de la biodiversité ou au sein des atlas de biodiversité végétale.

- **Gestion de l'eau**

COMMENT SE CONSTITUE LA TRAME BLEUE DE MON TERRITOIRE ? QUELS SONT LES ESPACES HUMIDES A PROXIMITE DE MON SITE D'ETUDE ?

Il s'agira d'identifier les éléments constitutifs de la trame bleue : plan d'eau, zones humides, lacs, cours d'eau.

En savoir plus : Centre de ressource www.trameverteetbleue.fr/ (outils et méthodes d'identification des trames bleues)

OU SE SITUE MON SITE DANS L'HYDROGRAPHIE GENERALE DE MON TERRITOIRE ?

La compréhension du réseau hydrographique de mon territoire est essentielle pour élaborer un schéma des eaux cohérent au sein d'une ville ou d'un quartier et profiter ainsi du rafraîchissement naturel qu'il procure. Les cours d'eau naturels, les voies d'eau artificielles, les différents secteurs hydrographiques, la compréhension des bassins versants, les points d'eau isolés sont des potentialités de rafraîchissement à exploiter.

QUELLE REGLEMENTATION SUR LA GESTION DE L'EAU PLUVIALE ?

La réglementation sur les eaux pluviales dépend de différentes entités suivant les régions ou les départements : DREAL, CG, Syndicat des eaux, PLU…

La réglementation peut concerner : le débit de fuite de rejet au réseau autorisé, la possibilité d'infiltrer les nappes, de rejeter les eaux pluviales dans un cours d'eau existant…

Il est nécessaire d'identifier la réglementation applicable à son site d'étude, afin de réévaluer si nécessaire les ambitions en la matière. Une réglementation ambitieuse est apte à favoriser une gestion alternative des eaux pluviales qui favorise le rafraîchissement urbain

- **Matériaux**

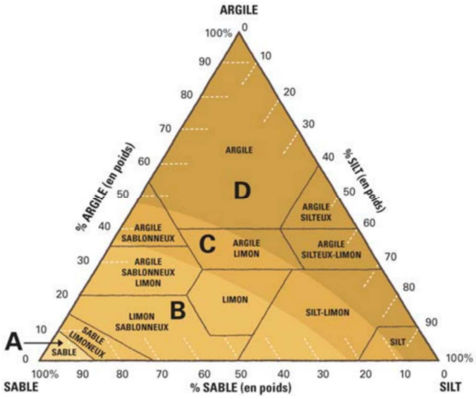
QUEL EST MA CONNAISSANCE DE L'ALBEDO ET DE L'EMISSIVITE GLOBALE DE MON TERRITOIRE ?

La thermographie de son territoire permet de mesurer la température des surfaces composant l'espace public. La précision est de l'ordre du dixième de degré. Ainsi, il est possible d'identifier les points prioritaires d'intervention sur son territoire et d'agir de façon ciblée pour améliorer l'albédo global.

Sol. 4.1

LES SOLS DE MON SITE PERMETTENT-IL L'INFILTRATION DES EAUX PLUVIALES ? QUELLE EST LA PERMEABILITE DU SOL ?

En première approche, la nature des roches constituant le sol, fournie par des relevés d'études géotechniques, permet d'évaluer la capacité d'infiltration du sol (cf schéma ci-contre). Dans un deuxième temps, des relevés piézométriques et le calcul de la perméabilité des sols sont indispensables pour mettre ne place la gestion alternative des eaux pluviales. Ainsi, dans le cas d'un sol naturellement peu perméable, une alternative à l'infiltration naturelle devra être recherchée



Triangle de corrélation entre la texture du sol et sa perméabilité (Source : Aménagement et eaux pluviales – Grand Lyon)

- **Sources anthropiques : Aménagement urbain**

COMMENT MON SITE S'INSCRIT-IL AU SEIN DU RESEAU D'ITINERAIRES CYCLABLES ET PIETONNIERS EXISTANT ? AU SEIN DU RESEAU DE TRANSPORT EN COMMUN ?

En cohérence avec la politique de déplacement mise en œuvre sur le territoire (PLD, PDU…), il est nécessaire d'identifier les besoins et les pratiques et d'établir une carte de ces réseaux à proximité du site pour élaborer un projet favorable à la mise en place de modes de déplacement peu émetteurs de chaleur :

d) caractéristiques du trafic,
e) caractéristiques des pratiques des modes doux
f) caractéristiques du réseau de transport en commun à l'échelle de mon territoire et à proximité du site.

Sol. 5.1

b) *Identification et analyse des solutions*

Dans un premier temps, l'étape de programmation d'un projet ou de planification à l'échelle d'un territoire définit les grandes lignes du projet et favorise ou, à l'inverse, contraint la mise en œuvre de certains dispositifs de rafraîchissement. Lors de ces étapes, plusieurs scénarios de projet peuvent être étudiés, faisant varier les activités, l'occupation des sols et les aménagements à réaliser.

Dans un second temps, des choix de solutions seront effectués et mis en œuvre : chacun des scenarios associés à la mise en œuvre de dispositifs de rafraîchissement devront être comparés aux enjeux économiques, sociaux et d'usages en termes d'avantages et d'inconvénients. Ce travail permettra de définir des solutions de rafraîchissement cohérentes avec un aménagement et un territoire durable.

- **Sources anthropiques : Aménagement urbain**

Programmation/Planification urbaine :

QUELLE EST LA PROGRAMMATION DE MON SECTEUR ? QUELLE MIXITE ? QUELLE DENSITE ? ?

La mixité d'un quartier, le pourcentage d'espaces vert et de pleine terre, la préservation des espaces naturels ou encore les continuités vertes ou bleues sont autant de facteurs qui peuvent être contraints par la programmation urbaine.

Une programmation qui intègre les principes de rafraichissement à l'échelle urbaine attachera une importance toute particulière à :

- la mixité du quartier favorisant les modes doux et limitant les déplacements émetteurs de chaleur (automobile, voies ferrées…),
- une densité maîtrisée laissant place aux espaces verts et aux espaces naturels.

Ainsi, le fait de construire ou de réhabiliter, de densifier ou de préserver, de développer un secteur économique ou une mixité, sont des critères déterminants pour l'aménagement durable du projet. Le pré-programme doit pourvoir éventuellement remettre en cause les postulats du projet afin de développer une urbanisation cohérente, favorisant le rafraîchissement urbain.

COMMENT MON PROJET S'INSCRIT-IL DANS LA POLITIQUE DE DEPLACEMENT DU TERRITOIRE ? QUELLE AMBITION EN TERMES DE DEVELOPPEMENT DES MODES DOUX ?

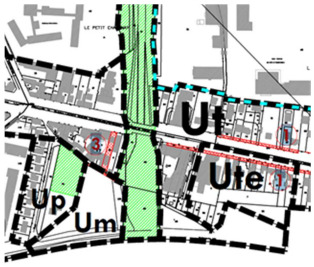
Il est primordial que le programme du projet ou les orientations de planification urbaine tiennent compte de la politique de déplacement engagée sur le territoire et notamment en matière de déplacements doux. Les liaisons inter-quartiers et les cheminements locaux doivent permettre d'encourager ces modes de déplacement et être clairement définis au sein du programme, en cohérence avec la politique de déplacement engagée sur le territoire : séparation des flux, espaces partagés, sécurisation des modes de déplacements, axes verts supports de mobilité…

- **Végétalisation**

Programmation/Planification urbaine :

QUELS SONT LES ESPACES VERTS ET LES ESPACES NATURELS MAJEURS DE MON SITE ? QUELLE REGLEMENTATION PEUT ETRE MISE EN PLACE POUR LES PRESERVER, LES PROTEGER OU LES VALORISER ?

Afin de préserve les espaces verts et naturels, les protéger et les valoriser, plusieurs dispositifs réglementaires et opérationnels peuvent être mobilisés au sein des documents d'urbanisme (ex du PLU : EBC, Zone N, Article L 123-1-5 7°…) ou des documents contractuels et prescriptifs d'un projet d'aménagement (Cahier de prescriptions, cahier des charges de cession de terrain…). Ainsi, est-il primordial d'intégrer dès la programmation et en parallèle à la planification ces dispositions réglementaires.



Exemple PLU Martigues

Choix et mise en œuvre

QUELS SONT LES DISPOSITIFS VEGETAUX COMPATIBLES AVEC MON PROJET SUSCEPTIBLE D'AMELIORER L'INDICE GLOBAL DE VEGETALISATION DE MON TERRITOIRE?

Toutes les opportunités de végétalisation offertes par le projet devront être exploitées. Des dispositifs de végétalisation devront être mis en œuvre à toutes les échelles de l'aménagement afin d'améliorer l'indice global de végétalisation de mon territoire : par la constitution d'espaces verts, de squares, de bois, par le développement du végétale le long des voiries et des infrastructures structurantes, au sein des cheminements et des liaisons par le développement de structures paysagères (noues, bandes plantées, alignements d'arbres, plantes grimpantes, végétalisation des trottoirs…).

COMMENT INSCRIRE MON PROJET EN CONTINUITE DE LA TRAME VERTE DE MON TERRITOIRE ? COMMENT LA COMPLETER ?

Ce travail de conception et de développement du couvert végétal devra se faire en continuité de la trame verte, en s'appuyant le plus possible sur le patrimoine vert existant afin d'assurer la pérennité des dispositifs de rafraîchissement et leur préservation à long terme.

- **Gestion de l'eau**

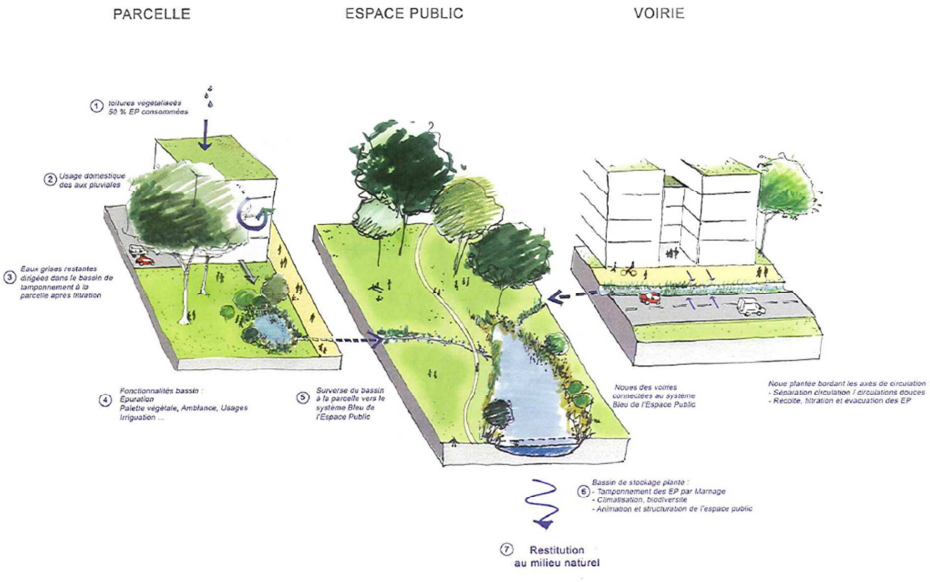
Programmation/Planification urbaine

QUELLE REGLEMENTATION SUR LA GESTION DE L'EAU ?

Les prescriptions à l'échelle du projet pourront être plus prescriptives que la réglementation existante (voir Analyse du site) et pourront définir et décrire des dispositifs ambitieux à mettre en œuvre :

- Définition d'un coefficient de ruissellement maximum ambitieux (Ex : 0,65 en milieu urbain) pour favoriser l'infiltration naturelle des eaux pluviales,
- Limitation du débit de fuite (Ex : 2L/s/ha) pour encourager la mise en œuvre de techniques alternatives de gestion des eaux pluviales,
- Proscription de dispositifs imperméabilisant ou non végétalisés
- Etc…

Ces prescriptions, intégrées lors de la programmation, devront être déclinées aux trois échelles de l'aménagement d'un quartier : parcelle, espaces publics et voiries.



LA PROGRAMMATION URBAINE INTEGRE-ELLE LES SURFACES NECESSAIRES A LA MISE EN ŒUVRE DE TECHNIQUE ALTERNATIVES POUR LA GESTION DES EAUX PLUVIALES ?

La mise en œuvre de techniques alternatives de gestion des eaux pluviales n'est rendu possible que par l'aménagement d'espaces paysagers support de cette gestion de l'eau. En phase programmation, il est essentiel de s'assurer de la cohérence et de la continuité des espaces paysagers qui seront planifiés pour garantir une bonne gestion des eaux pluviales et disperser au sein du quartier son pouvoir rafraîchissant.

Choix et mise en œuvre

QUELLES SONT LES TECHNIQUES ALTERNATIVES DE GESTION DES EAUX PLUVIALES QUI PEUVENT-ETRE MISES EN ŒUVRE ? LES OUVRAGES DE RETENTION A CIEL OUVERT PEUVENT-IL ETRE PRIVILEGIES?

Tenant compte des caractéristiques du sol, du schéma hydrographique du site (Voir analyse de site), de la réglementation en matière de gestion de l'eau et des espaces libres disponibles pour le développement d'espaces paysagers support de gestion des eaux pluviales (Voir Programmation), la mise en œuvre des techniques alternatives des eaux pluviales devra être évaluée en privilégiant : l'infiltration naturelle des eaux pluviales, la rétention à ciel ouvert, l'aménagement paysager et l'intégration dans un cycle naturel de l'eau.

En lien avec la conception des bâtiments, l'intégration de technique de gestion de l'eau tels que les toitures végétalisés, la récupération des eaux pluviales ou l'aménagement des espaces extérieurs privés devra être privilégié pour rafraîchir son environnement et le bâtiment en lui-même.

- **Matériaux**

Programmation/Planification urbaine

QUELS SONT LES LEVIERS POUR LIMITER L'IMPERMEABILISATION DES SOLS OU AMELIORER SA PERMEABILITE ?

Limitation des surfaces imperméabilisées, développement du couvert végétal, implantation de revêtements perméables et de toitures et murs végétaux sont autant d'objectifs qui doivent être inscrits en phase programmation et traduits au sein des documents de planification urbaine. Différentes prescriptions peuvent, à ce titre, être définies au sein des documents de programmation tels que : pourcentage d'espaces verts, coefficient de ruissellement maximum, albédo des revêtements de surfaces, obligation de revêtement perméable pour les cheminements piéton…

Choix et mise en œuvre

QUEL CRITERE DE CHOIX DES REVETEMENTS EXTERIEURS ONT ETE DEFINIS POUR LE PROJET AFIN DE LIMITER LEUR ECHAUFFEMENT (ALBEDO, EMISSIVITE…) ?

Lors du choix et de la mise en œuvre des revêtements et des matériaux constitutifs des espaces publics et des voiries, des critères liés à l'albédo, l'émissivité, la porosité, la couleur des revêtements, doivent impérativement être définis pour limiter l'échauffement de ces surfaces.

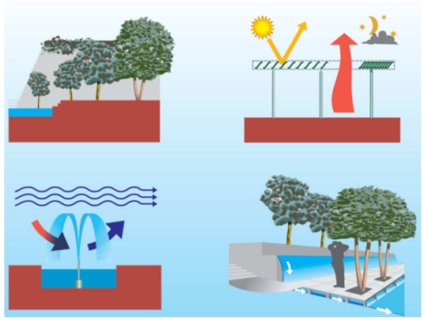
La collectivité et la maîtrise d'ouvrage devront ainsi pousser la maîtrise d'œuvre à cette réflexion qui est à ce jour trop peu mise en application au sein des projets urbains.

QUELS DISPOSITIFS PERMETTANT D'OMBRAGER LES BATIMENTS ET LES SURFACES IMPERMEABILISEES (VOIRIE, PLACE…) PEUVENT ETRE MIS EN ŒUVRE POUR FAVORISER LEUR RAFRAICHISSEMENT ?

Associé à l'ensemble des réflexions précédentes, la mise en place de dispositifs d'ombrage doit être réfléchie. Elle peut-être combinée à des dispositifs de végétalisation, de conception des bâtiments et de leur pourtour ou être mise en place de façon indépendante par des dispositifs tels que les ombrières (apport de fraicheur aux usagers et limitation de l'échauffement des surfaces ombragées).

DISPOSE-T-ON D'ESPACES PUBLICS MAJEURS SUSCEPTIBLES D'ACCUEILLIR DES AIRES DE RAFRAICHISSEMENT ?

Solution non passive qui permet de répondre aux besoins de rafraîchissement des habitants, les aires de rafraîchissement permettent cependant de rafraichir ponctuellement un espace public en période de forte chaleur. La mise en place de ces dispositifs doit être réfléchie en intégrant des solutions économes en énergies et en eau, faiblement émettrices de pollutions et de nuisances (visuels, sonores…). Ces dispositifs pourront être combinés aux solutions évoqué précédemment, dans un démarche d'aménagement durable, afin de diffuser et disperser un maximum leur impact rafraîchissant.



- **Ventilation/Microclimat/Rafraîchissement**

Choix et mise en œuvre

UNE MODELISATION AERAULIQUE ET DES PARAMETRES MICROCLIMATIQUES DU TISSU URBAIN EXISTANT ET/OU DU PROJET EST-ELLE NECESSAIRE ?

Les études de modélisation et/ou simulation à l'échelle urbaine (étude aéraulique, étude d'ensoleillement, calcul des températures de surfaces…) permettent de mieux comprendre et concevoir des espaces publics et bâtiments en

fonction des paramètres climatiques. Mais elles sont coûteuses et il est important de cibler leur but correctement. On favorisera en priorité la prise en compte en conception de principes simples comme la porosité du tissu urbain, l'épannelage des hauteurs et des façades, l'orientation des espaces publics majeurs vis-à-vis des vents dominants avant de s'engager dans une modélisation microclimatique du projet.

Le recours à une modélisation devra se faire sur une approche multicritère (Voir Exemple Quartier Tripode) et comparative de différents scenarios d'aménagement pour avoir une réponse exploitable vis-à-vis de la problématique du rafraîchissement.

LES ESPACES NATURELS DE RAFRAICHISSEMENT DE MON TERRITOIRE PEUVENT-IL ETRE DEVELOPPES?

En lien avec le travail effectué lors de l'analyse de site et lors de la programmation pour les préserver, les espaces verts et les espaces naturels majeurs doivent maintenant être exploités au mieux au sein du quartier pour diffuser le rafraîchissement qu'ils procurent et le ventiler au sein du quartier: porosité du tissu urbain à proximité, orientation suivant les vents dominant des axes majeurs, continuité des espaces paysagers en lien avec la trame verte…

Au sein d'un territoire dépourvu d'espaces verts important, on s'attachera à développer au maximum le couvert végétal de façon diffuse ou à créer un nouvel espace vert conséquent, support de rafraîchissement.

c) *Implémentation des solutions*

- **Végétalisation**

L'ENTRETIEN DES DISPOSITIFS VEGETAUX ASSURE-T-IL LEUR PERENNITE SANS PORTER ATTEINTE A L'ENVIRONNEMENT ?

Les espaces végétalisés doivent faire l'objet d'un entretien respectueux de l'environnement afin que les bénéfices des espaces de verdure sur le rafraichissement ne soient pas en contradiction avec d'autres impacts négatifs des végétaux sur l'environnement.

La sensibilisation et la formation aux techniques de gestion différenciée pourront être mises en place auprès des services en charge des espaces verts. Les principes de gestion différenciée visent notamment à adapter à limiter l'arrosage, à l'adapter aux types d'espèces présentes et à viser une utilisation nulle de produits phytosanitaires.

- **Gestion de l'eau**

L'EXPLOITATION DES TECHNIQUES DE GESTION DE L'EAU GARANTIT-ELLE LEUR EFFET SUR LE RAFRAICHISSEMENT LOCAL ?

Des techniques de gestion aériennes des eaux pluviales mal entretenues entrainent un mauvais contrôle des débits de fuite et un rejet plus fort aux réseaux enterrés, ce qui limite l'efficacité de ces techniques dans la limitation de l'effet d'ilot de chaleur local.

La sensibilisation des acteurs en charge de l'entretien de ces techniques est indispensable pour le bon maintien de leur fonctionnement.

3.3.3 AU NIVEAU D'UN BATIMENT

3.3.3.1 Spécificités du secteur

L'adaptation de l'architecture à chaque climat apporte des réponses qui procurent un meilleur confort thermique. Avec le réchauffement climatique, une bonne conception sera nécessaire pour assurer le confort d'été malgré des températures plus hautes et des ensoleillements plus importants en été.

Les chapitres ci-dessous soulignent les questions que doit se poser le maitre d'ouvrage à plusieurs étapes de la naissance et de la vie d'un bâtiment.

Les exigences sur un rafraîchissement à faible impact environnementale doivent continuer au-delà de la programmation, de la phase étude à la phase exploitation et maintenance du bâtiment.

Vie du bâtiment

Programmation et études de conception | Travaux de construction ou de rénovation | Exploitation maintenance

Accorder des moyens suffisants aux phases préalables	Assurer la cohérence entre le programme et la réalisation	Anticiper les besoins de maintenance et d'exploitation et rôle des utilisateurs
Les exigences fixées par le programme guideront le choix des solutions des maitrises d'oeuvre. Les phases de programmation et d'esquisse permettent de définir le niveau de confort d'été souhaité du bâtiment adapté aux comportements des usagers. Il faut : • Définir les objectifs de performance • Identifier les pratiques les plus impactantes sur le bâtiment • réduire les besoins de rafraichissement du bâtiment • Puis si nécessaire mettre en œuvre des dispositifs de rafraichissement ou de climatisation. Les études par la maitrise d'œuvre doivent inclure un comparatif des solutions ainsi que des simulations thermique pour évaluer le comportement et les consommations énergétiques du bâtiment.	En phase travaux, les solutions définies en conception doivent être vérifiées et appliquées correctement. Des contrôles sont nécessaires pour s'assurer de leur bonne mise en œuvre (isolants, équipements performants). Des plans et documents doivent clairement expliquer les équipements mis en place. L'exploitant doit si possible être choisi avant la fin des travaux pour être impliqué dans les principes de conception et d'utilisation du bâtiment.	Un guide d'entretien du bâtiment doit expliquer les principes de fonctionnement du bâtiment. Et aussi, un carnet de vie du bâtiment permet de définir les « gestes simples » qui permettent de maintenir les performances su bâtiment. Une explication est donnée sur le fonctionnement propre du bâtiment (par exemple expliquer la mise en place des mesures pour limiter les inconforts d'été et expliquer l'action à réaliser pour atteindre le confort d'été) et l'impact environnemental des mesures. Un suivi du fonctionnement des équipements et des performances énergétiques est essentiel pour corriger les éventuels défauts de fonctionnement sur les premières années. Une enquête sociologique pour évaluer la probabilité de la responsabilité des comportements dans les écarts observés.

3.3.3.2 Cheminement permettant de mener à la mise en place de solutions pertinentes de rafraichissement à faible impact climatique

Les points suivants détaillent les questions importantes à se poser lorsque la maitrise d'ouvrage envisage le confort d'été dans un bâtiment.

Il s'agit de réaliser une première analyse, et de mettre à disposition à la maitrise d'ouvrage de se faire une idée sur les solutions adaptées. Ces données, nécessaire à la conception pour la maitrise d'œuvre, sont obtenues par des fichiers météo disponibles.

a) Identification des besoins et des opportunités

QUELLES SONT LES CARACTERISTIQUES DU SITE DU BATIMENT ?

Un bâtiment vie en fonction de son environnement qu'il faut définir :

- La topographie influe sur l'ensoleillement (masques) et le vent. Le milieu urbain dans les grandes villes peut en outre créer un micro-climat autour des bâtiments.
- Plus l'ensoleillement est important, plus il sera essentiel de se protéger des apports de chaleur qu'il entraîne.
- L'utilisation des vents dominants peut aider à la ventilation naturelle d'un bâtiment. Cependant celle-ci doit être étudiée en parallèle du confort hivernal où le venta des effets négatifs.
- La zone climatique est déterminée par la réglementation thermique.
- La zone de bruit est déterminante pour comprendre si la réglementation thermique prend ou non en compte des consommations de climatisation dans le calcul des consommations du bâtiment de référence

Les températures diurnes et nocturnes et l'écart entre ces températures permettent d'évaluer l'importance des apports externes de chaleur (hors ensoleillement), mais aussi de voir si des solutions telles que la ventilation nocturne associée à une forte inertie peuvent ou non être efficaces.
Nota : La température sèche maximale sera utilisée pour définir les équipements de refroidissement s'il y en a. Le dimensionnement se faut classiquement sur la température de base des fichiers météo.

COMMENT REALISER UN DIAGNOSTIC ENERGETIQUE ?

Dans les cas d'un bâtiment existant, il est nécessaire de comprendre le fonctionnement de celui-ci. L'audit énergétique permet d'appréhender le fonctionnement actuel du bâtiment analysé, ses performances énergétiques, ses atouts et lacunes, puis de définir les actions de maîtrise des consommations d'énergie et d'exploitation des énergies renouvelables qui soient techniquement pertinentes et économiquement viables. Il aide ainsi à déterminer le programme d'interventions le plus pertinent, et constitue donc un préalable à des études de maîtrise d'œuvre.

QUELLES SONT LES EXIGENCES DE CONFORT D'ETE REGLEMENTAIRES ?

- **Code de la construction et de l'habitation**

Depuis le 1er juillet 2007, les articles R.131-29 et R.131-30 du code de la construction et de l'habitation limitent l'utilisation des systèmes de climatisation. Ainsi, l'article R.131-29 spécifie notamment que : " Dans les locaux dans lesquels est installé un système de refroidissement, celui-ci ne doit être mis ou maintenu en fonctionnement que lorsque la température intérieure des locaux dépasse 26 °C. "

- **Réglementation thermique RT2012 et RT2005 existant**

La réglementation RT2012 et RT2005 existant impose que la température la plus chaude atteinte dans les locaux (Température intérieure conventionnelle ou Tic) au cours d'une séquence de 5 jours très chauds d'été, ne doit pas excéder un plafond (Ticref). La Tic est comme son nom l'indique calculée de manière conventionnelle (moteur de calcul simplifié), et ne reflète pas directement la température réelle qui sera atteinte

De plus, la RT 2012 comprend un classement des bâtiments en zone CE1 ou CE2.
Dans les locaux CE2, zone climatique chaude ou environnement bruyant, le coefficient de consommation intègre des droits réglementaires à rafraichir les locaux. Dans les locaux CE1, le rafraichissement est pénalisé dans le coefficient de consommation.

Le classement en zone CE1 ou CE2 dépend de la localisation géographique, de la zone de bruit dans laquelle se situe le bâtiment, et du type de bâtiment.
Les locaux d'enseignement sont en zone CE1, de même que les locaux d'habitation dans la quasi-totalité des cas (seules exceptions : logements au climat méditerranéen situés dans une zone bruyante rendant difficile l'ouverture des fenêtres). Les bureaux dans la moitié nord de la France sont également en zone CE1 sauf dans certains cas où le rafraichissement par ouverture des fenêtres est difficile en raison du bruit ou de la réglementation.

QUELLES SONT LES EXIGENCES DE CONFORT QUE L'ON SOUHAITE ?

En plus des exigences réglementaires, il est possible de définir dans le programme des objectifs visant à atteindre un confort d'été acceptable.

Si ces exigences sont trop strictes, elles peuvent impliquer des solutions actives nécessaires pour pouvoir y répondre (par exemple une climatisation). Les exigences suivantes permettent des notions de confort compatibles avec des solutions à faible impact environnemental.

- **Certification HQE**

La certification Haute Qualité Environnementale intègre dans ses préoccupations la notion de confort d'été. Celui-ci est traité à travers la cible 8 confort hygrothermique.
Les exigences sont différentes selon que l'on recoure ou non à un système de refroidissement. Les points d'attention portent sur :

- les vitesses d'air, la maitrise des apports solaires, l'hygrométrie et le maintien des températures de consigne pour les espaces avec traitement

Dans un cadre de certification HQE, la mise en place de brasseurs d'air permet d'élargir la plage de confort acceptable. Ainsi, pour des bureaux situés dans le sud-ouest, en fonction des conditions d'hygrométrie observées, la création d'un mouvement d'air à 0,5m/s dans les zones d'occupations peut permettre

d'augmenter la température de confort de 1 à 3°C.

- le maintien d'une température résultante hormis un faible nombre d'heures dans l'année pour les espaces sans traitement.

Un traitement performant de cet aspect pour le confort d'été implique que la température dans des bureaux non climatisés situés dans le sud-ouest, ne doit pas dépasser 28°C plus de 2,5% du temps d'occupation annuel. Pour justifier de ce respect, il est nécessaire de mobiliser des outils de simulation thermique dynamique dès les phases de conception.

- **Dérive selon la température extérieure**

Des chercheurs ont montré que les personnes s'adaptent en réalité à leur environnement et à sa variation ; ainsi, en plein été avec une température extérieure de 30°C, ils toléreront une température plus élevée qu'en mi-saison par 20°C extérieur. Ce constat a donné naissance à la notion de « confort adaptatif ».
En conséquence, au lieu de fixer une valeur absolue de confort (26°C, 28°C ou autre), il peut être pertinent d'accepter une dérive de la température en fonction des conditions extérieures, jusqu'à une limite.
L'exigence courante est 26° jusqu'à 31°C extérieur et exiger que la température intérieure soit égale à la température extérieure moins 5°C au-delà.
D'autre part, l'ADEME conseille de limiter à 5 - 7°C de différence entre la température intérieure et la température extérieure - tout en respectant la limite de 26°C réglementaire. Soit par exemple une température intérieure de consigne de 28 à 30°C lorsqu'il fait 35°C à l'extérieur.
Cette solution permet de s'adapter facilement entre l'extérieur et l'intérieur et permet de réduire les consommations énergétiques de climatisation, et le dimensionnement des systèmes de climatisation, dans des climats où des températures élevées peuvent être atteintes.

QUELS SONT LES SCENARIOS D'USAGE DU BATIMENT?

Un projet de construction repose sur un projet d'usage que la programmation traduit notamment en termes de fonctionnalités, d'espace, de surface, de technique et de cout. Chaque scénario d'usage peut amener à des paramètres de confort différent.

Une installation de rafraîchissement a pour but, durant les périodes chaudes, de procurer un niveau de confort par le maintien d'une température d'ambiance homogène dans les espaces à occupation prolongée.
Il faut donc définir :

- Les périodes chaudes (cf. zone climatique)
- Le scénario d'occupation dans le bâtiment (temps d'occupation prolongée, temps d'inoccupation…)

Par exemple en inoccupation, pourquoi garder le confort estivale ?
De même, une stratégie peut être définie pour décharger le bâtiment de ses apports internes lors de son inoccupation
Ainsi les consommations seront calculées au plus juste.

Exemple de confort thermique d'été par typologie de bâtiment

De par leur utilisation, les bâtiments requièrent des conditions de confort thermique différentes. Réglementairement, le confort d'été doit respecter la RT2012. Dans certaines conditions, l'emploi de système de climatisation actif est acceptable, et parfois nécessaire. Le tableau ci-après liste pour les typologies de bâtiment les plus courantes les exigences usuelles en matière de confort d'été.

Typologie de bâtiment	Usuellement climatisé	Normalement sans climatisation	Variable
Logement collectif		**X**	
Santé (hôpital, EHPAD…)	**X** (salles d'opérations, salle d'accueil)	**X** (chambres)	
Bureaux	**X** (salles de réunion, salles serveurs)		Les bureaux sont surtout occupés le jour, quand les apports climatiques sont les plus forts. Les apports thermiques externes (grands vitrages) et internes (bureautique et occupation dense) justifient souvent la mise en place d'un système de rafraichissement actif, surtout dans des climats chauds ou si le bruit interdit l'ouverture des fenêtres. Il n'est pas nécessaire pour autant de climatiser (c'est-à-dire maintenir une température max. fixe).
Commerces	**X** L'occupation et l'éclairage important engendrent de forts apports, et pour des raisons commerciales les dérives de températures ne sont souvent pas considérées comme acceptables.		
Enseignement		**X** Les salles de classe, généralement non utilisées en été, ne sont pas climatisées	
Infrastructures collectives destinées aux sports	**X** limité aux grandes salles avec compétition	**X**	
Cafés/hôtels/restaurants	**X**	X établissement ancien	
Etablissement Recevant du Public (ERP)	Les Etablissement Recevant du Public de grandes tailles sont généralement climatisés : salle de spectacle, musées, cinéma		X Les salles de spectacle, médiathèques requièrent généralement un système de rafraichissement actif. Il n'est pas nécessaire pour autant de les climatiser.
Etablissement Recevant du Public administratifs		X Mairies	
Bâtiment industriel	**X** si exigence de process	X si non	

b) *Identification des solutions envisageables*

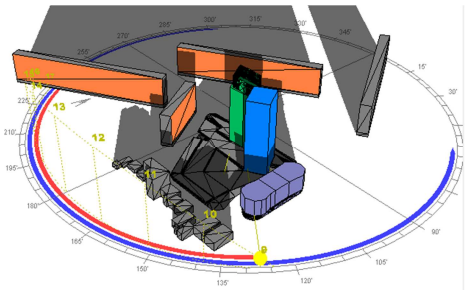
Nota :

Le confort estival doit être étudié sans perdre de vue les autres contraintes, en particulier le confort hivernal et l'éclairement naturel. Certaines dispositions constructives peuvent être bénéfiques pour le confort d'été entraîneront des surconsommations de chauffage ou d'éclairage (ex : réduire les fenêtres au Sud qui apportent de la lumière et de la chaleur). Le meilleur compromis dépend beaucoup du type de bâtiment.

Si l'on met en place un système de rafraichissement actif, il faut évaluer et garder à l'esprit le poids des consommations de rafraichissement ou climatisation éventuelles par rapport aux autres usages, et l'impact des solutions envisagées sur les différents postes. La simulation thermique dynamique permet d'étudier tous les impacts des choix de solutions sur les consommations et le confort.

QUELLE EST L'IMPLANTATION DU BATIMENT DANS SON ENVIRONNEMENT DIRECT ?

L'enjeu principal est de se protéger. Le choix de l'implantation par rapport aux autres constructions, aux obstacles naturels ou artificiels, aux nuisances sonores vont permettre ou non d'exploiter l'ombrage naturel ou l'ouverture des fenêtres pour créer une ventilation naturelle.



Exemple de simulation d'ombrage sur les bâtiments
Source : ALTO Ingénierie

Le choix de l'implantation est particulièrement applicable sur des bâtiments neufs. La typologie du bâtiment fera varier les règles de l'implantation par rapport à des critères de nuisances acoustiques, ensoleillement naturel et confort d'été et d'hiver suivant l'occupation du bâtiment.

Cette implantation est étudiée au niveau du programme et de l'esquisse.

COMMENT EST ORIENTE LE BATIMENT ?

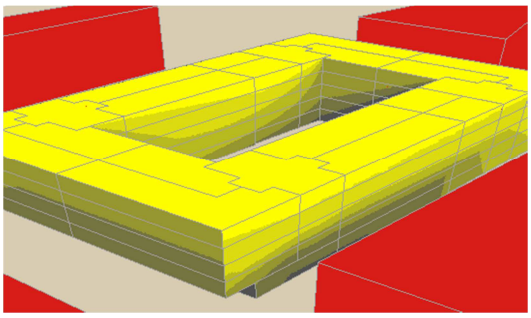
Pour ses apports bénéfiques en hiver, l'orientation Sud est souvent préférée, d'autant que les apports solaires peuvent être facilement maitrisés (protections solaires) en été.

Ainsi l'orientation la plus favorable pour le confort d'été d'un logement est une forme allongée dans l'axe Est-Ouest, avec des pièces de vie qui ouvrent sur la façade Sud, et des tailles de baies réduites côté Ouest.

Le choix d'orientation du bâtiment se fait sur les bâtiments neufs ou extensions.

L'orientation est primordiale sur les bâtiments d'habitations (logement, EHPAD). Les bureaux et bâtiment d'enseignement n'ont que des locaux importants, il est difficile alors de les positionner en fonction de leur utilisation sur les différentes façades.

L'orientation est étudiée au niveau du programme et de



Visualisation du flux solaire
Source : ALTO Ingénierie

l'esquisse.

COMMENT OPTIMISER LA CONCEPTION DU BATIMENT AVEC SA COMPACITE ET SES OUVERTURES?

La compacité permet de limiter les surfaces de contact et donc d'échange avec l'extérieur. La fraicheur sera plus facilement conservée à l'intérieur du bâtiment. A noter que la compacité a néanmoins nettement moins d'impact sur le confort d'été que sur le confort d'hiver, et qu'elle joue un rôle limité.
Cependant la compacité peut être plus difficile à ventiler naturellement.
Les ouvertures traversantes permettent la ventilation naturelle de façade à façade, plus efficace que sur une même façade. Elles sont donc à privilégier.
La question est importante pour tout type de bâtiment sauf les bâtiments qui présentent de forts apports internes et qui ne se situent pas dans un climat particulièrement chaud. En effet, l'apport de chaleur extérieur sera alors minimisé par rapport aux apports internes.

Sauf à pouvoir modifier les façades et les ouvertures d'un bâtiment, une plus grande liberté d'action existe sur les bâtiments neufs.

COMMENT OPTIMISER L'ISOLATION ET L'INERTIE DU BATIMENT?

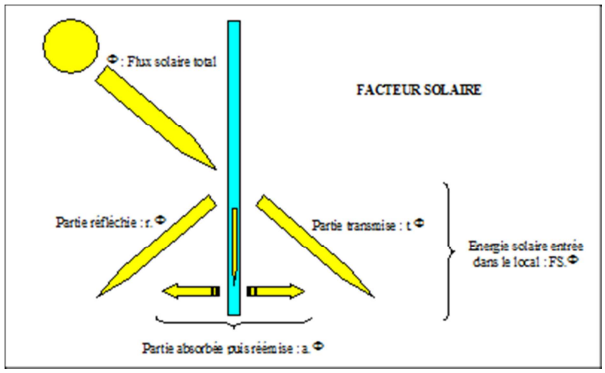
L'inertie et une bonne isolation ont deux effets positifs en été :

- L'inertie atténue les surchauffes : la chaleur est stockée dans le bâti lors des pics de température, ce qui limite l'élévation de la température de l'air, sous réserve que des moyens soient mis en place pour
- L'inertie permet alors également de stocker la fraicheur et l'isolation de la garder à l'intérieur du bâtiment.
- Ces solutions ne sont pertinentes qu'associées à des moyens permettant d'évacuer la chaleur (ventilation nocturne par exemple) et recréer un stock de froid, et avec des apports (solaires ou internes) réduits. En effet si les apports sont élevés, d'une part il peut être préférable de les laisser s'évacuer, d'autre part cette stratégie ne sera pas suffisante, et il faudra mettre en place un système de production de froid, auquel cas une inertie trop forte peut entraîner des surconsommations car le bâtiment mettra longtemps à se refroidir.

Ces solutions sont mises en œuvre pendant les phases d'étude de conception ou de rénovation d'un bâtiment.
Les choix d'isolation et d'inertie doivent être vérifiés en phase travaux.

COMMENT LIMITER LES APPORTS DE CHALEUR EXTERIEURS PAR UN CHOIX PERTINENT DES VITRAGES?

Le vitrage laisse la plus grande partie des apports solaires pénétrer à l'intérieur du bâtiment. La maîtrise du flux entrant s'apprécie par le facteur solaire (FS) de la baie munie de sa protection solaire. Plus le facteur solaire est petit, plus les apports solaires sont faibles. Schéma source ALTO Ingénierie
Le facteur solaire et la transmission lumineuse sont étroitement liés. Plus un vitrage stoppe l'énergie du soleil, plus il stoppe également la lumière qui rentre.
Un compromis doit donc être trouvé entre confort d'été et éclairement naturel, tant sur la taille des vitrages que sur leurs caractéristiques.



Principe d'apports par le vitrage
Source : ALTO Ingénierie

Des simulations thermiques dynamiques permettent de préconiser d'optimiser les surfaces vitrées. Ces préconisations dépendent du climat.
Par exemple l'étude d'un nouveau quartier en région parisienne avait fait les préconisations suivantes pour optimiser la surface vitrée et assurer le meilleur compromis entre isolation et éclairage naturel:

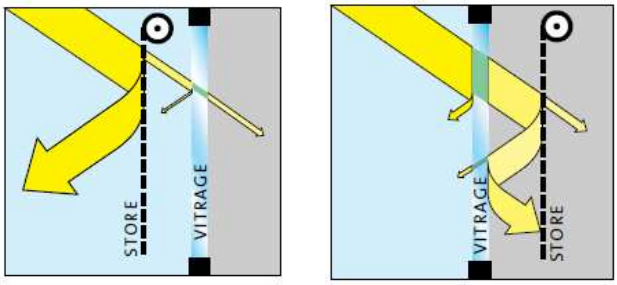
- Logements : pas de contrainte sur les vitrages Sud, surface vitrée < 20% sur les autres orientations
- Tertiaire : surface vitrée < 50%
- Des éléments lisses peuvent recouvrir des parois opaques assurant un niveau élevé d'isolation.
- Garantir un éclairement naturel important
- Transmission lumineuse : >70% pour le tertiaire, >80% pour les logements

Ces solutions sont mises en œuvre pendant les phases d'étude de conception ou de rénovation d'un bâtiment.
Le choix des vitrages doit être vérifié en phase travaux..

COMMENT LIMITER LES APPORTS DE CHALEUR EXTERIEURS PAR DES SOLUTIONS PASSIVES?

Les protections solaires permettent d'empêcher le passage du rayonnement solaire. Elles limitent ainsi les apports externes de chaleur.

Les protections solaires externes sont plus efficaces car elles empêchent le l'essentiel du rayonnement solaire de pénétrer à l'intérieur du bâtiment. Avec des protections solaires intérieures, une lame d'air chaud se crée entre le vitrage et la protection, et une partie de la chaleur se diffuse dans le bâtiment.



Protections solaires extérieure et intérieure

Source : GUIDEnR HQE – L'information HQE

Plus la protection solaire est sombre moins elle est efficace (en effet elle absorbe alors plus de rayonnement et en réémet une partie vers l'intérieur). Par contre, plus elle est opaque, plus elle est performante.

Ces solutions sont mises en œuvre pendant les phases d'étude de conception ou de rénovation d'un bâtiment

COMMENT LIMITER LES APPORTS DE CHALEUR INTERNES PAR LE CHOIX D'EQUIPEMENTS INTERIEURS ?

- **Cas de l'éclairage**

L'éclairage produit de la chaleur. En favorisant l'éclairage naturel pendant la journée, on évite d'ajouter les apports internes de l'éclairage.

Il faut de plus éviter d'exiger dans le programme des niveaux d'éclairement et d'uniformité trop élevés, qui impliqueraient des puissances installées et des apports internes important , en contradiction avec des objectifs d'efficacité énergétique et de confort d'été. Pour aboutir au meilleur compromis entre confort d'été et confort visuel, une réflexion doit être menée par la maîtrise d'ouvrage au stade du programme sur les niveaux d'éclairement réellement nécessaires pour les différents espaces du bâtiment ; il s'agira de préciser au maximum si cet éclairement devra être obtenu sur le plan de travail, sur des rayonnages, etc., plutôt que d'exiger une uniformité sur tout l'espace. Il est également souhaitable d'exiger la mise en place de systèmes d'éclairage à faible dégagement de chaleur (dits basse consommation). Le programme pourra inclure des exigences en termes de puissance installée par m² et par espace. Une exigence mise en place sur les bureaux qui permet d'avoir un objectif performant est 6 W/m².

Une régulation de l'éclairage (variation d'intensité, détecteurs de présence) et/ou la sensibilisation des utilisateurs sont aussi essentiels pour adapter l'éclairage à l'occupation et l'éclairement naturel, et donc de réduire les dégagements de chaleur.
Ces solutions sont mises en œuvre pendant les phases d'étude de conception ou de rénovation d'un bâtiment..

- **Cas des appareils électriques et électroniques**

Ils représentent souvent la plus grande part des apports internes (en particulier les équipements bureautiques de plus en plus présents dans tout type de bâtiment).

De même que pour l'éclairage, il faudra utiliser des équipements performants pour réduire les apports de chaleur.

Il est possible aussi de réunir les équipements dégageant le plus d'énergie en un lieu unique. Il sera plus aisé et moins consommateur de traiter ce seul lieu qu'une multitude de locaux (principe du système « client léger » en informatique).

Ces solutions sont mises en œuvre pendant les phases d'étude de conception ou de rénovation d'un bâtiment. Les équipements sont souvent installés après la construction/rénovation du bâtiment. Il s'agit de sensibiliser les utilisateurs du bâtiment.

COMMENT LIMITER LES APPORTS DE CHALEUR AVEC UNE GESTION INTELLIGENTE DU BATIMENT?

La gestion technique du bâtiment (GTB, aussi parfois appelée GTC pour Gestion Technique Centralisée) permet de mieux gérer le fonctionnement des équipements.

Une gestion intelligente du bâtiment permet de réduire les consommations énergétiques et d'utiliser le bâtiment de manière optimum. On estime qu'elle peut permettre de supprimer jusqu'à 10% des charges internes. Néanmoins, la GTB représente un coût supplémentaire à prendre en compte dans le budget de construction.

Lors de la construction ou de la réhabilitation d'un bâtiment, la réflexion de la maitrise d'ouvrage dit porter sur la mise en place ou non d'une GTB et la liste des équipements qu'elle souhaite piloter. Cela peut dépendre de la taille du projet, de la gestion souhaitée du bâtiment suivant les qualifications internes ou externes de la maitrise d'ouvrage….

QUELLE SOLUTION « NATURELLE » PEUT ETRE MIS EN PLACE?

La ventilation naturelle permet de rafraichir l'intérieur d'un bâtiment seulement si la température extérieure est inférieure à la température intérieure. Elle est principalement utilisée la nuit en été. Elle permet de décharger la chaleur stockée à l'intérieur du bâtiment.

La ventilation naturelle dépend de plusieurs facteurs :

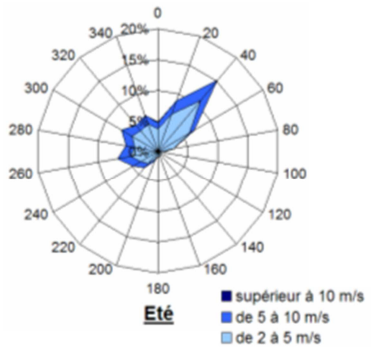
- Les effets du vent sur les façades, créant des différences de pression et donc des flux d'air ;
- La différence de hauteur entre 2 ouvertures ou sur une même ouverture, plus elle est importante et plus le débit généré est important ;
  La différence de température entre intérieur et extérieur, plus il est élevée et plus le débit généré est important.

De plus la ventilation naturelle ne peut se faire que si

les ouvrants peuvent être ouverts. Il faut donc étudier l'impact de l'environnement sonore extérieur pendant l'utilisation du bâtiment et la sécurisation de ces ouvrants en inoccupation cf § 3.3.2.3

La ventilation naturelle sera souvent modérée en été. C'est l'inconvénient principal de la ventilation naturelle qui réside dans le fait que les débits de ventilation varient avec les conditions climatiques.

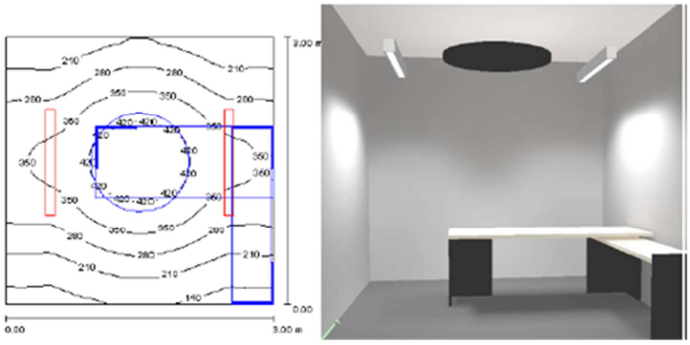
Cas particulier des cheminées solaires : La cheminée solaire permet d'augmenter la ventilation naturelle par un tirage thermique .Ex : Fiche sur l'Ecole du Centre de Pantin.



Rose des vents permettant de définir la direction principale du vent en été pour optimiser la ventilation naturelle.

QUELLES SOLUTIONS ACTIVES AVEC FAIBLE CONSOMMATION ENERGETIQUE PEUVENT ETRE MISES EN PLACE?

Les brasseurs d'air mettent l'air en mouvement, ce qui permet d'augmenter la dissipation thermique du corps humain. Avec une température égale, les individus ressentent ainsi un plus grand confort.
Une étude de positionnement des brasseurs d'air est nécessaire pour optimiser l'effet induit sur les personnes et pour vérifier la compatibilité avec l'éclairage artificiel



Exemple d'étude de brasseurs d'air mis en place dans un environnement de bureau

Le rafraichissement direct est une solution utilisant la géothermie (sur nappe ou sur sonde) qui permet d'améliorer le confort estival. Cette solution permet des économies sur les consommations et les gaz à effets de serre. Cependant elle n'est pas applicable à tous les cas.
Les points suivants sont à étudier pour valider l'utilisation du rafraichissement direct :

- Besoins du bâtiment : l'utilisation d'une eau tempérée (17°C environ) pour rafraichir des locaux nécessite la mise en place d'émetteurs de type plancher ou plafond rafraichissant. Leur puissance de rafraichissement est limitée. Les besoins en rafraichissement ne doivent pas excédés la puissance disponible par ces éléments.
- Etude préalable de faisabilité de production thermique par la géothermie, qui consiste principalement à identifier le potentiel du sous-sol, de la ressource, et statuer sur les possibilités de recourir à la nappe phréatique ou aux échanges avec le sous-sol pour les usages concernés. Cette étude est faite par un hydrogéologue
- Contrainte géométrique de terrain : Dans le cas où les espaces non construits du projet sont quasi inexistants, les solutions de géothermie sur sonde sont impossibles à mettre en œuvre (capteurs horizontaux ou sondes géothermiques). Etudier la possibilité d'exploiter les pieux de fondation comme capteurs verticaux. Dans le cas d'une PAC sur nappe, il est nécessaire d'avoir environ 100 mètres entre le forage d'exhaure et le forage de réinjection.
- Test in-situ : Après avoir étudié la faisabilité, il est nécessaire d'effectuer des test in-situ pour confirmer le potentiel géothermique.

NOTA : <u>Procédure AQUAPAC :</u> La procédure Aquapac est une assurance qui couvre les risques géologiques liés à

la possibilité d'exploitation énergétique d'une ressource aquifère puis au maintien de ses capacités dans le temps.

La surventilation consiste à ventiler les locaux avec des débits supérieurs aux débits nécessaires pour la qualité de l'air – débits hygiéniques. La surventilation peut aussi être réalisé par ventilation naturelle, voir le chapitre précédent. Le but recherché est de rafraîchir le bâtiment, en ventilant la nuit notamment lorsque la température extérieure est inférieure à la température intérieure. Pour que cette solution soit efficace, il faut que l'inertie du bâtiment soit très importante et que les apports thermiques au cours de la journée soient faibles (voir encadré relatif à l'inertie)..

QUELLES SOLUTIONS ACTIVES IMPLIQUANT UNE CONSOMMATION ENERGETIQUE IMPORTANTE PEUVENT ETRE MISES EN PLACE?

Les systèmes de production de froid permettent de combattre une partie des apports thermiques et donc de lutter contre la montée en température à l'intérieur des locaux en période estivale. Le rafraichissement d'un local se fait soit :

- Par l'air directement envoyé directement dans les locaux
  Par l'eau envoyée dans des planchers ou des plafonds rafraichissants ou des systèmes avec batterie type ventilo-convecteurs

Les différentes techniques sont décrites dans le catalogue en première partie de ce recueil (réseau de froid urbain, géothermie, climatisation solaire, groupe frigorifique, pompe à chaleur sur eau ou sur air, rafraichissement adiabatique…)
Les principaux critères de choix sont les suivants:

- La performance énergétique : Elle se caractérise notamment par le rendement de l'équipement (énergie amenée / énergie utilisée). Elle conditionne directement la facture énergétique.
- L'impact environnemental : Le bilan carbone (dégagement de gaz à effet de serre dans l'atmosphère) traduit l'impact sur le réchauffement climatique. Il est lié à la source d'énergie mais aussi au fluide frigorigène utilisé. La consommation de produits chimiques nocifs est également à considérer. La consommation d'eau doit également être prise en compte, notamment si cette ressource est rare.
- Le confort, hygrothermique et acoustique : Il concerne directement les usagers des locaux.
  Le confort acoustique est principalement lié aux émetteurs de froid du fait de leur proximité avec les usagers.
  Il est important notamment dans les zones de travail prolongé. Le confort thermique est aussi lié aux émetteurs, et bien sûr à la température et l'hygrométrie que le système permet d'obtenir.
- La maintenance et la maintenabilité, c'est à dire facilité et fréquence d'intervention et d'approvisionnement pour le maintien d'un système efficace et durable dans le temps, ce paramètre a un impact sur le coût global de l'installation.
- La facilité d'intégration. l'intégration architecturale d'un système peut être plus ou moins complexe, et dans certains cas, non réalisable. Ce paramètre, qui peut avoir un impact sur l'architecture et le coût du bâti, est particulièrement important dans les bâtiments existants.
- Le coût global : cette notion intègre l'ensemble des coûts des équipements sur leur durée de vie : coût d'investissement, les coûts énergétiques et le coût d'entretien et de maintenance des équipements

c) ***Implémentation des solutions***

Pour répondre aux besoins de froid, on peut avoir recours à des systèmes utilisant du froid « gratuit » et ne consommant pas d'énergie (systèmes passifs) ou peu d'énergie, ou utiliser des systèmes de production de froid.

Le choix du système dépendra de l'utilisation prévue du local/bâtiment, du niveau de confort souhaité et du projet (construction neuve ou bâtiment existant). Outre l'installation de systèmes performants, une bonne gestion des équipements est essentielle.

3.3.4 AU NIVEAU DES SYSTEMES DE TRANSPORT

3.3.4.1 Spécificités du secteur

Le secteur des transports présente, par rapport au secteur du bâtiment ou de l'urbanisme, certaines spécificités :

- La maturité vis-à-vis de la question du rafraichissement s'avère plus faible que pour les autres secteurs : les démarches de développement durable dans le domaine du transport sont traditionnellement orientées vers la réduction de pollution, du bruit…, la thématique du rafraichissement[8] restant globalement en retrait dans les réflexions des acteurs. On constate que des solutions aujourd'hui éprouvées techniquement (ombrières de parking par exemple) sont pour l'heure assez peu utilisées par les collectivités ;
- Par ailleurs, il est nécessaire de noter que si la collectivité peut avoir directement la main sur son parc de bâtiment (par des rénovations ou des constructions neuves par exemple), les possibilités peuvent paraître plus limitées en première analyse dans le domaine des transports. Il existe néanmoins des solutions intéressantes pour influer relativement facilement sur le parc de transport en commun, sur les véhicules directement exploités (flotte de véhicules de service ou de fonction) ainsi que sur le parc privé.

Il s'agira de noter enfin que le choix des solutions pertinentes à mettre en place par la collectivité sur le champ des transports diffère selon les compétences (ex. : autorité organisatrice de transport urbain) de cette dernière et par là même de l'échelle territoriale.

Des solutions d'aménagement qui permettent de favoriser le rafraîchissement dans les transports sont traitées de façon générale dans le volet urbanisme, s'appliquant de façon générale à la fois aux transports et aux autres espaces urbains. Certaines solutions, comme la végétalisation des axes de transport sont brièvement évoquées dans cette partie : pour plus d'information on se reportera à la partie 3.3.2.

3.3.4.2 Cheminement permettant de mener à la mise en place de solutions pertinentes de rafraichissement à faible impact climatique

a) ***Identification des besoins et des opportunités***

QUELLE EST L'AMBITION DE LA COLLECTIVITE VIS-A-VIS DES DEPLACEMENTS SUR SON TERRITOIRE ?

Dans un premier temps, la collectivité doit réaliser une analyse de sa politique de déplacement, mise en œuvre au travers de son Plan Local de Déplacement (PLD) ou son Plan de Déplacement Urbain (PDU). Ce retour aux « documents fondateurs » permet de dessiner l'univers des contraintes, les besoins des habitants…

Sur le parc privé, les mesures existantes (nationales, locales…) doivent être recensées : aides à l'acquisition de véhicules performants, la mise en place d'équipements collectifs permettant de limiter la demande de rafraichissement…

[8] Pourtant reliée à ces sujets, un dispositif de rafraichissement pouvant aboutir *in fine* à une réduction de la consommation de carburant par exemple (réduction du besoin de climatisation) et donc de polluants.

Tant sur le parc de véhicules gérés par la collectivité (à destination de ses employés) que sur le parc de transports en commun, il est nécessaire de reprendre les objectifs en termes de performance environnementale à atteindre (qui n'intègrent rarement la question du rafraichissement), ainsi que les besoins propres à ce parc (autonomie, confort à rendre à l'usage…). Cela s'applique à la fois sur les parcs de véhicules existants, le renouvellement des parcs et la création de parcs nouveaux.

Il s'agit donc de poser la question de l'ambition de la collectivité :

- En faveur des modes de transport doux : développement des itinéraires cyclables, réseau de transport en commun, facilitation du covoiturage, des déplacements à pieds…
- Sur le parc de véhicules privé circulant dans la collectivité ?
- Sur le parc de véhicules qu'elle gère ? Sur les transports en commun ?

Tous ces éléments de diagnostic constituent un socle autour duquel pourra se construire une stratégie de rafraichissement plus globale, et qui pourront être consolidés autour de questions complémentaires : Ces ambitions répondent-elles à un besoin exprimé par les administrés ? Y a-t-il un consensus sur la problématique du rafraichissement (identification de « points durs » : parkings à fort inconfort l'été…) ? Quels acteurs pourraient se voir impactés par la mise en place de solutions de rafraichissement ?...

b) Identification des solutions envisageables

La définition des ambitions de la collectivité sur les différents sujets présentés précédemment lui permettent ainsi d'identifier les solutions qu'elle peut utiliser, sur deux axes :

- **Caractéristiques du territoire**

DANS QUELLES CONDITIONS PEUT-ON DEVELOPPER LES MODES DOUX ?

De façon générale, qu'il s'agisse du parc collectif ou privé, il est nécessaire pour la collectivité, dans une perspective de réduction des émissions de gaz à effet de serre, des polluants, du bruit, de la chaleur anthropique etc., de privilégier les modes de transport doux (développement des pistes cyclables, offres de véhicules électriques ou de cycles en partage), de faciliter l'utilisation des transports en commun et de faciliter le covoiturage. Ces modes de transport permettent de réduire le nombre de véhicules en circulation, ce qui permet non seulement de réduire les apports de chaleur anthropiques au territoire (permettant ainsi de limiter les îlots de chaleur urbains), mais aussi de réduire les besoins de rafraichissement (inutiles dans le cas de transports doux type marche à pied ou cycles, mutualisés dans le cas du covoiturage ou de l'utilisation de transports en commun.

Ville d'Ermont

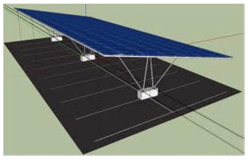
Ville de La Bourboule

Bien entendu, ces solutions ne sont généralement pas mises en place en réponse à une problématique de rafraichissement ; il est en revanche pertinent de les intégrer dans la réflexion globale sur cette dernière, ne serait-ce que pour en estimer la contribution.

QUEL EST LE POTENTIEL DE DEPLOIEMENT DE SOLUTIONS « OMBRIERES DE STATIONNEMENT » ?

Il est recommandé d'étudier la faisabilité de limiter les apports solaires des véhicules en stationnement, par le biais par exemple d'ombrières (photovoltaïques, végétales…). Peuvent ainsi être équipés en ombrières :

- les terminus de transport en commun (permettant de réduire les apports entre les rotations des véhicules),
- les zones de remisage des véhicules, utilisés lorsque les véhicules ne sont pas en fonctionnement (voir exemple des voies de remisage du tramway à Bordeaux),
- les zones de stationnement des véhicules[9] (parkings du parc de véhicule utilisé par le personnel de la collectivité, aires de stationnement multimodaux, parcs de stationnement des bâtiments publics et des sites de tourisme…)…



Solstyce

Enerzine

L'intégration de panneaux photovoltaïques permet à la collectivité, en sus des bénéfices liés à la réduction des besoins de rafraichissement des véhicules, de produire de l'électricité renouvelable. Les ombrages végétalisés permettent quant à eux de compléter la végétalisation existante sur le territoire et de contribuer au rafraichissement du milieu urbain.

- **Matériel roulant**

COMMENT LIMITER LES APPORTS THERMIQUES ?

Plusieurs dispositifs techniques permettent de répondre aux besoins de rafraichissement de véhicules neufs. Il est nécessaire dans un premier temps de favoriser les solutions de limitation des apports solaires des véhicules en fonctionnement :

- Par le biais du choix des caractéristiques des véhicules. La collectivité peut en effet privilégier, lors du renouvellement ou de la création d'un parc de véhicules, des véhicules minimisant les apports thermiques extérieurs : couleurs et matériaux de la carrosserie des véhicules, utilisation de vitrage athermique ou intelligent[10]…
- En utilisant des systèmes de réutilisation de l'énergie de freinage, qui permettent d'éviter les réchauffements par frottements et de réduire les consommations énergétiques. Ce type de système peut en particulier être utilisé pour les trains et les métros.

Vitrage athermique sur réseau de bus de Reims, http://www.transbus.org/dossiers/climatisation.html

QUELS TYPES DE SYSTEMES DE RAFRAICHISSEMENT PRIVILEGIER POUR ASSURER UNE BONNE PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE DU SYSTEME ?

Si les études menées concluent en une nécessité de l'utilisation de systèmes de rafraichissement actifs par les utilisateurs, il est nécessaire de :

- Optimiser le système de rafraichissement dans un premier temps: Il s'agit par exemple de valider la bonne homogénéisation de la température intérieure par des systèmes de diffusion d'air frais bien distribués, de permettre le recyclage

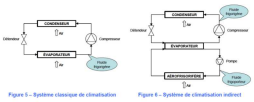
[9] Viser en priorité les parcs de stationnement concentrant des quantités importantes de véhicules sur les horaires les plus chaudes de la journée, ainsi que sur les zones de stationnement de véhicules occupés durant leur stationnement (ex : cars de tourisme).

[10] Ces derniers choix, particulièrement innovants, constituent également des opportunités de communication des efforts de la collectivité sur le rafraichissement.

de l'air intérieur (lorsque celui-ci est plus frais que l'air extérieur, permettant ainsi de réduire les besoins en rafraichissement), de régler correctement la température de consigne (par exemple par rapport à la température extérieure)…

Grille d'aspiration de l'air à l'intérieur d'un autobus *http://www.transbus.org/dossiers/climatisation.html*

Utiliser des systèmes de rafraichissement performants : on pourra utiliser des boucles indirectes de rafraichissement (dans le cadre de transport en commun), la technologie ECG pour les autobus (éco-gestion du système d'air conditionné : optimisation du fonctionnement du groupe froid) permettant de réduire l'appel à la climatisation en période de forte demande de puissance mécanique, l'utilisation de rafraichissement adiabatique évaporatif, l'utilisation de fluide frigorifique moins émetteur de gaz à effet de serre… Ces solutions demandent une étude préalable avec des bureaux spécialisés afin de valider leur pertinence et de garantir le niveau de confort spécifié.



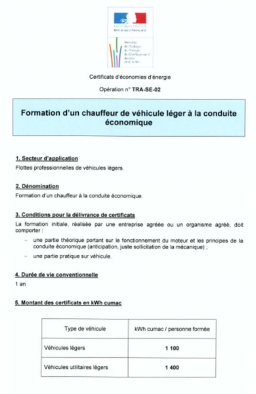
La climatisation des autobus, Impacts consommation et pollution, L. Gagnepain, 2007

c) *Implémentation des solutions*

Une fois les solutions envisageables identifiées et sélectionnées, leur mise en œuvre nécessite une réflexion complémentaire, à la fois en termes d'articulation des solutions entre elles (afin d'optimiser la performance environnementale du système) mais également et surtout d'accompagnement des acteurs à l'usage des véhicules.

LES USAGERS DES TRANSPORTS EN COMMUN, LES CONDUCTEURS DE TRANSPORT ET COMMUN ET LES AGENTS DE LA COLLECTIVITE SONT-ILS SENSIBILISES REGULIEREMENT AUX BONNES PRATIQUES COMPORTEMENTALES DE RAFRAICHISSEMENT DES VEHICULES ?

De façon générale, pour l'ensemble des usagers du parc de véhicules de la collectivité comme des particuliers, une sensibilisation sur les comportements permettant de réduire les émissions liées au rafraichissement est nécessaire. En particulier, l'utilisation de la fonctionnalité « éco-mode », qui permet de limiter l'utilisation de climatisation (en fonction de la température intérieure de la voiture), l'utilisation manuelle de la climatisation, permettant de favoriser l'utilisation de climatisation uniquement lorsque l'usager en ressent le besoin, le développement du free-cooling…



Certificats d'économies d'énergie

Opération n° TRA-SE-02

Formation d'un chauffeur de véhicule léger à la conduite économique

1. Secteur d'application
Flottes professionnelles de véhicules légers.

2. Dénomination
Formation d'un chauffeur à la conduite économique.

3. Conditions pour la délivrance de certificats
La formation initiale, réalisée par une entreprise agréée ou un organisme agréé, doit comporter :
- une partie théorique portant sur le fonctionnement du moteur et les principes de la conduite économique (anticipation, juste sollicitation de la mécanique) ;
- une partie pratique sur véhicule.

4. Durée de vie conventionnelle
1 an

6. Montant des certificats en kWh cumac

Type de véhicule	kWh cumac / personne formée
Véhicules légers	1 100
Véhicules utilitaires légers	1 400

Fiche CEE formation éco-conduite

Pour cela, il est nécessaire dans un premier temps d'identifier les parties prenantes au projet, afin de s'assurer qu'elles sont sensibilisées aux bonnes pratiques de rafraichissement : chauffeurs, employés, administrés, entreprises délégataire du service de transport…

Par ailleurs, il est nécessaire sur de telles actions de prévoir de renouveler de façon régulière la sensibilisation (par exemple une fois par an en amont de la saison estivale), afin d'effectuer les « piqures de rappel » nécessaires au changement de comportement des utilisateurs. On considère que des actions de sensibilisation sont nécessaires de façon annuelle (par exemple en prévision des vagues de chaleur). Des actions de formation plus approfondies à destination des agents des collectivités peuvent être complémentaires, elles sont nécessaires tous les 3 ans a minima (il s'agit de la durée de vie définie dans les Certificats d'Economie d'Energie (CEE) d'une action de formation à l'éco-conduite).

4. FICHES EXEMPLES

Les fiches exemples présentées en annexe du présent document illustrent un certain nombre de solutions performantes déjà mises en œuvre par des collectivités, et les principaux résultats de ces réalisations. Elles concernent les secteurs de l'environnement urbain, des bâtiments et du transport.

Il s'agit des 10 exemples suivants :

- **Rafraichissement par l'optimisation de la morphologie urbaine : simulation du microclimat du quartier Tripode à Nantes**
- **Rafraîchissement par la végétation : Développement des espaces végétalisés - PLU de la ville de Martigues**
- **Rafraichissement par une meilleure connaissance des interactions urbaine : le programme PIRVE à Toulouse**
- **Rafraîchissement des rames de tramway en stationnement de jour : ombrières du centre de maintenance et remisage du Tramway à Bordeaux**
- **Rafraichissement du personnel et des publics sensibles : Dispositifs organisationnels et techniques mis en place par une collectivité : Le conseil Général du Val de Marne**
- **Rafraîchissement de bureaux et de commerces par climatisation solaire : le projet pilote du quartier de l'Arche Jacques Cœur à Montpellier**
- **Rafraîchissement par la combinaison de plusieurs dispositifs passifs dans un bâtiment accueillant du public : le bureau de poste de Rennes Colombier**
- **Rafraichissement d'un bâtiment de bureaux par une combinaison d'architecture bioclimatique et de géothermie : le siège d'ALTO Ingénierie à Bussy St. Martin**
- **Rafraichissement géothermique d'un bâtiment avec des apports internes de chaleur importants : le théâtre de l'Archipel à Perpignan**
- **Rafraichissement par une combinaison de dispositifs bioclimatiques et de production d'énergie renouvelable (Ecole de Pantin)**

Ces fiches exemple montrent en particulier :

- L'importance d'une approche « systèmes » : dans la majorité des cas, ces exemples illustrent la complémentarité entre différents types de dispositifs : combinaison de systèmes passifs et actifs, de dispositifs organisationnels et passifs… ;
- Par voie de conséquence, l'importance de la mobilisation de parties prenantes d'horizons différents (en interne à la collectivité, mais également en externe) ;
- La faisabilité de l'utilisation de tels dispositifs par les collectivités en France dès aujourd'hui, sur des territoires très différents et des espaces à usages diversifiés;
- Le caractère transversal des approches : qu'il s'agisse de bâtiments, de ville ou de systèmes de transport, le cadre de réflexion est sensiblement le même.

CONCLUSION

Les politiques de lutte contre le changement climatique nécessitent de modifier les perceptions et les comportements des acteurs de manière radicale. Par ailleurs, les deux facettes de ces politiques (adaptation et atténuation), la variété des acteurs mobilisés, l'étendue des solutions… génèrent une certaine complexité, tant au moment de la définition de stratégies globales qu'à celui du choix d'actions précises.

La thématique du rafraichissement illustre de manière exemplaire cette complexité, au premier rang desquelles les collectivités sont exposées : en effet ces dernières, en charge de la mise en œuvre de Plans climat-énergie territoriaux, doivent activer des transitions à différentes échelles, en partenariat avec des acteurs de différentes natures.

Ainsi, au-delà des solutions techniques présentées dans ce guide sur lesquelles elle s'appuie, la définition d'une stratégie de rafraichissement à l'échelle de la collectivité nécessite une réflexion globale, portant sur les parties prenantes à intégrer, les champs d'actions (urbanisme, cadre bâti, système de transports, ces trois champs étant connectés), les leviers à activer (eux-mêmes fonction du type de compétences portées par la collectivité)…

Malgré cette complexité, des solutions sont mises en œuvre et démontrent que des marges d'amélioration sont possible. Ce guide, qui présente des méthodes et techniques éprouvées ainsi que des expériences concrètes, a vocation à engager à l'action les collectivités dans leur démarche de rafraichissement.

Bien entendu, la mise en œuvre progressive des solutions et l'avancement des connaissances permettront d'enrichir au fur et à mesure le catalogue présenté ici : ce mouvement sera l'occasion également de passer de logiques d'expérimentations à une véritable stratégie de déploiement du rafraichissement en France.

5. ANNEXE

4.1 BIBLIOGRAPHIE ET SITES INTERNET

1) Dispositifs de rafraîchissement à faible impact climatique environnemental, Etat de l'art des travaux de recherche et développement, ADEME, TECSOL, IZUBA, 2012

2) Mesures de lutte aux îlots de chaleur urbains – Institut National de Santé Publique du Québec – Juillet 2009

3) Les îlots de chaleur urbains - L'adaptation de la ville aux chaleurs urbaines – Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile-de-France – Novembre 2010

4) Les îlots de chaleur urbains - Répertoire de fiches connaissance – Institut d'Aménagement et d'Urbanisme d'Ile-de-France – Novembre 2010

5) Contribution à l'analyse de la prise en compte du climat urbain dans les différents moyens d'intervention sur la ville – Colombert Morgane – Université Paris-Est – 2008

6) Concevoir des espaces extérieurs en environnement urbain: une approche bioclimatique – Projet RUROS – CRES - 2004

7) Villes et adaptation au changement climatique – Observatoire National sur les Effets du Réchauffement Climatique (ONERC) – 2010

8) Du Microclimat au bâtiment – Concevoir en milieu urbain : prise en compte des interactions bâti-environnement urbain – M. Musy – Ecole Nationale Supérieure Architecture Nantes – CNRS – www.grenoble.archi.fr/chaleursurbaines/diaporama_conf_16-10-07 - 2007

9) www.trameverteetbleue.fr

10) Cahier pratique pour les gestionnaires d'établissement sociaux et médico-sociaux : améliorer le confort d'été dans les établissements pour personnes âgées et handicapées- Ademe, DGAS (Direction Générale de l'Action Sociale), Gazette santé social - n° de réf. ADEME 6473, 2008

11) Cahier 3454 - Guide technique - Systèmes de climatisation à faible consommation d'énergie, CSTB, ADEME, Ecole des Mines de Paris, avril 2003

12) Confort d'été en Provence Alpes Côte d'Azur, ARENE EnviroBAT Méditerranée, 2001.

13) http://www.coolregion.fr/: Projet Européen Coolregion (projet financé par l'Europe et la région Rhône-Alpes), 2007

14) Arrêté du 7 juillet 2005 fixant le cahier des charges du plan d'organisation à mettre en œuvre en cas de crise sanitaire ou climatique et les conditions d'installation d'un système fixe de rafraîchissement de l'air dans les établissements mentionnés au I de l'article L. 313-12 du code de l'action sociale et des familles

15) Le Confort d'été- Informations techniques T18, Enertech, Mutuelle des Architectes Français assurances, Février 2013

16) Fiche Guide confort d'été pour l'habitat, ADEME, 3679, Janvier 2011

17) La climatisation solaire, Rhônalpénergie-Environnement, Septembre 2004

18) Institut pour la Conception Eco-responsable du Bâti (ICEB) Café. Guide Bio-tech, le confort d'été passif, Novembre 2012

19) http://www.hqe.guidenr.fr/cible-2-hqe/index.php

20) Institut pour la Conception Eco-responsable du Bâti (ICEB) Café. Guide Bio-tech, le confort d'été passif, Novembre 2012

21) http://www.hqe.guidenr.fr/cible-2-hqe/index.php

22) Réussir la planification et l'aménagement durables, Guide méthodologique de l'AEU$_2$, ADEME, 2013

23) La climatisation des autobus, ADEME, Laurent Gagnepain - Oct2007

24) Guide de recommandation pour lutter contre l'effet d'îlot de chaleur urbain à destination des collectivités territoriales, ADEME, Région Ile de France, I Care Environnement, Alto Step, Alto Ingénierie, 2012

Les sources utilisées pour la réalisation du catalogue figurent dans la dernière colonne Exemple/ Source et sont précisées directement au sein des fiches exemples.

4.2 GLOSSAIRE

CCCT : Cahier des Charges de Cession de Terrain : Les cessions de terrains à l'intérieur des ZAC font l'objet d'un cahier des charges, approuvé lors de chaque cession ou concession d'usage par le maire, président de l'EPCI ou le préfet

CPAPE : Cahier de Prescriptions Architecturales, Paysagères et Environnementales : Fixe les prescriptions dont les aménageurs et/ou promoteurs et/ou équipe de maîtrises d'œuvres doivent tenir compte pour réaliser leur projet (exemple dans le cadre d'un ZAC)

CPE : Cahier des prescriptions environnementales : Les prescriptions environnementales sur un projet urbain sont la déclinaison d'enjeux environnementaux sur ce projet.

DEC : Dessicant Evaporative Cooling

EBC : Espace Boisé Classé : Zonage réglementaire au sein d'un PLU ayant pour objectif de protéger un espace naturel ou patrimonial

GTB : Gestion technique du bâtiment

ICU : Îlot de Chaleur Urbain

PAC : Pompe à Chaleur

PADD : Projet d'Aménagement et de Développement Durable : il constitue un élément majeur du Plan Local d'Urbanisme dans la mesure où il définit les orientations générales d'aménagement et d'urbanisme retenues pour l'ensemble de la commune,

PAE : Programme d'Aménagement d'Ensemble : outil de financement d'équipement public qui permet à une commune de déterminer un périmètre pour lequel on arrête un programme d'équipement public rendu nécessaire pour répondre aux besoins des futurs habitants, usagers des constructions à édifier dans le secteur concerné, et de mettre à la charge des constructeurs tout ou partie de son coût,

PDU : Plan de Déplacement Urbain : Obligatoire pour les agglomérations de plus de 100 000 habitants. Document de programmation déterminant l'organisation du transport des personnes et des marchandises sur une période de 5 à 10 ans

PLD : Plan Local de Déplacement : Déclinaison locale et non réglementaire du PDU

PLH : Programme Local de l'Habitat : Document fixant les objectifs et le programme d'actions en matière de politique de logement

PLU : Plan Local d'Urbanisme : Fixe les prescriptions règlementaires de constructibilité et des orientations particulières d'aménagement d'une commune ou EPCI. Elargissement du périmètre en 2011 à l'échelle des EPCI sous base du volontariat.

SCOT : Schéma de Cohérence Territorial. Fixe les objectifs et les orientations générales d'aménagement d'un territoire. Le document d'orientation a une valeur opposable qui implique la compatibilité des PDU, PLH et PLU : ils les guident sans imposer de résultats ou des solutions

SRCE : Schéma Régional de Cohérence Ecologique

VRV : Volume de Réfrigérant Variable: En climatisation ou dans les systèmes de production de froid, cette technique permet au système d'adapter sa puissance aux besoins thermiques des locaux traités, à tout moment de la journée et quelle que soit la saison.

ZAC : Zone d'Aménagement Concerté: Opération publique d'aménagement, pour des projets importants d'aménagement de l'espace urbain.

4.3 MEMBRES DU COMITE DE PILOTAGE DE L'ADEME

- Mme Céline PHILIPS, Service Climat, coordination du comité de pilotage

- M. Philippe BAJEAT, Service Animation Territoriale
- Mme Céline COULAUD Service Réseaux et énergies renouvelables
- Mme Sophie DEBERGUE, Service Organisations Urbaines
- Mme Isabelle FEIX, Direction Productions et Energies Durables
- Mme Emmanuelle FOURNIER, Direction régionale Ile de France
- M. Laurent GAGNEPAIN, Service Transports et Mobilité
- Mme Anne LEFRANC, Service Bâtiment
- Mme Sarah MARQUET Service Organisations Urbaines
- Mme Claire RAFRET Chargée de communication
- M. Eric VESINE, Service Climat
- M. Pierre VIGNAUD, Direction régionale Languedoc Roussillon

4.4 REMERCIEMENTS

L'ADEME, ALTO STEP, ALTO Ingénierie et I Care Environnement tiennent à remercier les différentes personnes interrogées dans le cadre de cette mission, en particulier lors de la réalisation des fiches exemples :

- M. Didier ANDRE, COFELY GDF SUEZ
- Mme Rachel BRU, MEANDRE
- M. Frédérick CAUVIN, SERM
- Mme Marie-Thérèse DURAND , POSTE IMMO
- Mme Florence GODEFROY, ADEME Languedoc Roussillon
- M. Sinda HAOUES-JOUVE, Laboratoire Interdisciplinaire Solidarités, Sociétés, Territoires (LISST), Université de Toulouse II
- Mme Charleyne LAFOND, Conseil Général Val de Marne
- M. Gilbert METAIS, Ville de Pantin
- M. Nicolas PLANCHENAULT, Solstyce (Ombrières photovoltaïques)
- M. Michel RAMONET, Mairie de PERPIGNAN
- M. Jean Marc ROUFFET Communauté Urbaine de Bordeaux
- M. Jean Luc SENES, M. Pierre SOUTY, Keolis
- M. Jean-François SINI, Ecole Centrale de Nantes
- La direction Développement Durable et Ecologie urbaine de Toulouse Métropole
- La direction de l'aménagement et de l'urbanisme de la ville de Martigues

4.5 FICHES EXEMPLES