

Démarche décisionnelle sur les choix de stratégies de rafraîchissement pour le confort thermique d'été

Dans l'habitat en climat méditerranéen en milieu urbain dense



Crédits : **Robert Celaire**

Opération Bedzed, Sud de Londres, architecte Bill Dunster

Pôle oénotouristique de Viavino à Saint Cristol (34), architecte Atelier Philippe Madec

"Badgir" ou "capteur à vent" de la ville de Yazd en Iran, exemple d'architecture vernaculaire

Restaurant "le Temps Suspendu" à Saint Jean de Védas (34)



> En page de garde...

- Opération Bedzed, Sud de Londres, architecte Bill Dunster. La ventilation hygiénique des bâtiments est assurée par des dispositifs de captage de ventilation naturelle positionnés dans le sens du vent par des systèmes de girouettes. Elle est également assurée en été par ouverture d'ouvrants.

- Pôle oénotouristique de Viavino à Saint Cristol (34), architecte Atelier Philippe Madec. La ventilation hygiénique et la ventilation de confort d'été des bâtiments sont assurées par des tourelles de ventilation naturelle par tirage thermique et éolien.

- "Badgir" ou "capteur à vent" de la ville de Yazd en Iran. Dans cette ville de près d'un million d'habitants, l'architecture des bâtiments essentiellement en pisé (terre crue) est marquée par ces tours de captage de vent. Elles comportent 4 ou 6 carneaux séparés de telle sorte qu'un ou deux sont toujours face au vent dominant (et donc en surpression). L'air chaud et sec du désert iranien descend par cette ou ces canalisations de grande section et passe ensuite au rez de chaussée dans un espace comportant une fontaine ou un bassin lui permettant de se rafraîchir adiabatiquement par absorption d'humidité, avant d'irriguer les pièces et espaces périphériques. La plupart de ces Badgirs ne sont plus utilisés. Ils ont toutefois été remis au goût du jour dans une version contemporaine par l'agence de Norman Foster dans le projet de Masdar dans l'Emirat d'Abou Dabi.

- Système de rafraîchissement adiabatique par insufflation du restaurant "le Temps Suspendu" à Saint Jean de Védas (34) : l'air chaud et sec extérieur est insufflé dans une gaine sur un corps poreux humidifié de manière contrôlée de telle sorte qu'à la sortie, l'air qui pénètre dans la salle de restaurant est abaissé à une température située dans la plage de confort thermique (typiquement 23°C ou 24°C) tout en conservant une hygrométrie relative également située dans la plage de confort.

Et pour approfondir, « *Natural ventilation in building* », Edition Francis Allard.

> Sommaire

Remerciements	1
Introduction et enjeux	2
Contenu et limitations	3
Principes et dispositifs de rafraîchissement passif ou à faible consommation d'énergie	6
Logigrammes : outils d'aide à la conception	10
Bibliographie	18

> Remerciements

Ils ont alimenté les réflexions en participant à ce groupe de travail, nous tenons à les remercier sincèrement.

Axelle Aimard, ingénieure, EPA Euroméditerranée

Adrien Auvray, ingénieur Conseil, EODD Ingénieurs conseils

Maxime Barbi, ingénieur génie civil, EnvirobatBDM

Christian Betton, gérant et entrepreneur, Energies PRO/OOK1

Frédéric Buisson, responsable pôle étude et marketing, Logirem

Robert Celaire, ingénieur, Robert Celaire Consultants

Guy Durand, agriculteur

Nicolas Guignard, pilote du pôle ressources, EnvirobatBDM

Daniel Halik, ingénieur, CINOV PACA

Noël Jamet, ingénieur, OASIIS

Marie Kobler, architecte, EnvirobatBDM

Mathilde Sautel, ingénieure, Etamine

Rédaction du document : Robert Celaire, ingénieur

Document réalisé sous la direction de Perrine Degueurse-Meny, architecte, EnvirobatBDM

> Introduction et enjeux

Contexte

Le présent document constitue la trame d'une **fiche technique d'appui méthodologique** à des missions de **préprogrammation, de programmation** (MO, AMO, programmistes) ou de conception (architectes, ingénieurs de BE, économistes, paysagistes, ...) pour **la construction ou la réhabilitation d'ensembles de logements en climat méditerranéen** et situés en milieu **urbain dense**, ces opérations ayant pour objectif d'être réalisées dans une optique de **durabilité globale et de transition écologique**.

Quelques-uns des mots clés sous-entendus par cette notion de **transition écologique** sont, pêle-mêle : approche bioclimatique, frugalité, démarche négawatt, bien-être global, recherche de cohérence socio-économique, préoccupation de sauvegarde de la biodiversité, équité, convivialité, participation des usagers (« occupants actifs », pédagogie et reproductibilité, ...).

Cette fiche est ciblée sur la **problématique du rafraîchissement pour le confort thermique d'été dans le cadre d'une approche de confort global, c'est à dire de confort physiologique et psychologique optimal** pour les habitants de ces logements. Il est en effet essentiel que l'amélioration du confort thermique ne se fasse pas, par exemple, au détriment du confort acoustique ou visuel, de la qualité de l'air ou encore des perceptions de sécurité et d'intimité.

Ce document explore les solutions passives et à faible consommation d'énergie qui sont envisageables pour permettre ce confort, **en évitant le recours à la climatisation par compression, dont les impacts écologiques directs et indirects sont considérables**.

Cette technique active impacte le réchauffement climatique en raison de l'émission de gaz à effet de serre résultant de sa consommation énergétique, de sa fabrication et de sa maintenance, notamment à cause des fuites de fluides frigorigènes à très fort PRG (Potentiel de Réchauffement Global)¹.

Dans la plupart des cas en effet, même en site urbain dense, cette climatisation énergivore et à fort impact écologique et économique (achat, fonctionnement, maintenance, remplacement) n'est pas indispensable en climat méditerranéen, à condition que les dispositions ci-après soient mises en œuvre rigoureusement.

Par extension évidente, l'approche méthodologique développée ici pourra faire l'objet d'adaptations appropriées à la conception et à la réhabilitation d'autres typologies architecturales : écoles, équipements publics, autres bâtiments tertiaires, ...

¹ Plus de 600 tonnes de fluides frigorigènes s'échappent chaque année en France des équipements de climatisation, de réfrigération et des pompes à chaleur. Si rien n'est fait, les fuites et émissions de fluides frigorigènes représenteront 30% de l'effet de serre à l'horizon 2030 (Source : Ministère de l'écologie)

> Contenu et limitations

Le développement d'une stratégie de confort thermique d'été à faible impact environnemental au service du confort global commence par la **mise en œuvre de dispositions à l'échelle urbaine**, qui ont pour objet de minimiser l'impact d'un phénomène l'îlot de Chaleur Urbain sur le bâtiment et sur ses usagers. En effet en milieu urbain dense, lorsque la conception de l'urbanisme de la zone a fait l'objet de peu de préoccupations bioclimatiques², un phénomène local d'augmentation de température (l'îlot de Chaleur Urbain ou ICU) se développe et vient se cumuler à la tendance structurelle de réchauffement climatique planétaire. Pour des périodes très ensoleillées et sans vent, pour des masses urbaines à forte inertie et à faible albédo et dans des zones très minéralisées, cet impact peut facilement dépasser 5°C en journée et atteindre même 8°C localement dans les grands centres urbains.

L'obtention du confort sans climatisation est alors parfois très difficile, et nécessite un vrai travail global comme indiqué ci-après, car « il ne suffira pas de ventiler » ... Nous limitons toutefois, dans la présente fiche, **nos préoccupations stratégiques de confort d'été à l'échelle de l'enveloppe architecturale ou de ses équipements techniques** ; en privilégiant des solutions passives puis des solutions à faible consommation d'énergie, qui doivent faire l'objet d'une démarche comprenant les éléments de stratégie listés ci-après :

- **Stratégie de protection solaire** : végétale ou minérale, fixe ou mobile, étudiée pour chaque paroi avec, en premier lieu, la protection solaire des abords du bâtiment, de ses toitures et de ses baies et autres ouvrants et, en second lieu, la protection solaire des murs ;
- **Stratégie d'inertie thermique** qu'il est manifestement difficile d'améliorer dans le cas de logements existants et dont il faut rappeler que les « quelques premiers centimètres » d'échange inertiel sont les plus efficaces ;
- **Stratégie rigoureuse de minimisation des apports thermiques internes par les occupants et équipements divers** (éclairage artificiel, équipements consommateur d'énergie électrique ou thermique, ...) dont l'énergie se dégradera toujours en chaleur ;
- **Stratégie de ventilation passive (bioclimatique) ou active à faible consommation d'énergie** : utilisation de moteurs à haute efficacité, dispositifs explorant le potentiel de rafraîchissement physiologique de la peau par valorisation de la chaleur latente de vaporisation de l'eau de sudation;
- **Adaptation vestimentaire et métabolique de l'utilisateur ainsi que participation de celui-ci au fonctionnement de l'enveloppe ou des systèmes mis en œuvre** (ouverture d'ouvrants, enclenchements / arrêt des systèmes, ...). Ce dernier point est essentiel. L'occupant doit être au cœur du dispositif de fonctionnement du bâtiment et de son appropriation. Il doit savoir, été comme hiver, reproduire les gestes pour optimiser le fonctionnement bioclimatique et frugal de celui-ci. Le travail de la présente fiche se limite volontairement aux stratégies de ventilation passives et à faible consommation d'énergie, chacun des autres thèmes pouvant également faire l'objet d'une autre fiche de même type, à commencer par la stratégie de protection solaire.

A défaut d'une prise en compte de manière cohérente, globale et symbiotique des 5 autres axes stratégiques présentés ci-avant, intégrant aussi simultanément des préoccupations « d'autres » confort (tels que les confort acoustique, visuel, olfactif, ...), la conception du rafraîchissement ne sera pas opérante, ou aura un impact très limité et ne permettra pas l'obtention d'un confort thermique satisfaisant pour l'utilisateur.

Par ailleurs, le lecteur doit être informé des autres limitations listées ci-après, inhérentes à la présente fiche qui se veut essentiellement méthodologique.

² peu ou pas de végétation, faible albédo, forte inertie des bâtiments environnants, forte densité urbaine ralentissant les écoulements aérauliques, apports anthropiques liés au trafic routier, ...

La présente fiche n'aborde pas :

- de manière détaillée, toutes les conditions de pré-faisabilité des dispositifs architecturaux et techniques concernés ;
- les contraintes réglementaires de mise en œuvre, notamment les contraintes liées à la réglementation incendie ;
- de manière détaillée, les dispositifs architecturaux spécifiques de la famille des principes de ventilation traversante comme les écopos de toiture, les patios, les atriums, les puits dépressionnaires, ... ;
- la temporalité de la gestion de ces dispositifs de rafraîchissement par ventilation (nuit, jour,...) et l'influence de leur régulation humaine ou automatique (« bâtiments passifs, occupants actifs ») ;
- les questions de conception avancée (comme le choix des typologies spécifiques d'ouvrants de ventilation, leurs typologies, ...), de dimensionnement et les spécifications de mise en œuvre.

Notons enfin la dernière limitation essentielle inhérente à la présente fiche : si elle aborde la question de la ventilation comme axe conceptuel d'une stratégie saisonnière de confort thermique d'été, **elle n'aborde pas spécifiquement la problématique, toutes saisons, de la ventilation hygiénique d'évacuation des polluants**. Celle-ci met en jeu des débits plus faibles et nécessite des dispositifs de contrôle et de régulation techniques ou manuels spécifiques, permettant de ne pas altérer confort et performance énergétique. Ceux-ci ne sont pas abordés ici, si ce n'est que certains dispositifs seront, dans certaines conditions, compatibles avec ces « deux ventilations ».

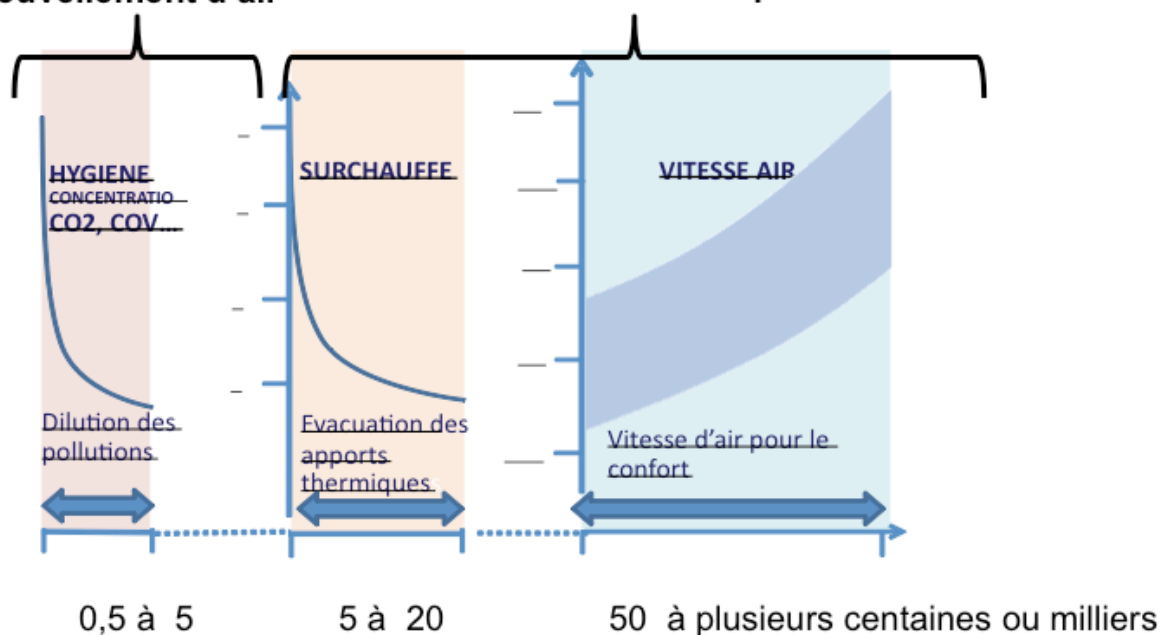
Les ordres de grandeurs de débits liés aux divers « types » de ventilation sont donnés par le schéma ci-dessous.

3 finalités de la ventilation

Hiver et été:

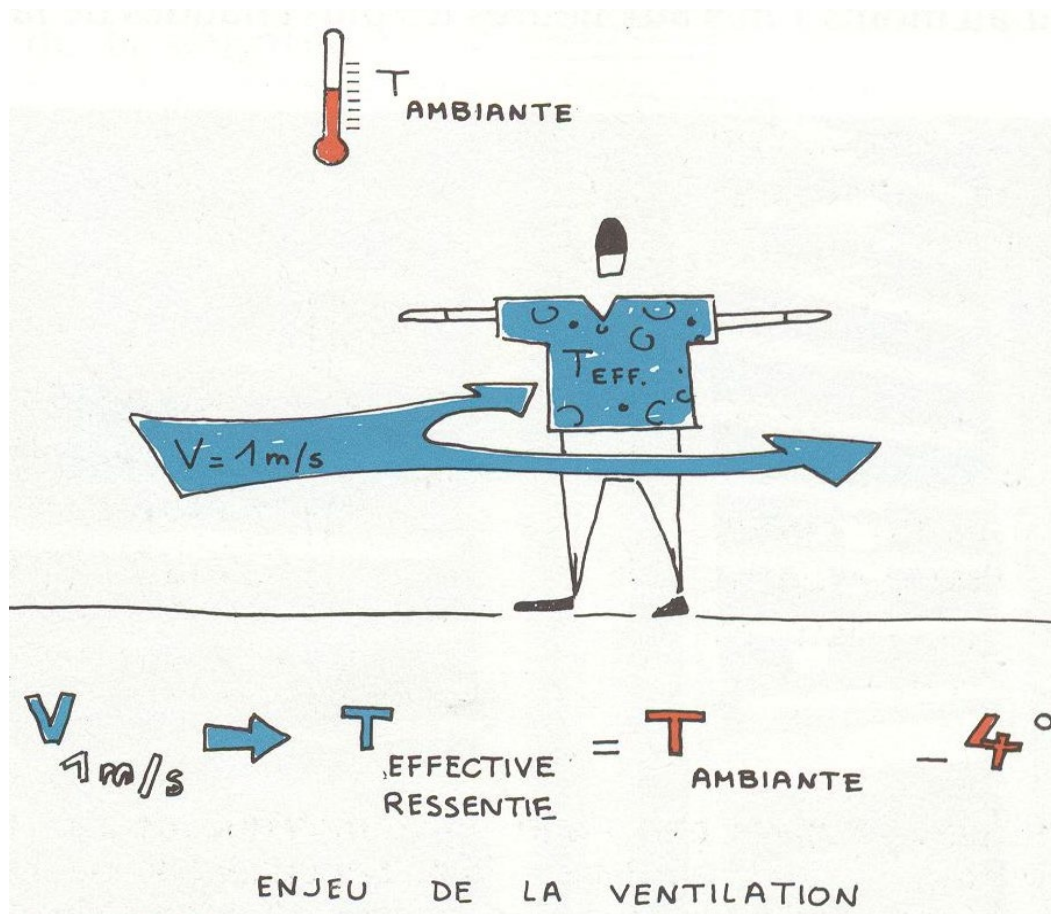
renouvellement d'air

Été : confort thermique



Valeurs en nombre de volume / heure du local – ou ACH

Crédit : Mohamed Abdesselam, ingénieur

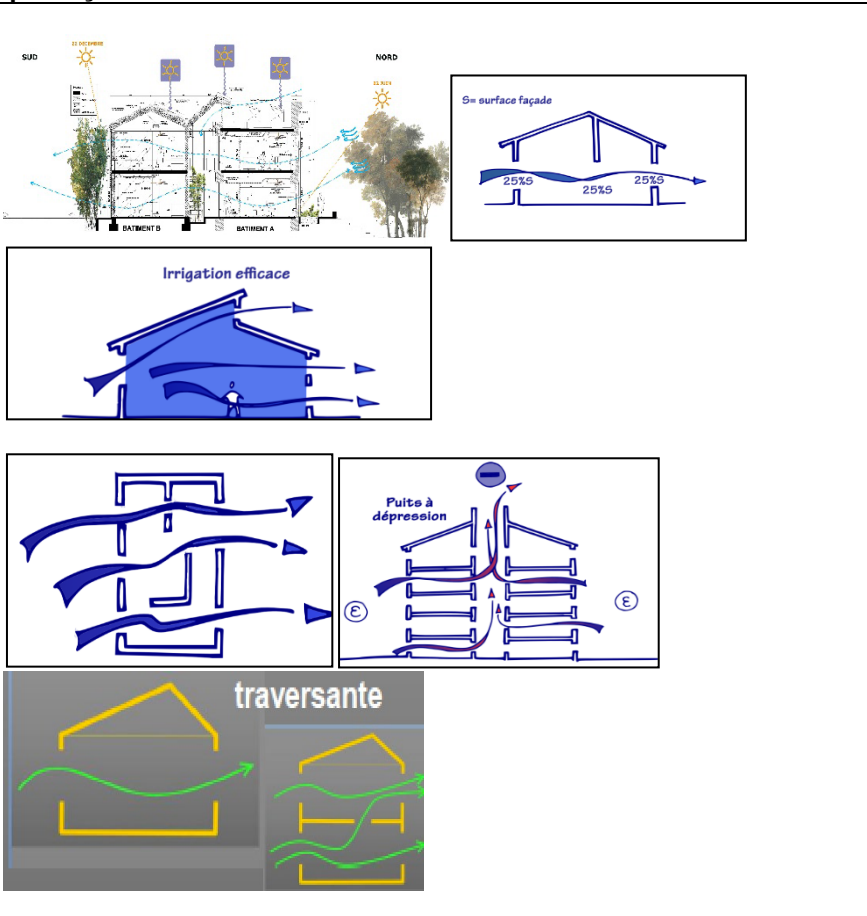
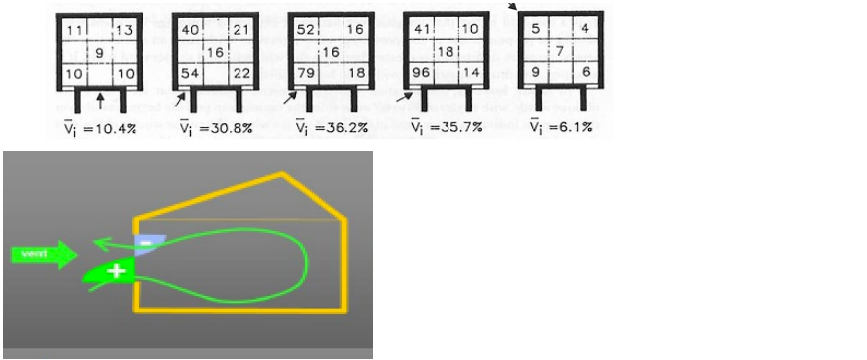


Crédit : Jacques Gandemer, aéraulicien

>Principes et dispositifs de rafraîchissement passif ou à faible consommation d'énergie

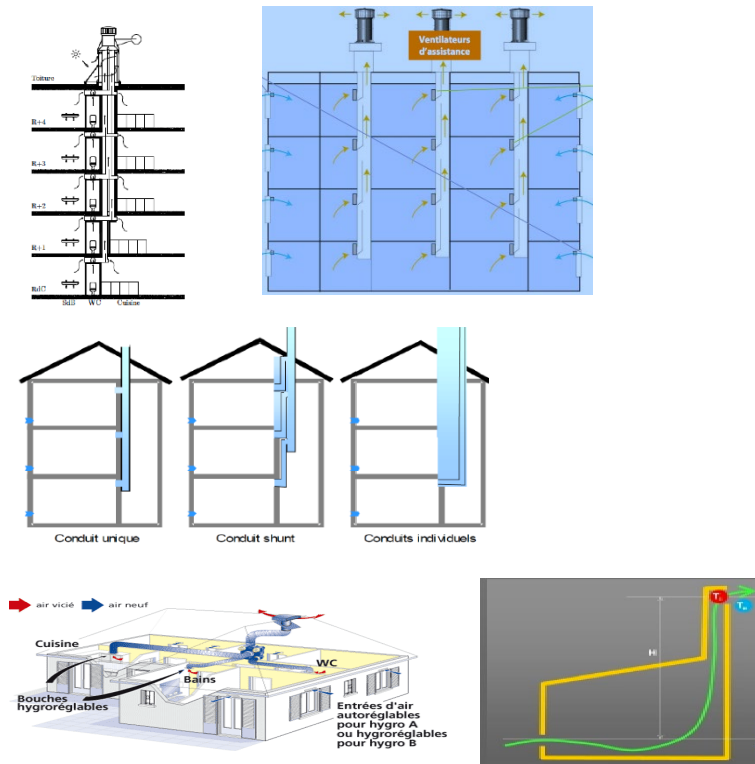
1 > Présentation des dispositifs

De nombreuses solutions de ventilation existent et peuvent être envisagées. Ainsi, au regard de chaque cas particulier, les dispositifs retenus ne seront pas les mêmes. Le tableau suivant vise à porter à connaissance plusieurs réponses aux enjeux de rafraîchissement passif ou à faible consommation d'énergie. Ceux-ci peuvent dans certains cas être cumulatifs ou exclusifs selon les opportunités et configurations possibles.

Ventilation architecturale par façade ou toiture	
<p>1 - Le rafraîchissement par évacuation de la surchauffe et création de vitesse d'air sur l'occupant par ventilation naturelle traversante grâce à la surpression / dépression éolienne, par différence de température entre façades et / ou par tirage thermique</p>	 <p>The diagrams show: 1) A house plan with wind directions from the south and north, and a cross-section showing wind irrigation. 2) A house cross-section showing wind depression with 25% wind speed on each side. 3) A house cross-section showing wind depression with wind speed arrows. 4) A house cross-section showing wind depression with wind speed arrows and a pressure difference symbol (E). 5) Two house cross-sections labeled 'traversante' showing wind flow through the house.</p>
<p>2 - Le rafraîchissement par évacuation de la surchauffe et création de vitesse d'air sur l'occupant par ventilation naturelle grâce à la surpression / dépression éolienne et/ou tirage thermique sur façade en mono-orientation</p>	 <p>The diagrams show: 1) Five house cross-sections with wind speed data: $\bar{v}_i = 10.4\%$, $\bar{v}_i = 30.8\%$, $\bar{v}_i = 36.2\%$, $\bar{v}_i = 35.7\%$, and $\bar{v}_i = 6.1\%$. 2) A house cross-section showing wind flow with a 'swest' arrow and a '+' sign.</p>

Ventilation naturelle, hybride ou mécanique par conduit, cheminées ou gaines

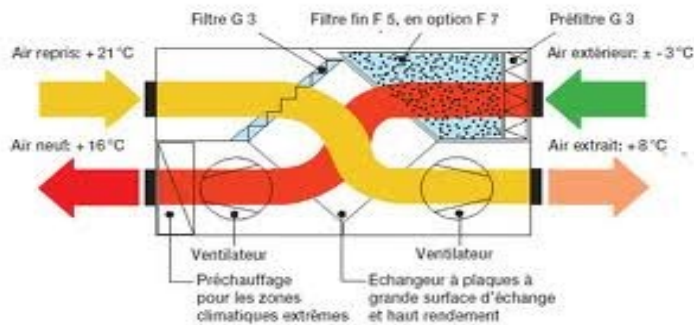
3 - Le rafraîchissement par évacuation de la surchauffe et création de vitesse d'air sur l'occupant par ventilation naturelle grâce au tirage thermique vertical naturel, hybride ou mécanique par conduit ou cheminée



4 - Le rafraîchissement par évacuation de la surchauffe et création de vitesse d'air sur l'occupant par ventilation mécanique simple flux grâce à l'insufflation d'air par conduit

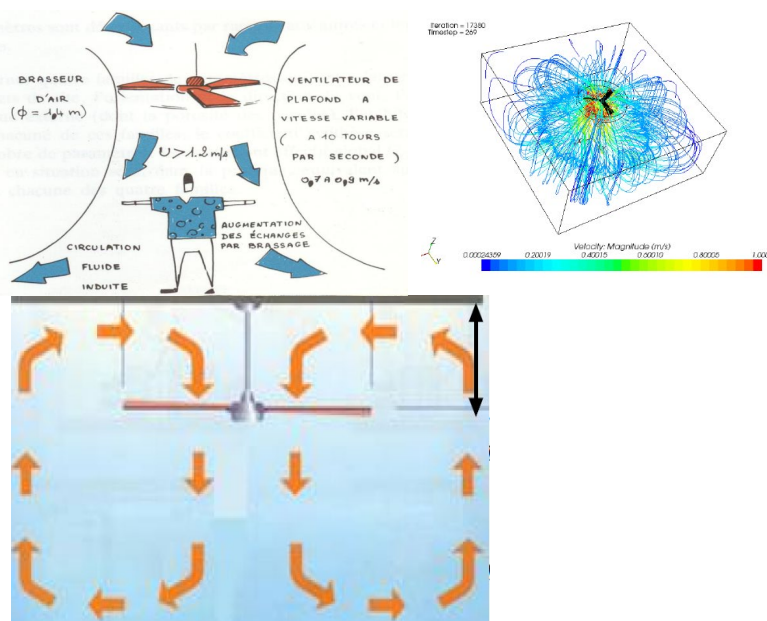


5 - Le rafraîchissement par évacuation de la surchauffe par ventilation mécanique double flux (et utilisation du by-pass de l'échangeur)

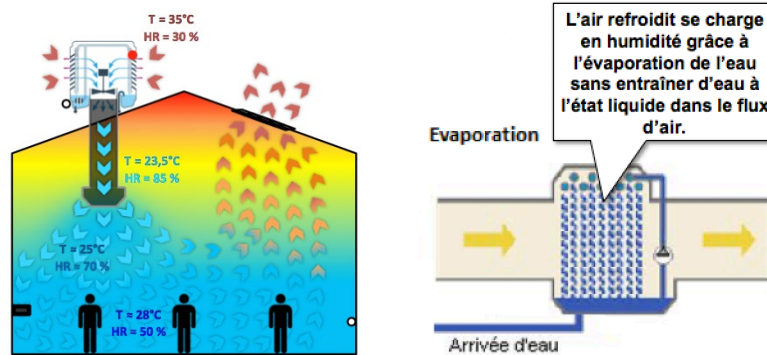


Dispositifs spécifiques de rafraîchissement

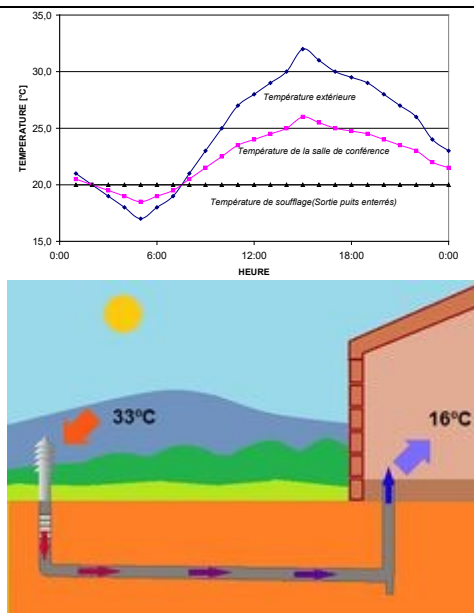
6 - Le rafraîchissement par création de vitesse d'air sur l'occupant par brasseurs d'air plafonniers



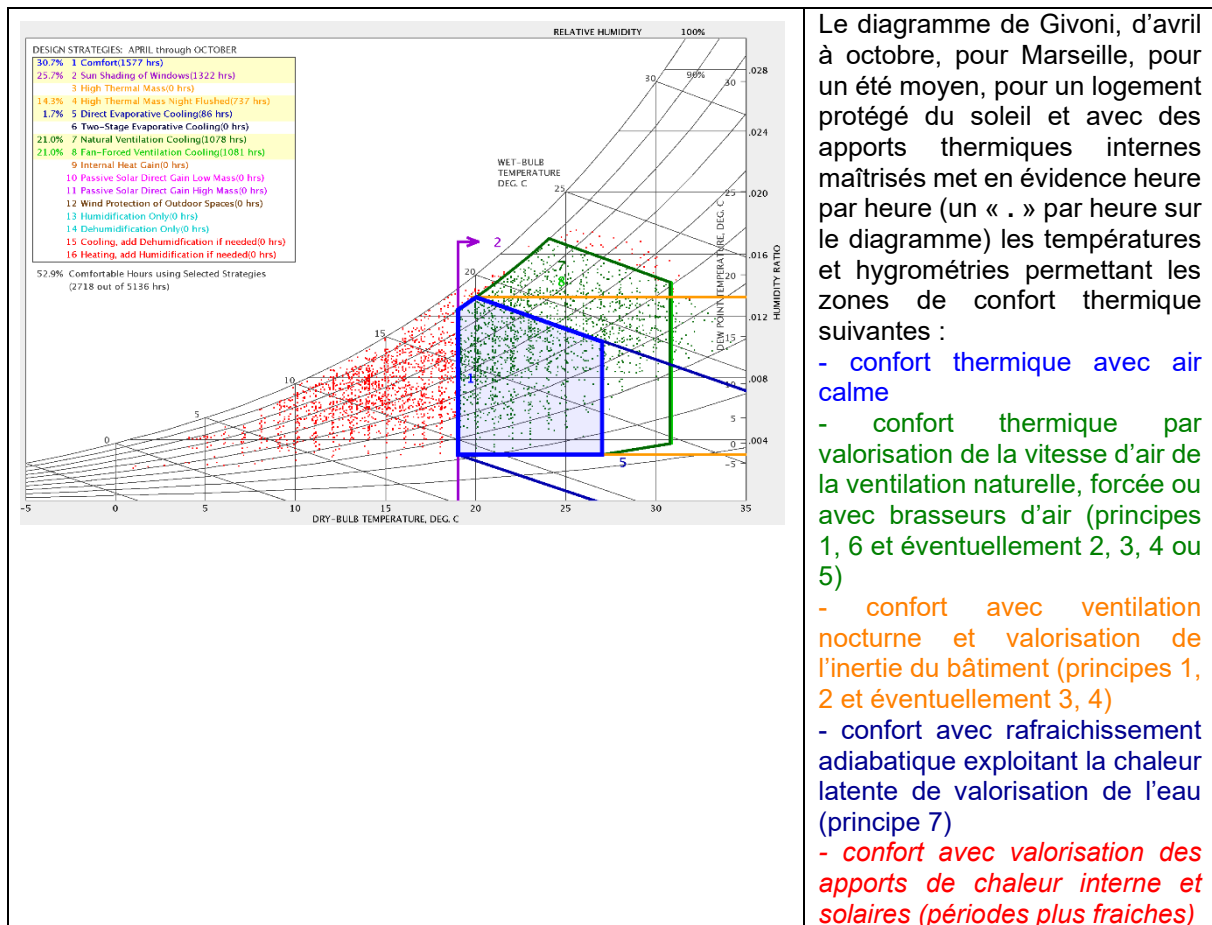
7 - Le rafraîchissement adiabatique par évacuation de la surchauffe par insufflation d'air rafraîchi par son humidification



8 - Le rafraîchissement par la récupération de frigories dans le sol par une ventilation mécanique et un transfert conductif à travers un réseau de conduits enterrés (puits climatique)



2> Représentation des stratégies de ventilation pour le confort d'été sur le diagramme bioclimatique de Givoni



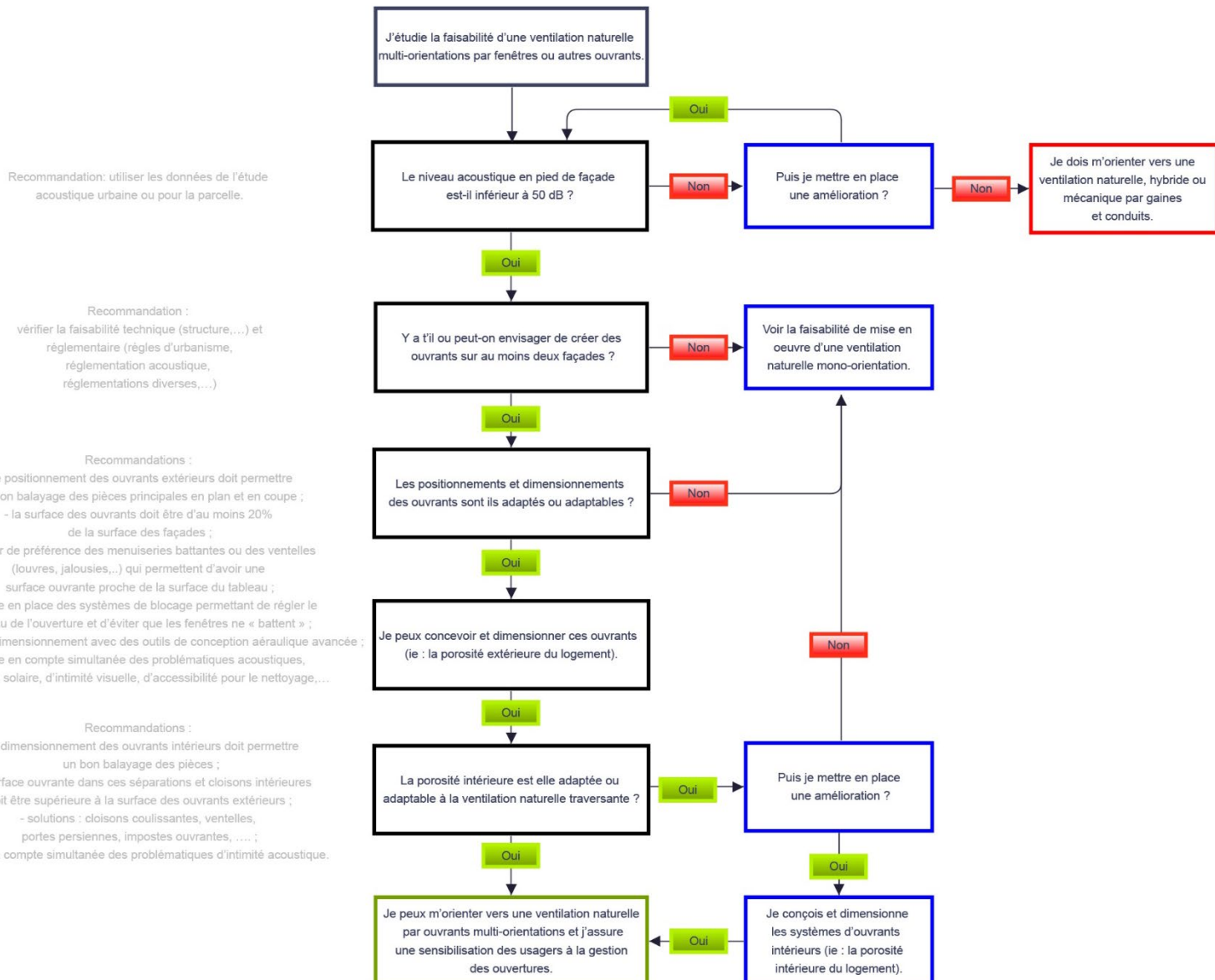
> Logigrammes : outils d'aide à la conception

La réflexion conduite ici, autour de la ventilation dans les milieux méditerranéens et urbains denses, mène à se poser la question de la mise en œuvre de solution dans des bâtiments existants. Lors des réunions, un consensus est apparu sur le fait que la stratégie de ventilation est plus contrainte dans le cadre d'une réhabilitation que dans une opération neuve. Le postulat a donc été de prendre en compte le cadre existant. Les réflexions et stratégies qui sont proposées ci-dessous ne sont pas antinomiques avec la conception d'une opération neuve. En effet, de nombreux dispositifs innovants et architecturaux semblent plus facile à mettre en œuvre lorsque l'on démarre d'une page blanche.

Dans les premiers logigrammes 1 et 2, vous pourrez choisir entre deux contextualisations contraignantes : bi-orientation ou mono orientation. Les logigrammes 3, 4 et 5 vous permettront d'étudier différents systèmes de ventilation. Alors que les logigrammes suivants vous aideront à appréhender des solutions additionnelles pouvant être envisagées selon les cas et de manière cumulative.

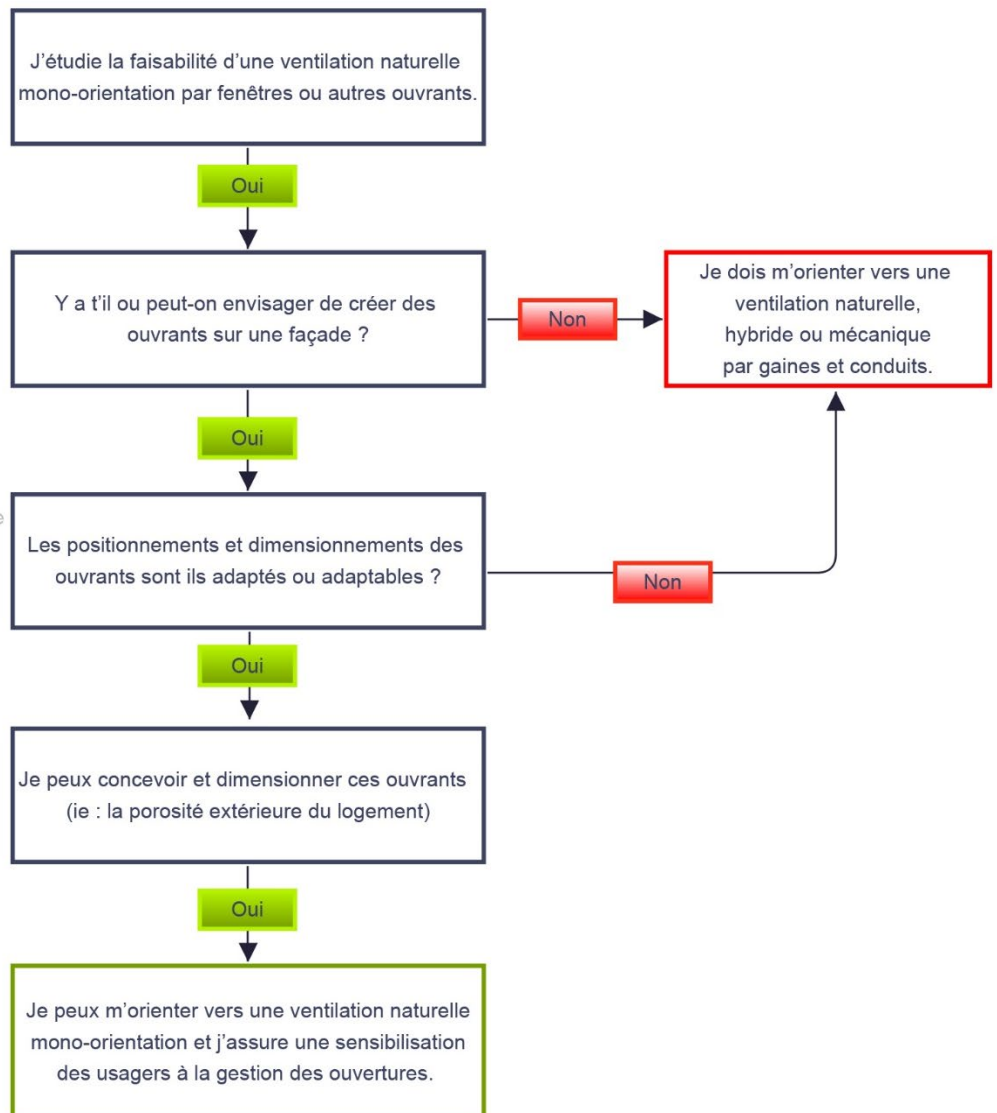
> logigramme n°1 : ventilation dans un contexte de logement bi-orienté

Le logigramme ci-dessous présente la réflexion de stratégie de ventilation et les différentes questions à se poser dans un contexte de logement bi-orienté.



> logigramme n°2 : ventilation dans un contexte de logement mono-orienté

Le logigramme ci-dessous présente la réflexion de stratégie de ventilation et les différentes questions à se poser dans un contexte de logement mono-orienté.

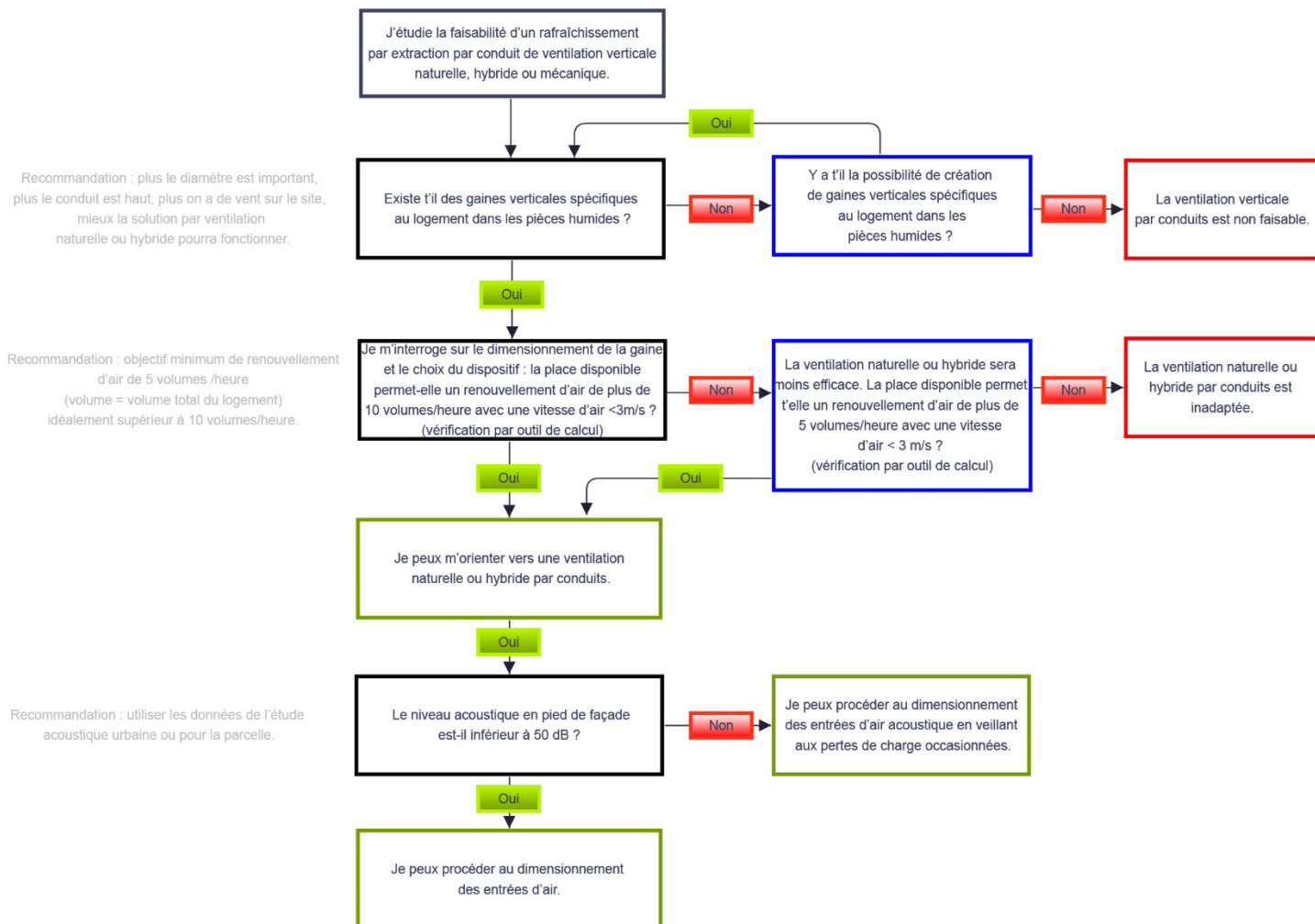


Recommandations :

- ouvrants hauts et bas pour permettre un tirage thermique (par exemple : rajouter des impostes hautes) ;
- surface d'ouvrants égale à au moins 30% de la surface de la façades ;
- menuiseries battantes, oscillo-battantes, ventelles ;
- prise en compte simultanée des problématiques acoustiques, de protection solaire, d'intimité visuelle, d'accessibilité pour le nettoyage,...

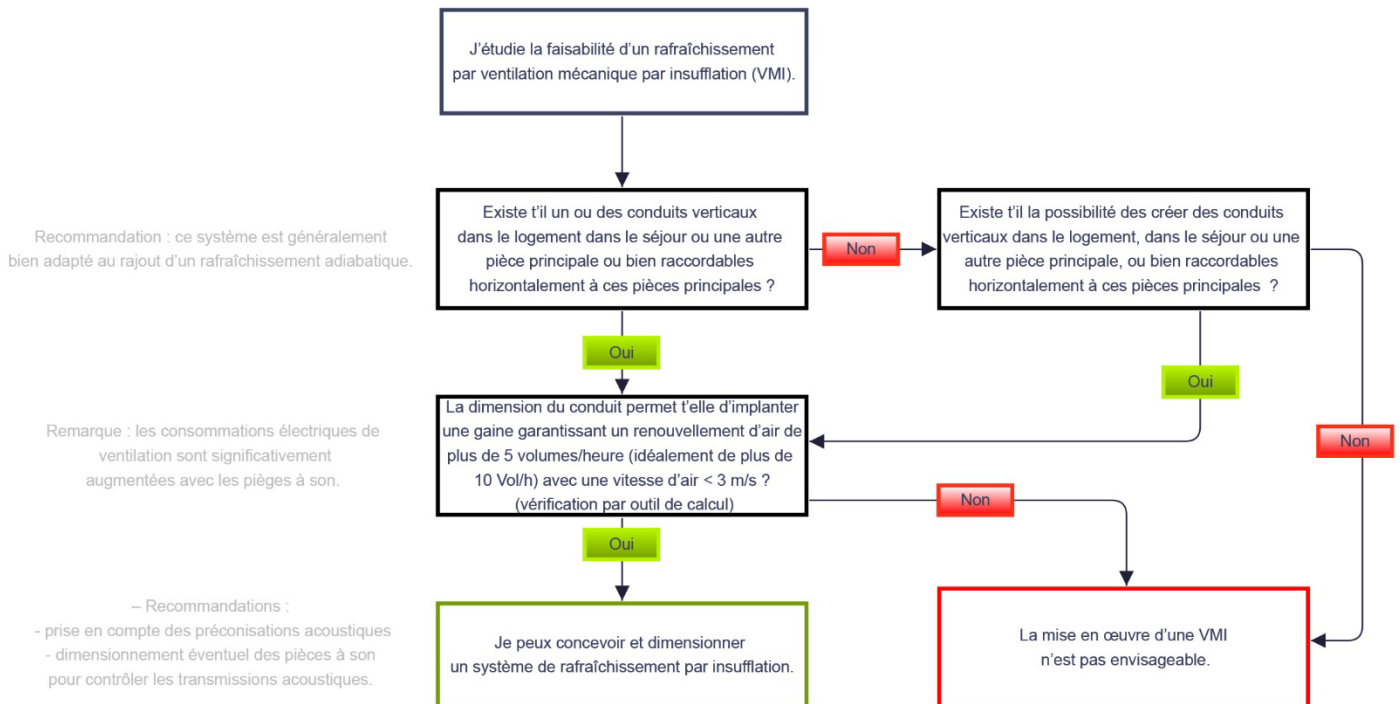
> Logigramme n°3 : rafraîchissement par extraction par ventilation verticale naturelle, hybride ou mécanique par conduit

Le logigramme ci-dessous présente la réflexion de stratégie et les différentes questions à se poser pour assurer la mise en place d'une ventilation par extraction par ventilation verticale naturelle, hybride ou mécanique par conduit.



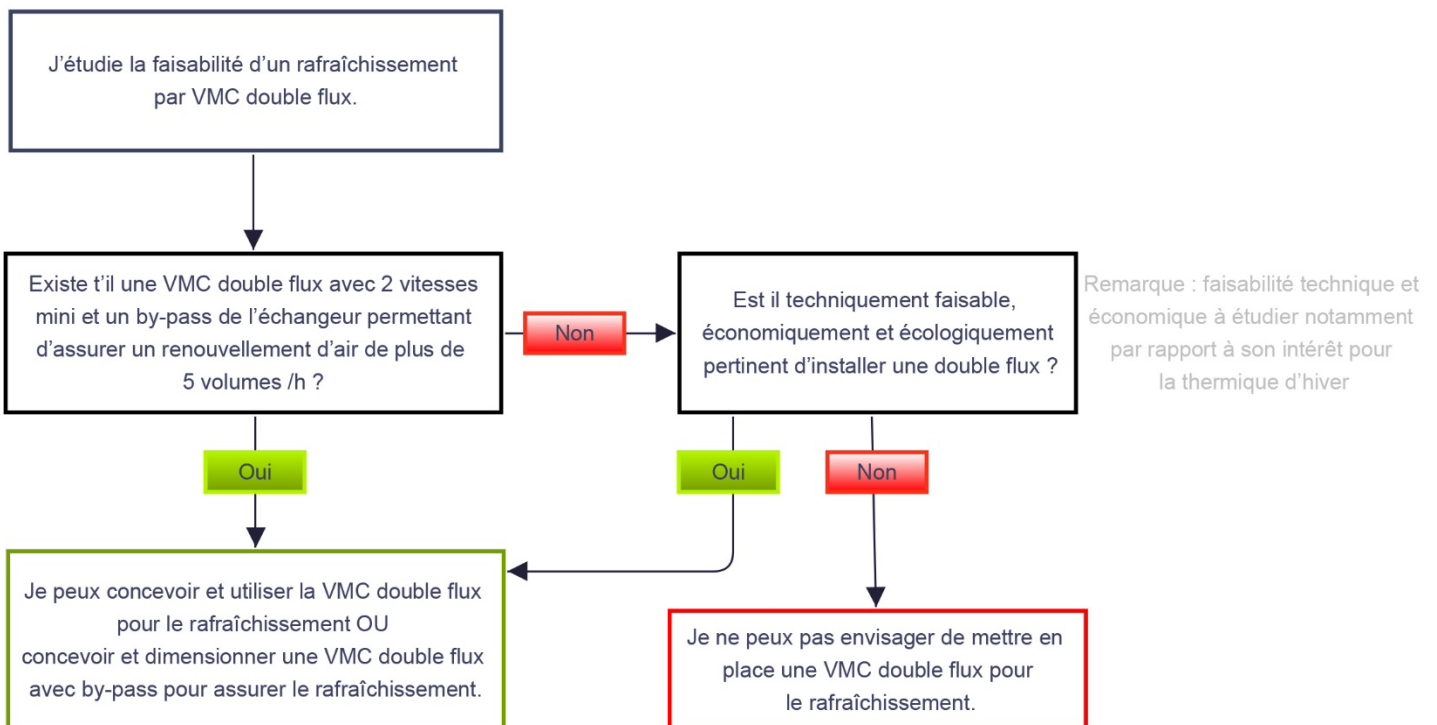
> logigramme n°4 : rafraîchissement par ventilation mécanique par insufflation (VMI)

Le logigramme ci-dessous présente la réflexion de stratégie et les différentes questions à se poser dans le cadre d'une ventilation mécanique par insufflation.



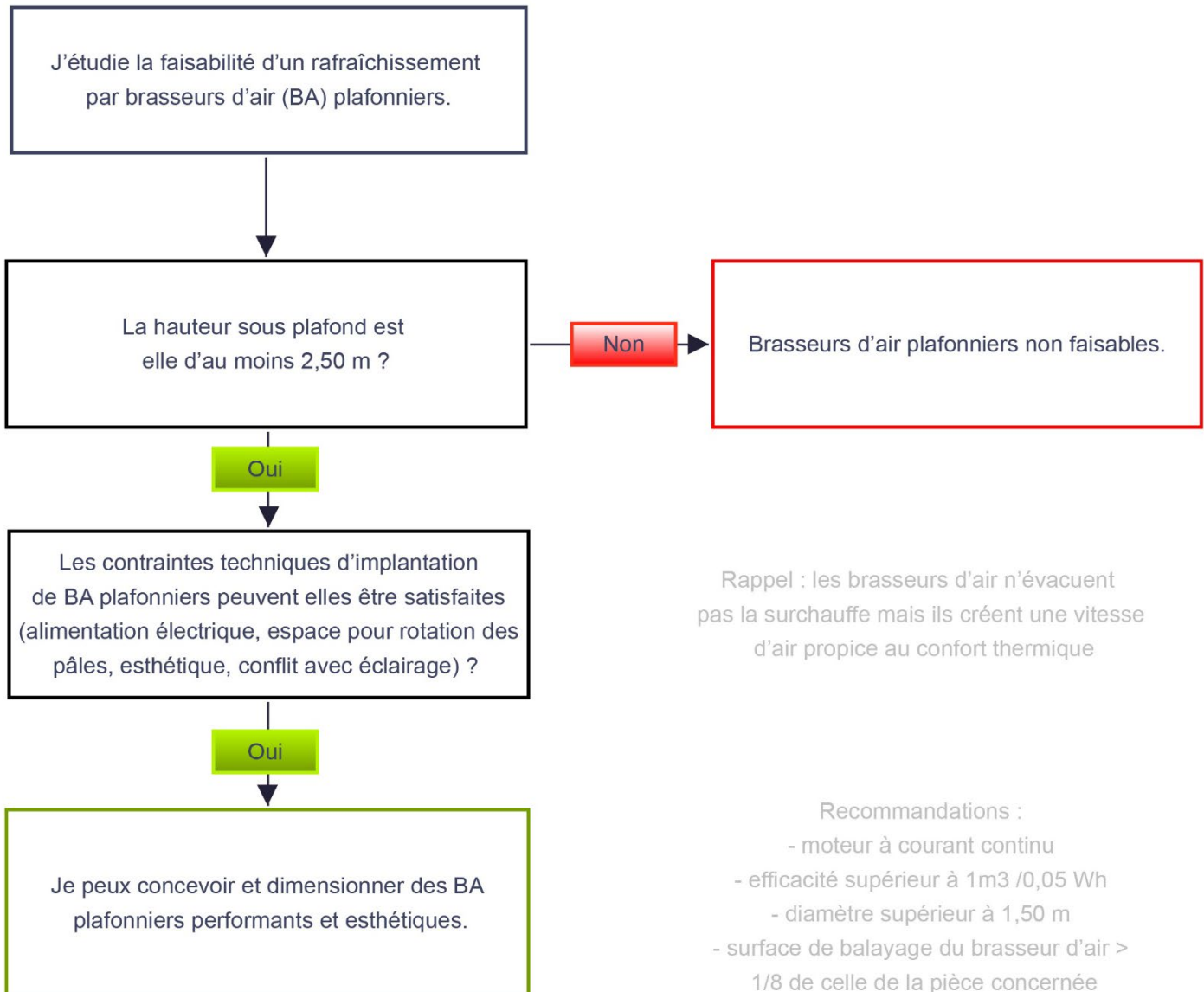
> logigramme n°5 : rafraîchissement par ventilation mécanique double flux

Le logigramme ci-dessous présente la réflexion de stratégie et les différentes questions à se poser dans le cadre d'un rafraîchissement par ventilation mécanique double flux.



> Logigramme n°6 : rafraîchissement par brasseurs d'air (BA) plafonniers

Le logigramme ci-dessous présente la réflexion de stratégie de rafraîchissement et les réflexions à mener avant la mise en place de brasseurs d'air.



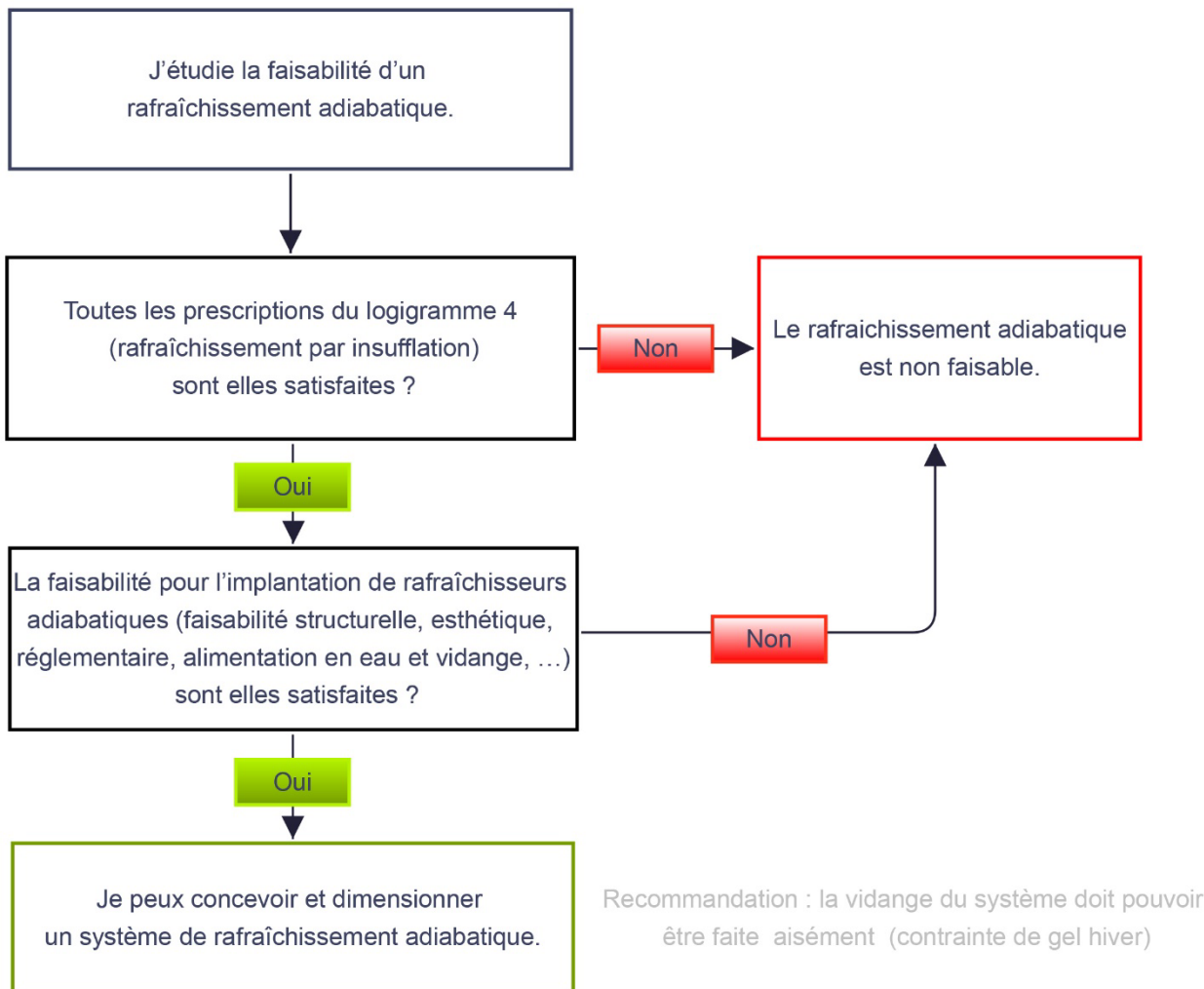
Rappel : les brasseurs d'air n'évacuent pas la surchauffe mais ils créent une vitesse d'air propice au confort thermique

Recommandations :

- moteur à courant continu
- efficacité supérieur à 1m³ /0,05 Wh
- diamètre supérieur à 1,50 m
- surface de balayage du brasseur d'air > 1/8 de celle de la pièce concernée
- commande multivitesse fixée muralemment
- acoustique : sélection de modèles émettant moins de 35 dB en grande vitesse.

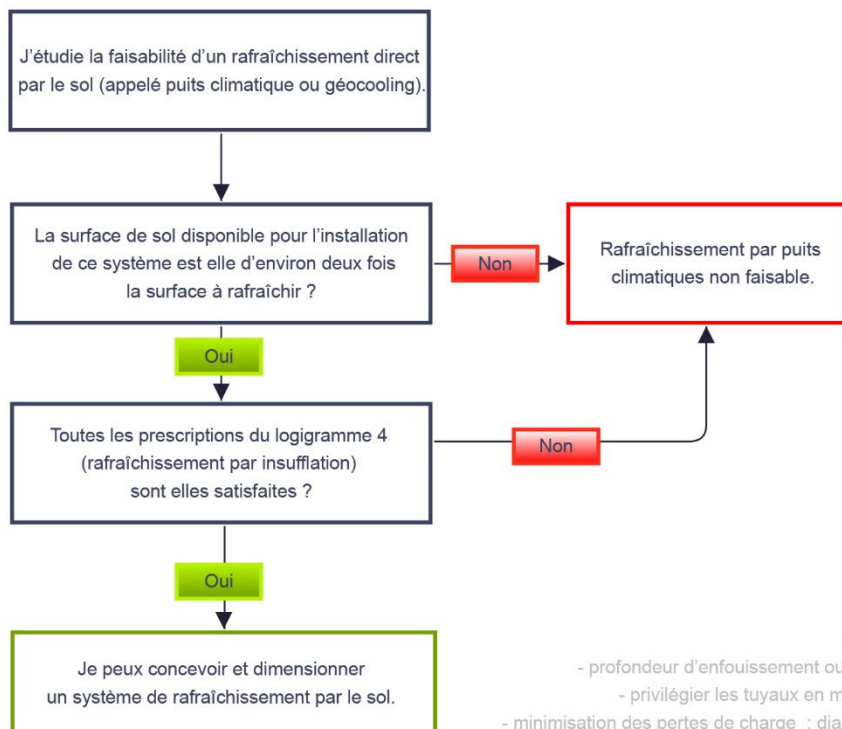
> logigramme n°7 : rafraîchissement adiabatique

Le logigramme ci-dessous présente la réflexion de stratégie de rafraîchissement et les différentes questions à se poser avant la mise en œuvre d'un système de rafraîchissement adiabatique.



> Logigramme n°8 : rafraîchissement direct par le sol (puits climatique ou géocooling)

Le logigramme ci-dessous présente la réflexion de stratégie, ainsi que les interrogations auxquelles il est nécessaire de se confronter avant la mise en place de rafraîchissement direct par le sol, par le biais de dispositif de type géocooling et puits climatique.



Recommandations :

- profondeur d'enfouissement ou de recouvrement supérieure à 2 m (idéalement 4 m)
- privilégier les tuyaux en matériaux conducteurs et sans raccord sous terre
- minimisation des pertes de charge : diamètre supérieur à 200 mm, vitesse de circulation d'air < 3 m/s et assemblage éventuel en séries parallèles pour les grosses installations
 - espacement des tuyaux > 1,20 m
- ventilateur sélectionné en fonction de son efficacité énergétique (idéalement > 0,15 m3/Wh pour la perte de charge du système), positionnement en entrée de puits
- mise en œuvre des tuyaux dans les règles de l'art : sur lit de sable, pente dans le sens du flux d'air, point bas avec puisard pour condensation, grillage avertisseur,...

> Bibliographie – ressources

- **Guide « Confort d'été passif »** (ICEB – avril 2014)
<https://www.asso-iceb.org/document/guide-biotech-confort-dete-passif/>

- **Concevoir la technique de refroidissement passif choisie** (guide bâtiment durable Bruxelles – janvier 2013)
<https://www.guidibatimentdurable.brussels/fr/concevoir-la-technique-de-refroidissement-passif-choisie.html?IDC=8916>

- **Des idées neuves pour faire baisser la température** (Le Moniteur – juillet 2019)
<https://www.lemoniteur.fr/article/des-idees-neuves-pour-faire-baisser-la-temperature.2044780>

- **Rafrâichissement passif ; une référence sans climatisation !** (Jean-Pascal Roche – janvier 2012)
https://conseils.xpair.com/actualite_experts/rafraichissement-passif-reference-sans-climatisation.htm

- **Guide de conception Freevent « Surventilation et confort d'été »** (ALLIE'AIR – mars 2018)
<http://www.enviroboite.net/freevent-surventilation-et-confort-d-ete>

- **VPOF : ventilation naturelle par ouverture des fenêtres** (Armand Dutreix – juin 2017)
http://www.enviroboite.net/vpof-ventilation-naturelle-par-ouverture-des-fenetres?id_rubrique=98

- **La ventilation naturelle des bâtiments** (Jean-Louis Izard – août 2006)
<http://www.enviroboite.net/la-ventilation-naturelle-des-batiments>

- **La ventilation naturelle** (EODD, Domene, In Vivo – novembre 2010)
<http://www.enviroboite.net/la-ventilation-naturelle>

- **Guide de la ventilation naturelle et hybride "VNHY"** (AVEMS - septembre 2010)
https://www.effinergie.org/web/images/attach/base_doc/1362/Guide_de_la_ventilation_naturelle_et_hybride_VNHy_AVEMS.pdf

- **La ventilation naturelle** (TRIBU - novembre 2013)
https://www.tribu-concevoirdurable.fr/images/stories/tribu/Actualites-detaillees/Tribu-Lyon-a-10-ans/ventiler-pour-respirer-tout-naturellement_tribu-nov2013.pdf