

Comportement de 10 bâtiments BBC dans les conditions climatiques 2030 et 2050 en Languedoc-Roussillon



DONNÉES ET RÉFÉRENCES



Sommaire

Résumé.....	3
Introduction.....	7
Choix des bâtiments.....	10
Détermination des données météorologiques.....	13
Reconstitution du contexte climatique moyen actuel.....	13
Zoom sur l'année 2003.....	17
Reconstitution des contextes climatiques futurs.....	19
Simulation thermique dynamique des 10 bâtiments BBC.....	21
Comportement estival.....	21
Besoin en chauffage – Consommation d'énergie.....	24
Analyse de sensibilité.....	26
Maison individuelle.....	27
Logement collectif et bureaux.....	29
Quelques considérations économiques.....	30
Optimisation des bâtiments.....	31
Maison individuelle.....	32
Logement collectif.....	36
Bâtiment de bureaux.....	38
Annexe 1 : Composition de l'année météorologique moyenne représentative de la période actuelle.....	42
Annexe 2 : Différentes variantes étudiées.....	43
Annexe 3 : Fiches individuelles de résultats des simulations thermiques dynamiques.....	44
Annexe 4 : Optimisation pour le contexte climatique 2050.....	55

Comportement thermique de 10 bâtiments BBC dans les conditions climatiques 2030 et 2050 en Languedoc-Roussillon

Résumé

En 2009, la direction régionale Languedoc-Roussillon de l'ADEME a commandé à Izuba Energies, société d'ingénierie spécialisée dans la thermique des bâtiments, une étude visant à évaluer le comportement thermique des bâtiments actuellement retenus dans le cadre des appels à projets « Bâtiments Basse Consommation d'énergie - BBC », dans les conditions climatiques attendues pour 2030 et 2050. Tout au long de cette réflexion est interrogée la pertinence des choix techniques basés initialement sur la performance des bâtiments du point de vue des consommations énergétiques, en particulier hivernales, pour affronter les défis climatiques à venir.

Ce travail, encadré par un comité de pilotage réunissant des représentants de la Région, de la DREAL, de la profession de la construction en bois et de l'architecture, s'est déroulé sur plus d'une année et a débouché sur la réalisation d'un document détaillé présentant les résultats complets, disponible sur le site internet de l'ADEME, www.ademe.fr/languedoc-roussillon. Afin d'en faciliter son appropriation, l'ADEME a rédigé une synthèse regroupant les principaux enseignements qu'il est possible de tirer de l'ensemble de cette réflexion.

Les modèles climatiques¹ prévoient, pour le Languedoc-Roussillon, une augmentation des températures comprise entre 1 et 2°C à l'horizon 2030, et jusqu'à 3,5 °C en 2050. Il devrait s'ensuivre une hausse des températures à l'intérieur des bâtiments, pénalisant leur confort d'été avec, potentiellement, un risque pour la santé des occupants, notamment celle des personnes les plus fragiles.

Dix bâtiments basse consommation d'énergie (BBC) de nature et de localisation différentes ont été étudiés. La méthodologie utilisée repose sur la reconstitution de fichiers météorologiques horaires pour six stations climatiques distinctes, à partir de données mensuelles couvrant la période 1999-2008 puis, aux horizons 2030 et 2050, en se basant sur des prévisions climatiques réalisées par Météo France dans le cadre de l'étude MEDCIE grand Sud-est. Par ailleurs, une attention particulière a été accordée à l'année 2003 pour tenter d'évaluer les conséquences de chaleurs estivales particulièrement importantes.

La simulation thermique dynamique de chaque bâtiment a permis de dégager et comparer plusieurs indicateurs tels le niveau d'inconfort thermique (nombre d'heures avec une température intérieure supérieure à 28°C), la température maximale intérieure, la consommation énergétique annuelle, ...

L'ensemble des résultats présentés se fonde sur l'utilisation de techniques numériques de modélisation dont il convient de conserver à l'esprit les limites. Elles sont principalement de deux ordres. Celles inhérentes aux logiciels de reconstitution de données météorologiques journalières, dont l'approche particulière sur l'année 2003 a mis en évidence la nécessité d'une réflexion plus aboutie sur leur robustesse, et celles induites par le niveau de précision des prévisions climatiques pour 2030 et 2050 qui ont conduit à retenir des hypothèses parfois réductrices.

L'analyse conduite sur les stations de Carcassonne et Perpignan suggère que l'utilisation de données moyennes mensuelles suffit pour que les besoins énergétiques hivernaux soient relativement bien estimés, mais que ce type de données semble inadéquat pour assurer une représentation fidèle de la situation estivale. L'acquisition des données horaires Météo France

¹ Etude des effets du changement climatique dans le grand Sud-est (MEDCIE 2008)

apporte alors un gain tout à fait appréciable pour approcher avec plus de précision les paramètres caractéristiques de l'inconfort estival d'un bâtiment.

Bien qu'importantes, ces réserves ne remettent pas en cause la validité générale des conclusions qui permettent de mieux appréhender ce que pourraient être des mesures d'adaptation des bâtiments à l'horizon 2030 - 2050.

On notera également que les simulations ont été réalisées pour des conditions d'exploitation optimales des bâtiments. Il pourrait être intéressant de poursuivre ce type d'étude en introduisant une certaine part de dégradation, par exemple en jouant sur les températures de consigne, afin d'en déterminer l'influence sur les différents paramètres suivis.

Malgré les limites que présentent les simulations numériques lorsque l'on cherche à établir des comparaisons entre différentes localisations, les écarts sont tels qu'il semble légitime d'adapter les choix techniques constructifs aux contraintes climatiques locales. Ainsi, les solutions les plus performantes qui peuvent se justifier sur Nîmes ne sont pas forcément requises pour atteindre un bon niveau de confort dans des conditions climatiques estivales moins rigoureuses.

En situation climatique moyenne actuelle, neuf projets sur les dix étudiés présentent un très bon niveau de confort estival. Une bonne isolation, caractéristique des bâtiments BBC, n'est donc pas incompatible avec un niveau acceptable de confort d'été. Pour cela il faut impérativement l'associer à de bonnes protections solaires et des modalités de décharge thermique nocturne.

Dès 2030 cependant, il n'y en a plus que cinq qui auraient un inconfort acceptable. Deux présenteraient un inconfort modéré (entre 50 et 100 heures avec des températures intérieures supérieures à 28 °C) et trois un inconfort significatif (>100 heures).

En 2050, seuls deux projets garantiraient une durée d'inconfort inférieure à 100 heures.

Avec ce type d'approche comparative, on constate que les performances de certains types de bâtiment se dégradent plus ou moins fortement en réponse à une accentuation des contraintes climatiques.

Ainsi, les bâtiments présentant des configurations techniques moins adaptées atteignent rapidement leur limite et l'épisode caniculaire de 2003 aurait été notablement ressenti dans tous les bâtiments résidentiels, avec des durées d'inconfort importantes, proches de celles estimées pour 2050. Seules les deux rénovations arrivent à les contenir dans des limites inférieures à 200 heures.

Des améliorations constructives du bâti permettent de limiter la durée de ces périodes d'inconfort, toujours dans la mesure où sont respectés tous les principes de base de la construction basse consommation (orientation favorable du bâtiment, protection solaire, ventilation nocturne, apports internes maîtrisés, ...). Elles concernent en particulier :

- le renforcement de l'inertie de la toiture, des parois extérieures et des cloisons intérieures,
- le renforcement de l'isolation, en privilégiant l'isolation par l'extérieur,
- une construction sur terre-plein plutôt que sur vide sanitaire,
- l'utilisation d'équipements performants gérés de façon optimale.

A défaut d'améliorations aussi conséquentes, par exemple dans le cas de rénovation limitée, si des systèmes de rafraîchissement sont mis en place, il faut alors privilégier les équipements de type brassage d'air par ventilateur plafonnier, faiblement consommateur d'énergie.

Pour certains bâtiments, le recours à un dispositif de rafraîchissement thermodynamique n'est pas à exclure systématiquement, pour autant qu'il soit utilisé avec discernement (température de consigne minimale de 26 °C). En construction neuve, idéalement, ces systèmes ne devraient se concevoir qu'en association avec un bâtiment performant, de façon à optimiser leur efficacité énergétique

Le rapprochement de la cinétique des évolutions climatiques et de la durée de vie des bâtiments milite pour la prise en compte, dès à présent, de solutions performantes sans oublier cependant les surcoûts notables qu'elles impliquent. D'un point de vue économique le recours à des systèmes thermodynamiques n'est pas aberrant, alors que dans une approche écologique stricte, ces équipements devraient être réservés à des publics sensibles. En réalité il en est tout autrement et on assiste, en Languedoc-Roussillon, à une généralisation de ces dispositifs.

Tout en continuant à prôner des configurations moins consommatrices d'électricité et à favoriser le développement de techniques performantes de rafraîchissement telle la climatisation solaire, les acteurs publics divers (collectivités, ADEME, ...) pourraient utilement orienter les programmes d'information vers les possesseurs de ces équipements, afin de les sensibiliser aux bénéfices sanitaires et économiques d'une utilisation maîtrisée de la climatisation. Autant on ne pourra convaincre quiconque qu'une température intérieure hivernale de 19 °C est une température de confort, autant 26 °C en été paraît être une température intérieure tout à fait acceptable.

Enfin, indépendamment de la technologie propre à chacun des bâtiments, il faut toujours conserver en mémoire que les concepts de base tels : leur implantation optimale (Nord – Sud), la bonne réalisation technique de leur construction, la qualité des équipements électriques et électroniques, le comportement des usagers (cf. ventilation nocturne) ont une importance capitale dans la performance thermique générale.

Ainsi, dépassant un message sur le climat, parfois tellement anxiogène qu'il peut conduire à une certaine paralysie, puisse-t-on en conclusion de cette publication, retenir qu'un bâtiment bien conçu, non content de contribuer à la réduction des émissions de gaz à effet de serre, est aussi en mesure de faciliter l'adaptation de ses occupants aux changements climatiques inéluctables à venir.

Introduction

L'amélioration des performances énergétiques des bâtiments constitue, de longue date, une des priorités d'action de l'ADEME. Avec la montée en puissance des préoccupations climatiques, cette attention particulière se trouve doublement justifiée par la nécessité de réaliser des économies d'énergie, avec comme conséquence de réduire les émissions de gaz à effet de serre attribuées au secteur du bâtiment, près du quart des émissions françaises, et par l'impératif d'ériger des bâtiments qui seront en mesure de supporter les conditions climatiques futures. Cette dernière préoccupation s'inscrit dans une démarche d'adaptation au changement climatique. Dans cette approche, actant que l'augmentation des températures est pour partie inévitable, il est convenu d'intégrer, dès à présent, les nouvelles contraintes correspondantes, dans toutes les décisions relatives aux infrastructures et ouvrages, dont la durée de vie prévisible les amènera à y être confrontés.

Les projections climatiques futures prévoient des évolutions modérées des températures jusqu'en 2050, puis un accroissement net des tendances à échéance 2080. Le paramètre « temps » comporte donc une grande importance qu'il convient de prendre en compte dans la typologie des actions d'adaptation visées.

Pour des investissements avec des durées de vie de court ou moyen terme (10 – 20 ans), les enjeux ne semblent pas majeurs et le potentiel d'adaptation relativement ouvert. Le cas échéant pour ces opérations, s'il y a renouvellement ou reconduction, à chaque itération il sera possible de s'adapter à la nouvelle donne climatique.

En revanche pour ce qui concerne les projets de long terme tels les bâtiments, les infrastructures de transport ou le développement industriel, la problématique climatique doit être prise en compte dès aujourd'hui, lors des premiers investissements ou, pour l'existant, à l'occasion des opérations de gros entretien, rénovation et renouvellement.

Cette approche trouve, pour partie, son fondement dans l'inertie du système climatique qui est suffisamment importante pour que l'on sache, dès aujourd'hui, que même si les politiques d'atténuation menées sont des plus rigoureuses (division par 2 des émissions mondiales en 2050, facteur 4 en France), l'augmentation de la température moyenne terrestre sera, à cette date, d'au moins 2°C.

En Languedoc-Roussillon, 100 années de mesures de Météo France ont d'ors et déjà mis en évidence une hausse des températures minimales (de fin de nuit) et maximales (en journée) comprise, selon la localisation de la station météorologique, entre 0,7 et 1,3 °C.

Pour ce qui concerne les évolutions futures, Météo France a développé un modèle de prévision s'appuyant sur des hypothèses d'émission de gaz à effet de serre investiguées par le GIECC. En 2030, selon la saison et le scénario d'émission, les températures augmenteraient de 0,7 à 1,8°C, par rapport à la période de référence s'étendant de 1971 à 2000.

Ces hausses de température, comprises entre 0,9°C et 3°C à échéance 2050, sont prévues nettement plus spectaculaires à l'horizon 2080, pour lequel les tendances lourdes des scénarios d'émission retenus et l'inertie des systèmes naturels concernés joueront à plein.

L'été est, dans tous les cas de figure, la saison la plus concernée par ces augmentations de température, jusqu'à 5,2°C attendu en 2080. En hiver, elles resteraient proches de 1 et de 3 °C, respectivement pour les horizons 2050 et 2080.

La période estivale se caractérisera également par un nombre plus important de jours où la température maximale dépassera les 35°C et une plus grande durée des épisodes de forte chaleur avec plusieurs dizaines de jours cumulés à échéance 2080.

Outre ces contrastes saisonniers, le modèle mis en œuvre par Météo France a mis en évidence une disparité géographique avec deux tendances majeures :

- la plaine au Nord de la région (à l'Ouest du delta du Rhône) plus exposée au réchauffement en été et en automne,
- les montagnes des Pyrénées plus particulièrement concernées par un réchauffement hivernal et printanier.

La partie occidentale de la région, excepté l'été, serait moins affectée par la hausse des températures, mais il n'empêche que, dès 2050, les scénarios les plus pessimistes prévoient des périodes significatives de forte chaleur sur tout le Languedoc-Roussillon, y compris sur sa façade littorale.

Ainsi, les évolutions climatiques attendues pour les prochaines décennies en Languedoc-Roussillon devraient se traduire par une augmentation des températures et, avec un degré d'incertitude plus élevé, une baisse générale des précipitations.

Une hausse des températures estivales d'un minimum de 1°C semble difficile à éviter sur l'ensemble de la région dès 2030. L'importance de la problématique du confort d'été, déjà notable dans la conception actuelle des bâtiments et dans le choix des matériaux et équipements, sera donc vraisemblablement accrue.

Que les nouveaux bâtiments soient conçus, dans l'idéal, pour offrir un confort climatique de haut niveau en faisant l'économie de systèmes énergivores est une évidence technique dont il n'est toutefois pas inutile d'explorer les conséquences économiques.

Dans le cas des bâtiments existants, qui ont encore une durée de vie non négligeable, il reste à trouver des solutions techniques adaptées, qui pourront parfois passer, en l'absence de travaux de rénovation importants, par la mise en œuvre de systèmes thermodynamiques de rafraîchissement.

Au-delà des simples aspects de confort, cette augmentation des températures est susceptible d'induire des effets sur la santé² des occupants d'autant plus qu'elle se conjuguera avec un vieillissement généralisé de la population. Dès aujourd'hui, il pourrait donc être opportun que les bâtiments à usage d'habitation, mais également ceux destinés à l'accueil des personnes fragiles, prennent en compte les enseignements que l'on peut extraire de cette étude notamment lors des opérations de construction neuve ou de rénovation lourde.

Anticipant les priorités mises en exergue par le Grenelle de l'environnement, la direction régionale de l'ADEME s'est impliquée depuis plusieurs années avec ses partenaires (Région, DREAL, Centre de ressources du bâtiment, FFB, CAPEB, etc.) dans divers appels à projets destinés à promouvoir la construction et la rénovation de bâtiments performants d'un point de vue énergétique. Initialement focalisée sur la maîtrise des consommations énergétiques principalement pour le chauffage et la production d'eau chaude sanitaire, il a rapidement paru indispensable de prolonger cette démarche avec une réflexion approfondie sur le confort d'été dans ces bâtiments.

² Hyperthermie, déshydratation, pathologies cardiovasculaires

Dans ce contexte, la direction régionale Languedoc-Roussillon de l'ADEME a commandé à Izuba Energies, une étude visant à évaluer le comportement thermique des bâtiments BBC, en particulier en terme de confort d'été, dans la situation climatique actuelle mais également dans les conditions attendues pour 2030 et 2050.

L'objectif était d'apprécier la pertinence des choix constructifs adoptés pour différents bâtiments énergétiquement performants et, le cas échéant, de proposer les modifications qui pourraient être mises en œuvre dans un contexte climatique différent de façon à ce que, même dans ces nouvelles conditions de températures, un haut niveau de performance et de confort soit maintenu.

Le présent document est une synthèse des résultats obtenus. Il a été conçu pour se suffire à lui-même en première approche de cette thématique. Le spécialiste de la thermique des bâtiments qui souhaiterait plus de précisions sur la méthodologie adoptée et approfondir les conclusions présentées ne manquera pas de se référer au rapport d'étude complet disponible sur le site internet de l'ADEME : www.ademe.fr/languedoc-roussillon.

Choix des bâtiments

Afin de dégager des enseignements de portée relativement générale, il a été nécessaire de tenir compte de la diversité des conditions climatiques du Languedoc-Roussillon et d'investiguer un panel relativement large de bâtiments ayant des usages variés mais aussi des techniques constructives différentes. Chaque projet étudié est ainsi reporté sur la carte ci-dessous en précisant s'il s'agit de bâtiments à usage tertiaire ou résidentiel. Pour ces derniers, les constructions neuves sont distinguées des rénovations.

Au final, les critères qui ont présidé au choix de ces projets sont :

- un niveau de performance BBC avéré,
- des choix constructifs et énergétiques relativement reproductibles,
- une diversité de configurations (habitation individuelle, logement collectif, usage tertiaire).

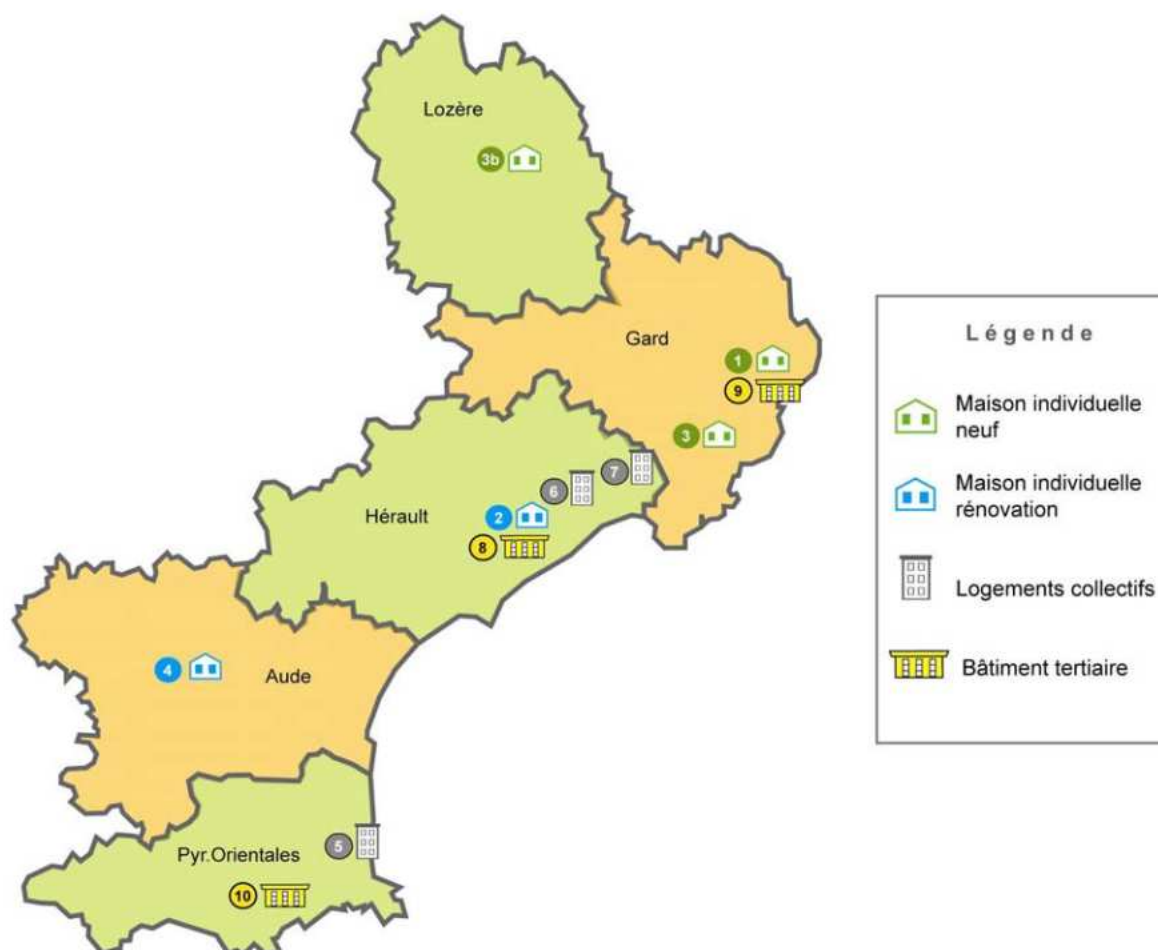


Figure 1 : Localisation des 10 projets étudiés

Dans la mesure du possible nous avons retenu des constructions dont l'implantation permettait d'assurer un maillage géographique complet de la région. Aucun projet n'étant disponible en Lozère, au démarrage de cette étude, le bâtiment n°3, maison individuelle en brique, a été étudié, en plus de son emplacement réel à Vallabregues (Gard), dans le contexte climatique de Mende. Il en est de même pour le bâtiment n°4, maison individuelle en parpaing, initialement situé dans l'Hérault mais étudié dans le contexte climatique de Carcassonne.

Pour chacun de ces bâtiments, leurs caractéristiques intrinsèques, les détails des choix constructifs et des équipements principaux sont disponibles dans les annexes du rapport complet d'étude.

Codification bâtiment	Dénomination	Typologie construction	Implantation initiale	Mode constructif	Station météo retenue
1 MI Bois paille	Maison individuelle « Borner »	BBC neuf	Vallabrègues (30)	Ossature bois Remplissage paille	Nîmes
2 MI Pierre rénovation	Maison individuelle « Bleu »	BBC rénovation	Cournonterral (34)	Pierre isolée par l'intérieur	Montpellier
3 MI Brique	Maison individuelle « Nauges »	BBC neuf	Vergèze (30)	Brique isolée par l'intérieur	Nîmes + Mende
4 MI Parpaing rénovation	Maison individuelle	BBC rénovation	Clapiers (34)	Parpaing isolé par l'intérieur	Carcassonne
5 COL Parpaing	Logements collectifs OPAC	BBC neuf	Perpignan (66)	Parpaing isolé par l'intérieur et l'extérieur	Perpignan
6 COL Monomur	Logements collectifs ACM	BBC neuf	Montpellier (34)	Monomur	Montpellier
7 COL Béton	Logements collectifs	BBC neuf	Candillargues (34)	Béton isolé par l'extérieur et ossature bois	Montpellier
8 TER Bureaux	Bureaux OIKOS	BBC neuf	Villeveyrac (34)	Béton cellulaire	Montpellier
9 TER Crèche	Crèche Aramon	BBC neuf	Aramon (30)	Monomur et isolation par l'intérieur	Nîmes
10 TER Université	Université Catalane d'été	BBC neuf	Prades (66)	Béton isolé par l'extérieur	Vernet-les-Bains

	Maison individuelle
	Habitat collectif
	Tertiaire

Tableau 1 : Récapitulatif des différents bâtiments BBC étudiés

Ces dix bâtiments ont été étudiés dans les six configurations climatiques suivantes :

- les conditions climatiques moyennes actuelles, représentatives des dix dernières années, qui constituent un point de référence,
- l'année 2003, année caniculaire importante pour approcher la notion de confort d'été et dont certaines prévisions font craindre que des étés similaires se reproduisent une année sur deux dès la moitié du 21^{ème} siècle. L'été 2003 pourrait donc constituer une bonne approximation de ce que sera un été non exceptionnel dans les années 2050,
- le climat moyen représentatif des années 2030,
- un été caniculaire dans les années 2030,
- le climat moyen représentatif des années 2050,
- un été caniculaire dans les années 2050.

Pour chacun de ces bâtiments et pour les six configurations climatiques retenues, des simulations thermiques dynamiques ont été conduites permettant de remplir une fiche de synthèse présentant les principaux résultats en termes de besoins de chauffage, confort d'été, température maximale dans les pièces, etc. (cf. Annexe 3).

Afin de distinguer les paramètres les plus importants pour assurer, tout à la fois, une faible consommation énergétique et un bon niveau de confort d'été, une analyse de sensibilité a été ensuite menée sur les principaux paramètres des bâtiments (inertie, isolation, technique constructive, ...).

Enfin, des propositions de modifications des bâtiments (évolution de la structure et/ou mise en œuvre d'équipements complémentaires de chauffage ou de refroidissement) ont été explorées de manière à dégager celles qui présenteraient la plus grande efficacité, tout en demeurant dans des contraintes économiques acceptables.

Détermination des données météorologiques

Le logiciel de simulation thermique utilisé par IZUBA Energies, Pléiade Comfie, nécessite, comme données d'entrées météorologiques, les valeurs horaires des températures et du rayonnement.

Afin de limiter les coûts d'acquisition de ce type de données, on utilise couramment le logiciel METEOCALC qui permet de reconstituer ces informations à partir des synthèses mensuelles fournies par Météo France. Cette méthodologie a été retenue pour approcher le contexte climatique moyen représentatif de la période actuelle 1999 – 2008.

Concernant l'année 2003, vu son importance pressentie pour apprécier les étés futurs, il a été décidé de faire l'acquisition des données horaires sur trois stations (Nîmes, Perpignan, Carcassonne). Ces données horaires ont permis d'approcher plus précisément le comportement des bâtiments au cours de cette année caniculaire. Elles ont été également utilisées pour estimer la robustesse de la reconstitution des données horaires générées par METEOCALC et son incidence sur les résultats de la simulation thermique (consommation d'énergie, température maximale dans les pièces, durée des périodes d'inconfort estival, etc.).

Reconstitution du contexte climatique moyen actuel

Six stations météorologiques ont été retenues pour couvrir la diversité climatique du Languedoc-Roussillon.

Station	Latitude	Longitude	Altitude	Commune	Lieu dit
Montpellier	43°34'36" N	03°57'42" E	2 m	Mauguio	Aéroport Fréjorgues
Nîmes	43°51'24" N	04°24'18" E	59 m	Nîmes	Aérodrome Courbessac
Carcassonne	43°12'48" N	02°18'36" E	126 m	Carcassonne	Aéroport Salvaza
Mende	44°30'18" N	03°31'48" E	1019 m	Mende	Aérodrome Brenoux
Perpignan	42°44'12" N	02°52'18" E	42 m	Perpignan	Aérodrome
Vernet les Bains	42°32'54" N	02°23'12" E	630 m	Vernet-les-Bains	Piscine

Tableau 2 : Caractéristiques des différentes stations météorologiques retenues

On notera que la station de Montpellier, située sur l'aéroport de Fréjorgues, est directement sous influence maritime, notamment en été, avec des brises thermiques qui viennent tempérer les chaleurs estivales. Pour un bâtiment implanté au nord de Montpellier, il est évident que l'effet de ces brises sera moindre et que la station météorologique ne sera pas aussi représentative du contexte local que peut l'être, par exemple, celle de Nîmes Courbessac pour un bâtiment dans une situation correspondante.

Par ailleurs et de façon générale, les stations météorologiques sont implantées dans des localisations relativement isolées et l'effet induit par la concentration de bâtiments, voire les îlots de chaleur des centres villes urbains³, n'est pas pris en compte notamment au niveau des relevés de températures.

³ Les îlots de chaleur urbain désignent des élévations localisées des températures enregistrées en milieu urbain par rapport au zones rurales ou forestières voisines. Ces augmentations de températures peuvent aisément dépasser 4° C.

Ces différentes considérations prendront toute leur importance si, dans le futur, on souhaite confronter les résultats de mesure d'un bâtiment instrumenté avec la simulation prévisionnelle.

Les données mensuelles disponibles pour chaque station sont récapitulées dans le tableau ci-dessous. Afin d'avoir une approche homogène, quelle que soit la localisation de la station, les données de rayonnement global et diffus ont été toutes reconstituées à partir du paramètre insolation, même lorsque le rayonnement global était disponible dans les données fournies par Météo France.

Paramètres/Station	Mende	Nîmes	Montpellier	Carcassonne	Perpignan	Vernet les Bains
Température mensuelle moyenne	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08
Température minimale moyennes	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08
Température maximale moyennes	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08
Température minimale absolu	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08
Température maximale absolu	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08
Insolation	01/99 à 08/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/07
Rayonnement global			01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	01/99 à 12/08	

Tableau 3 : Récapitulatif des données météorologiques utilisées

Pour les 6 stations météorologiques choisies, le contexte climatique actuel moyen a été reconstitué en conservant pour chacun des 12 mois de l'année, celui pour lequel la température moyenne se rapproche le plus de la moyenne des températures calculée sur la période 1999 – 2008. Ainsi par exemple, pour Carcassonne, on retrouve sur le graphique page suivante, entouré en rouge, le mois qui, au final, aura été retenu pour reconstituer cette année moyenne représentative de la période actuelle (1999 – 2008).

Cette méthodologie permet de ne pas trop lisser les paramètres caractéristiques du mois, notamment les températures minimales et les températures maximales, importantes pour le logiciel METEOCALC, qui se charge de reconstituer les données horaires et doit donc retrouver la variabilité caractéristique d'une journée avec des températures de fin de nuit basses et des températures élevées en milieu de journée. On trouvera ci-dessous un tableau explicitant les années retenues pour chacun des mois sur la station de Carcassonne. La composition de l'année de référence des stations météorologiques est donnée en annexe 1.

Mois	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Année	2004	2001	2000	2002	2005	2002	1999	2000	2005	1999	2005	2007

Tableau 4 : Station de Carcassonne – Composition de l'année représentative du contexte climatique actuel

Comportement thermique de 10 bâtiments BBC dans les conditions climatiques 2030 et 2050 en Languedoc-Roussillon

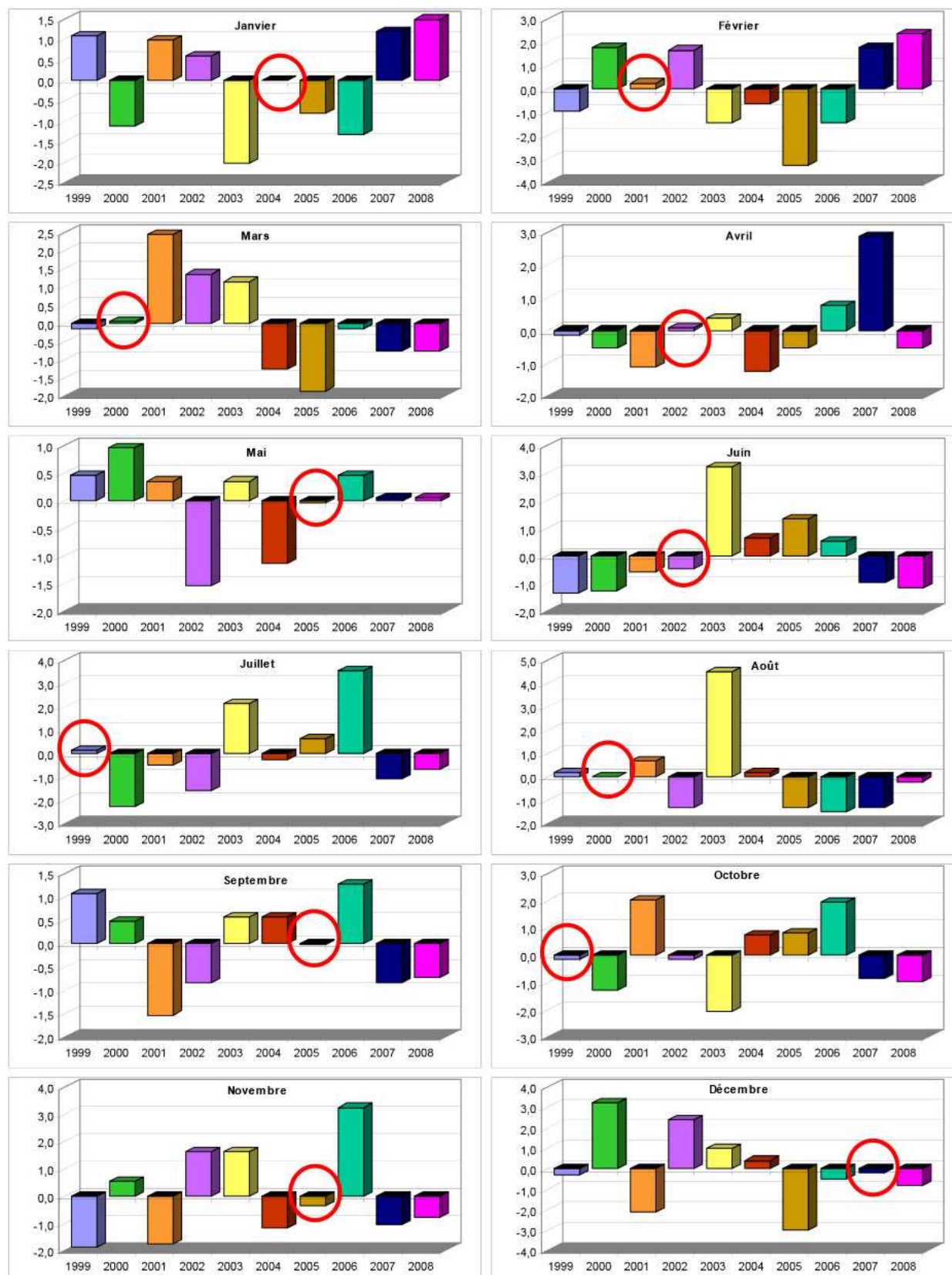


Figure 2 : Station de Carcassonne – Ecart des températures moyennes mensuelles (°C) calculées pour chaque année par rapport à la température moyenne mensuelle calculée sur la décennie 1999 – 2008

Partant de la reconstitution de cette année de référence représentative de la période actuelle, les deux graphes récapitulatifs ci-dessous visualisent le profil climatique de chacune des stations. On peut y retrouver les grandes tendances connues des différents contextes climatiques du Languedoc-Roussillon. Mende, sous l'influence d'un climat plutôt continental, subit les hivers les plus rigoureux, suivi de Vernet les Bains, par effet d'altitude. Montpellier et Perpignan présentent des analogies avec toutefois des hivers plus doux en Catalogne. Et enfin, c'est sans surprise, à Nîmes, que l'on relève les étés les plus chauds. Cette cohérence de la représentation climatique de la région affichée au niveau des températures se trouve confirmée avec l'évolution des degrés jours unifiés (DJU) et des degrés heures été (DHE).

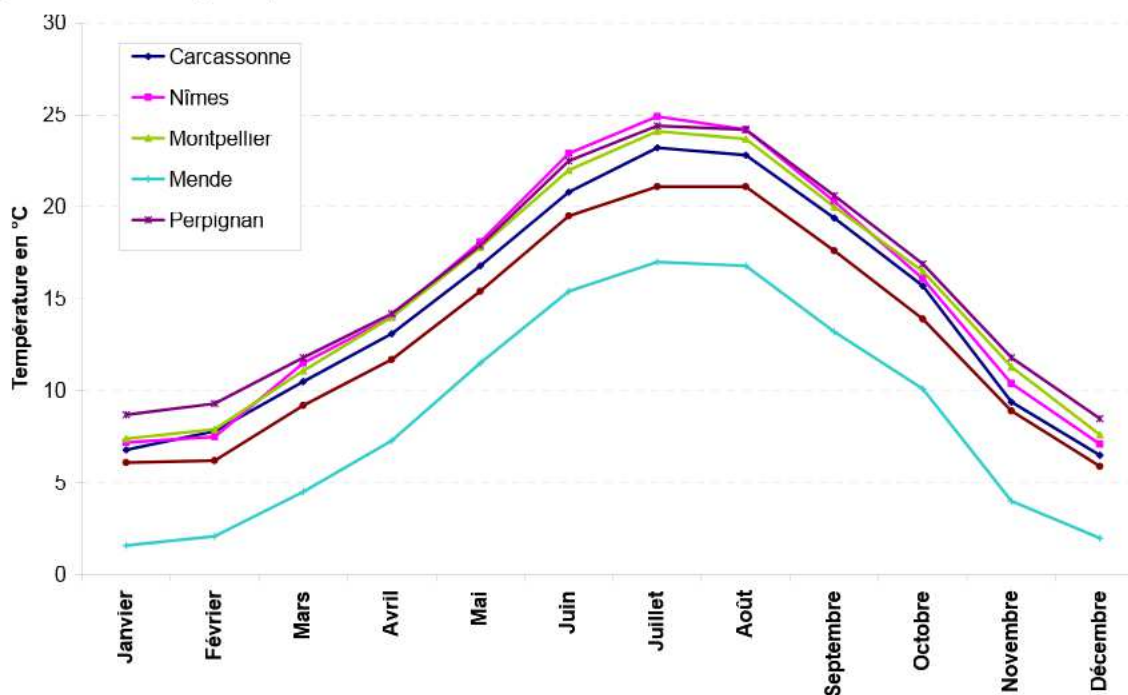


Figure 3 : Température moyenne mensuelle de l'année de référence représentative de la période actuelle

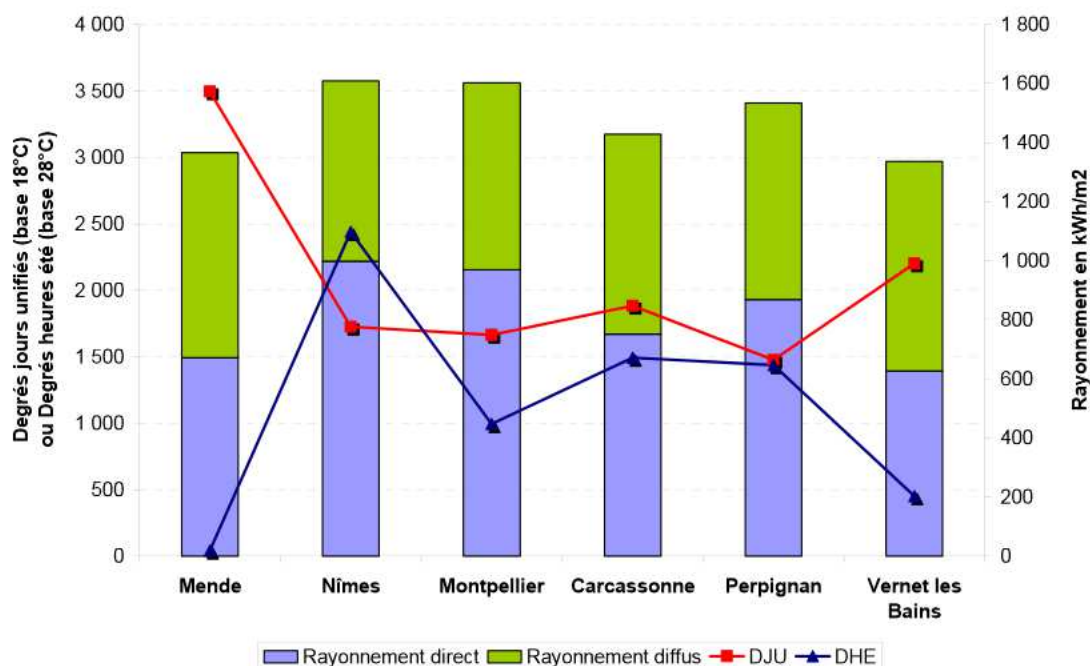


Figure 4 : DJU, DHE et rayonnements de l'année de référence représentative de la période actuelle

Zoom sur l'année 2003

D'un point de vue climatique l'année 2003 est particulièrement importante puisque, encore en 2010, elle reste la dernière année de canicule notable enregistrée. On notera toutefois que les hautes températures n'ont pas été au rendez-vous tout au long de 2003 et que l'hiver fut relativement plus rigoureux que la moyenne.

Pour ce qui concerne la saison estivale, 2003, année exceptionnelle, pourrait bien, selon certaines simulations climatiques, devenir courante dès le milieu du 21^{ième} siècle en se reproduisant une année sur deux.

Pour analyser en détail le comportement des bâtiments BBC dans ces conditions climatiques, le choix a été fait de travailler sur des données plus précises qu'usuellement, c'est-à-dire à partir de données au pas de temps horaire, pour trois des six stations étudiées.

	Nîmes	Carcassonne	Perpignan
Température	X	X	X
Insolation	Du 01/01 au 19/02: Méjannes le Clap 20/02 AU 31/12 : Nîmes	X	X
Rayonnement global	Méjannes le Clap	X	X
Rayonnement diffus	Non disponible	X	X

Tableau 5 : Détail des données journalières disponibles pour l'année 2003

Ainsi, pour Nîmes, Perpignan et Carcassonne, le comportement des bâtiments au cours de l'année 2003 a été simulé, non pas en injectant les données météorologiques reconstituées par METEOCALC, mais bien avec les données issues des mesures horaires de Météo France.

Disposant d'une telle richesse d'information, il était tentant d'éprouver la robustesse de la reconstitution générée par METEOCALC à partir des données mensuelles de Météo France, et d'apprécier comment un logiciel de reconstitution de données horaires parvenait à approcher la réalité climatique d'une année particulière, pour un site donné.

Un tel exercice a été conduit sur les stations de Carcassonne et de Perpignan qui toutes deux disposent d'un jeu complet de données, y compris celles relatives au rayonnement.

Pour ce qui concerne les paramètres météorologiques globaux tels les DJU, les températures mensuelles moyennes, minimales ou maximales et le rayonnement global, METEOCALC retrouve avec une bonne précision (erreur comprise entre 3 et 5 %) les valeurs issues des mesures de Météo France. Seule la part diffuse du rayonnement présente une erreur plus conséquente, de l'ordre de 20 %.

Prolongeant cette analyse, les données reconstituées et les données horaires de Météo France ont été successivement injectées dans le modèle de simulation thermique pour trois bâtiments différents, avec comme principaux résultats :

- les besoins de chaleur de la période hivernale sont, globalement, correctement estimés, l'erreur restant inférieure à 10 %,
- la validité de la simulation est moins satisfaisante, pour caractériser le comportement estival de ces bâtiments. Pour la température maximale intérieure, les écarts sont compris entre 0,4 et 1,1 °C alors que la durée d'inconfort⁴ est approchée avec une erreur variant entre 25 et 80 %.

⁴ Nombre d'heures où la température intérieure est supérieure à 28 °C

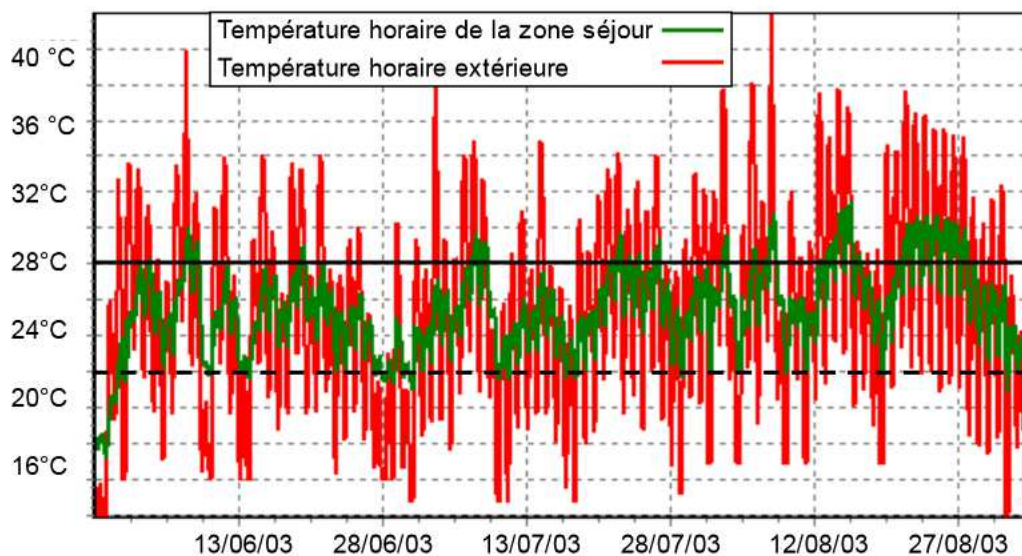


Figure 5 : Evolution de la température horaire dans la zone de séjour et à l'extérieur
 Projet 1 MI Paille - Carcassonne - Période du 29 mai au 2 septembre 2003
 Données d'entrée modélisation générées par METEOCALC (température d'inconfort 28°C)

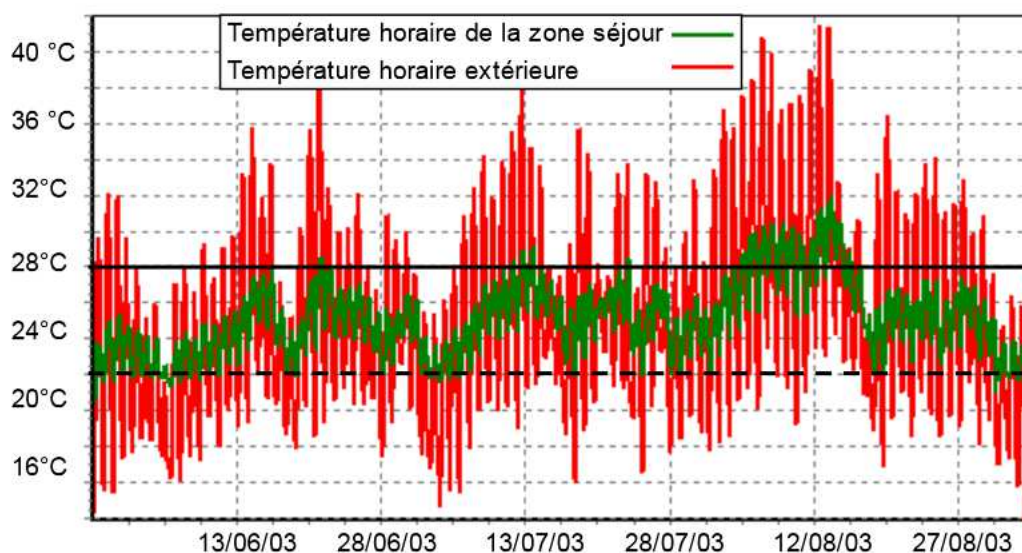


Figure 6 : Evolution de la température horaire dans la zone de séjour et à l'extérieur
 Projet 1 MI Paille - Carcassonne - Période du 29 mai au 2 septembre 2003
 Données d'entrée modélisation Météo France (température d'inconfort 28°C)

Les logiciels de simulation thermique des bâtiments utilisent comme données d'entrée, les valeurs horaires des paramètres météorologiques. Lorsqu'elles ne sont pas disponibles on les reconstitue avec des outils numériques, en l'espèce METEOCALC qui travaille à partir de données principalement mensuelles. Dans ces conditions, il n'est pas étonnant qu'il ait des difficultés se retracer scrupuleusement la variabilité de chaque journée. En tout cas c'est le constat que l'on peut faire pour la station de Carcassonne, où METEOCALC lisse trop les évolutions journalières de température (cf. Figures 5 et 6). Les occurrences où de faibles températures sont atteintes sont moins nombreuses, ce qui conduit à une minimisation de la capacité de décharge thermique du bâtiment, et pourrait être à l'origine de la surévaluation de près de 80 % de la durée d'inconfort. Sur la station de Perpignan c'est plutôt l'effet inverse

qui est observé et qui conduirait à sous-estimer l'inconfort estival (25 % environ). L'effet de tampon des variations thermiques apportées par la proximité de la mer pourrait ne pas être étranger à cette différence de comportement.

A l'issue de cette première approche de l'analyse de la validité des simulations thermiques des bâtiments, il en ressort, pour l'année 2003 et pour les stations météorologiques de Carcassonne et de Perpignan, que l'utilisation de données moyennes mensuelles suffit pour que les besoins énergétiques hivernaux soient relativement bien estimés, mais semble inadéquate pour assurer une représentation fidèle de la situation estivale. L'acquisition des données horaires Météo France apporte alors un gain tout à fait appréciable pour approcher avec plus de précision les paramètres caractéristiques de l'inconfort estival d'un bâtiment.

La représentativité des paramètres météorologiques globaux reconstitués n'est, en soi, pas mauvaise, mais la sensibilité des modèles de simulation thermique dynamique des bâtiments aux données d'entrée est telle que les écarts peuvent, in fine, s'avérer conséquents sur les paramètres caractéristiques du confort d'été d'un bâtiment.

Ces conclusions ne valent évidemment que pour l'année et les localisations prises en compte. Il n'en reste pas moins qu'il conviendra, dans l'analyse ultérieure des données, en particulier si l'on s'intéresse aux valeurs absolues des paramètres suivis, de conserver en mémoire des possibles biais, induits par un caractère plus ou moins continental de la localisation du bâtiment. La prudence sera donc de mise lorsque l'on comparera deux configurations constructives distinctes avec des implantations géographiques différentes. L'établissement de comparaisons, en mode relatif, sur une même localisation, permettra, pour partie, de s'affranchir de cette difficulté.

De façon plus générale, cette analyse met en évidence tout l'intérêt qu'il y aurait à poursuivre, avec une étude plus exhaustive, la réflexion sur la robustesse des logiciels de reconstitution de données météorologiques et la sensibilité des outils de simulation thermique dynamique aux données d'entrée ainsi générés. Cette approche plus fine passe probablement par le suivi, dans la durée, d'un bâtiment correctement instrumenté et la confrontation entre les paramètres mesurés et les valeurs simulées avec tel ou tel logiciel particulier.

Reconstitution des contextes climatiques futurs

Le contexte climatique futur pris en compte dans cette étude repose en grande partie sur les données calculées par Météo France, à l'aide du modèle ARPEGE, pour les périodes 2030 et 2050, à partir du scénario A2⁵.

Il conduit à une prévision de l'augmentation des températures, notamment estivales, de 1,2 à 1,5 °C en 2030 et de 2,2 à 3°C en 2050, plus prononcée sur le Sud de la région et sur le Gard rhodanien. La méthodologie de ces reconstitutions est détaillée dans l'étude complète. Elles se basent sur le climat moyen actuel à partir duquel les choix suivants ont été retenus :

- en l'absence d'informations précises, l'insolation pour 2030 et 2050 et donc le rayonnement ont été conservés à l'identique de la période de référence 1999 - 2008,
- les températures moyennes mensuelles actuelles ont été augmentées de l'écart maximum prévu par Météo France pour chacune des saisons,

⁵ Scénario A2 du GIECC : il suppose une continuité des tendances actuelles avec une prédominance des énergies fossiles et une augmentation des disparités régionales. Dans ce scénario, les émissions de gaz à effet de serre sont en augmentation jusqu'à 2100.

- l'amplitude de variation journalière des températures, dont on a vu au paragraphe précédent l'importance pour apprécier le confort d'été, a été calquée sur celle de l'année 2003. En effet, le niveau de précision des prévisions numériques ne permet pas encore de reconstituer un profil type d'amplitude diurne et nocturne.

Pour simuler des épisodes caniculaires dans un contexte climatique moyen représentatif de la période 2030 ou 2050, c'est le profil marqué de l'année 2003, avec un hiver rigoureux et un été caniculaire, qui a été adopté. Viennent alors se surimposer les augmentations de température prévues par Météo France à la fois sur la température moyenne de chaque mois de l'année 2003 mais aussi sur les extrêmes T_{min} et T_{max}.

Avec de tels postulats, l'hiver rigoureux de l'année 2003 impactera sur la représentation des périodes hivernales des années caniculaires des contextes 2030 et 2050. Il conviendra donc de garder en mémoire ce choix initial comme un point de vigilance lors du dépouillement des résultats détaillés pour chacun des bâtiments.

Le niveau de précision des modèles climatiques nous a obligé à adopter des hypothèses particulières dont on trouvera le détail méthodologique dans l'étude complète. Ces choix, qui pour être raisonnés n'en sont pas moins partiels, induisent donc une imprécision supplémentaire dans l'exercice de la simulation thermique. L'interprétation des résultats sur les années caniculaires 2030 et 2050 devra se faire avec une circonspection toute particulière. On notera toutefois (cf. Annexe 3 : Fiches individuelles de résultats des simulations thermiques dynamiques) que le crescendo des contraintes sur les bâtiments, depuis le contexte actuel, 2030, 2050, 2003, 2030 caniculaire jusqu'à 2050 caniculaire, que l'on présupposait intuitivement, se trouve en général respecté.

Simulation thermique dynamique des 10 bâtiments BBC

Une simulation thermique dynamique a été conduite, avec le logiciel Pléiade Comfie, sur l'ensemble des dix bâtiments retenus, en prenant en compte le contexte climatique imposé par leur localisation et cela pour six périodes différentes (actuelle, 2003, 2030, 2050, 2030 caniculaire et 2050 caniculaire). Les données météorologiques retenues sont celles issues de METEOCALC, tel que décrit dans le chapitre précédent, excepté pour l'année 2003, où sur Carcassonne, Nîmes et Perpignan, les données horaires acquises auprès de Météo France ont été utilisées.

Les paramètres de fonctionnement et d'équipement des bâtiments ont été, dans la mesure du possible homogénéisés (mode d'occupation, nombre et qualité des équipements électriques susceptibles de contribuer aux apports calorifiques internes et à la consommation énergétique, température de consigne hivernale à 19 °C pour les pièces à vivre entre 7h00 et 23h00, etc.). Le détail de ces hypothèses est largement exposé dans l'annexe 3 de l'étude complète. Une fiche présentant en détail le bilan énergétique et le niveau de confort d'été a été rédigée pour chaque bâtiment (cf. Annexe 3 ci-après).

Dans l'analyse qui suit nous avons écarté le bâtiment implanté à Mende qui, vu sa localisation, ne présente pas de problème particulier d'inconfort estival mais affiche une consommation supérieure au label BBC (76 kW/m²/an) ce qui s'explique aisément puisqu'il n'était pas prévu initialement pour cette implantation géographique.

Comportement estival

Les deux paramètres importants du confort estival sont la durée d'inconfort⁶ et la température maximale intérieure. Pour chaque bâtiment, les indices d'inconfort d'été ont été établis :

- sur une pièce particulière, en général le séjour pour les locaux à usage d'habitation,
- en moyenne pour tout le projet, en pondérant les indices de chaque partie du bâtiment avec la superficie correspondante. C'est cet indice moyen qui a été retenu pour les différents graphiques traitant de l'inconfort.

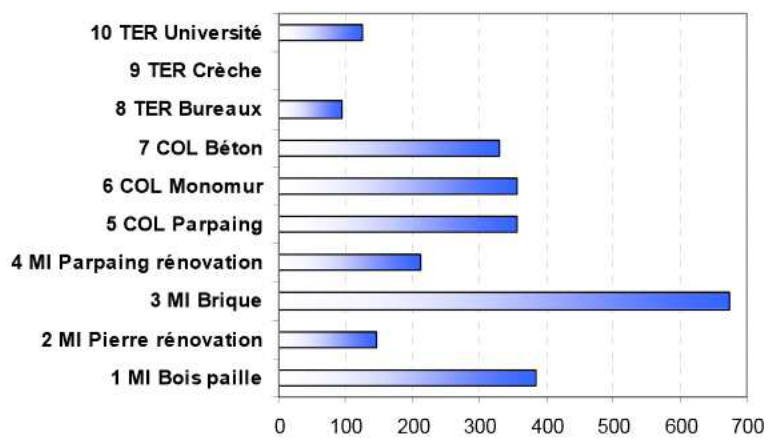
Les trois figures suivantes mettent en évidence les différences de comportement de chaque bâtiment du point de vue de l'inconfort estival. Ces disparités trouvent leurs origines dans les choix constructifs variés mais également, dans les localisations, et donc, les contextes climatiques parfois distincts.

Tout en conservant en mémoire les biais méthodologiques et facteurs d'incertitude exposés au chapitre précédent⁷ qui doivent conduire à relativiser les données présentées, il apparaît clairement que la rigueur des conditions climatiques exacerbe les limites techniques des constructions. Ainsi, celles qui proposent une solution technologique moins élaborée voient très rapidement leurs performances thermiques se dégrader à l'aune de l'amplification des changements climatiques.

Seul le projet 9 TER Crèche, doté d'un système de climatisation n'a aucune préoccupation de confort estival.

⁶ Nombre d'heures où la température intérieure est supérieure à 28°C.

⁷ Facteurs d'incertitude non négligeables pour certaines configurations climatiques (surestimations de l'inconfort pour les stations continentales et sous-estimations pour les localisations sous influence maritime, ...)



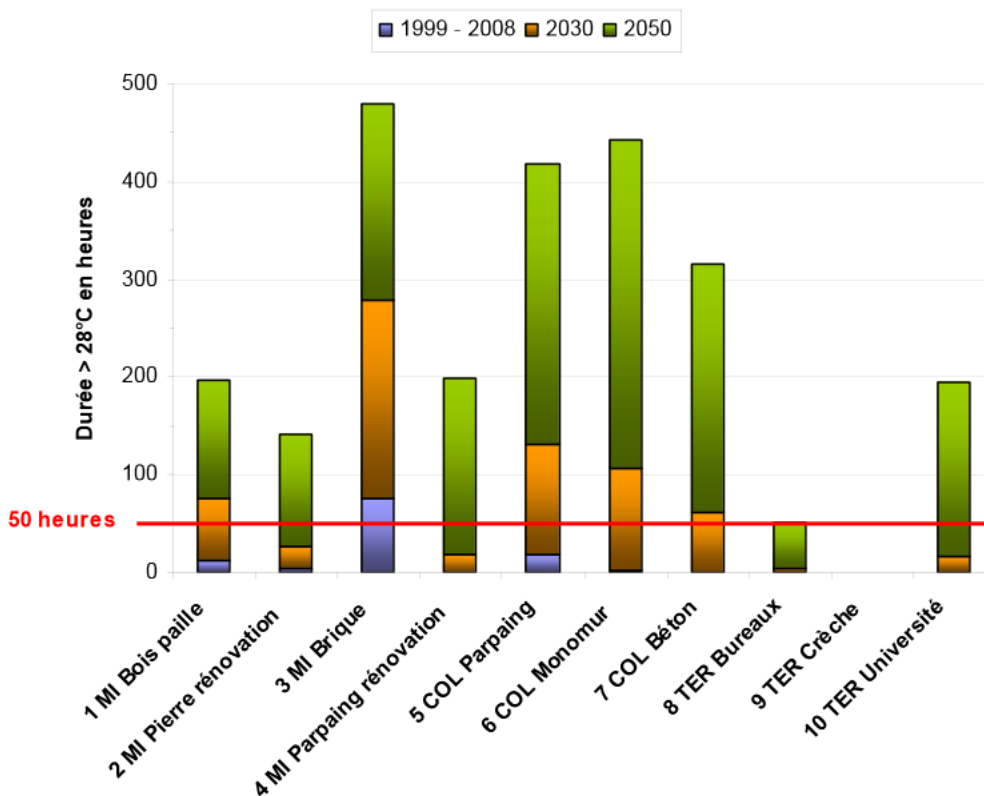


Figure 8 : Durée d'inconfort (heures)
 Nombre d'heures avec une température interne bâtiment supérieure à 28 °C

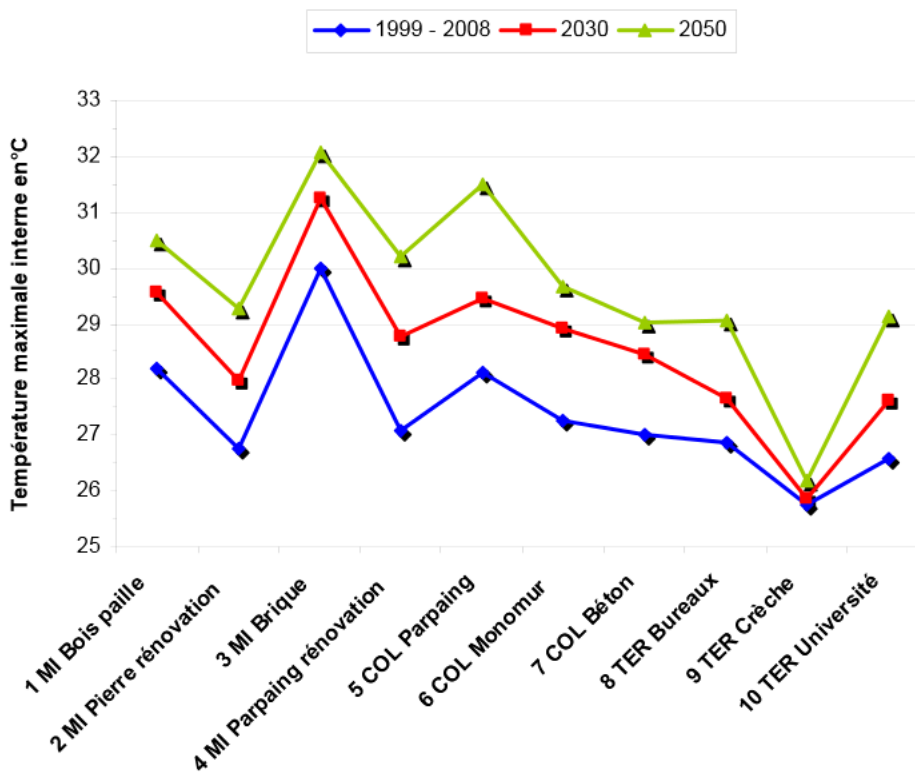


Figure 9 : Température maximale interne des différents bâtiments (°C)

Besoin en chauffage – Consommation d'énergie

Les besoins en chauffage et la consommation d'énergie qui en résulte dépendent du contexte climatique, donc de la localisation plus ou moins favorable de la construction, et de la performance thermique propre au bâtiment et à ses équipements (système constructif, isolation des différentes parois, facteur solaire des vitrages conditionnant une plus ou moins bonne récupération des apports solaires hivernaux, type de ventilation, ...).

La figure 10 intègre ces différents paramètres. On rappelle, qu'en raison des différentes localisations, il est délicat de tirer des conclusions immédiates sur la performance intrinsèque de chacun des projets.

De prime abord, le bâtiment le moins bien isolé (4MI Parpaing rénovation), avec un $U_{bât}$ de $0.63 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$, est celui qui présente les besoins énergétiques les plus élevés. A contrario, le projet 6 (COL Monomur) qui cumule une isolation moins efficace que le 5 (COL Parpaing) et des hivers moins doux, arrive malgré tout à mieux maîtriser ses besoins de chaleur. On voit par là que si le paramètre isolation est important, les autres caractéristiques d'un bâtiment (compacité, orientation, efficacité de la récupération des apports solaires hivernaux, ...) jouent aussi un rôle déterminant. Pour le bâtiment 4, c'est la combinaison d'une isolation moyenne, d'une orientation non optimisée et des caractéristiques météorologiques de Carcassonne qui conduit à des besoins largement supérieurs aux autres. Dans le cas de la crèche (bâtiment 9 TER), là encore, une conjonction de plusieurs facteurs conduit à des besoins relativement élevés. L'isolation ($U_{bât} 0.42 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$), l'absence de ventilation double flux et des vitrages ne permettant pas d'exploiter au mieux le soleil d'hiver sont en cause, sans oublier toutefois que la spécificité du public accueilli dans ce bâtiment a nécessité d'adopter une température de consigne de 20°C contre 19°C pour les autres projets étudiés.

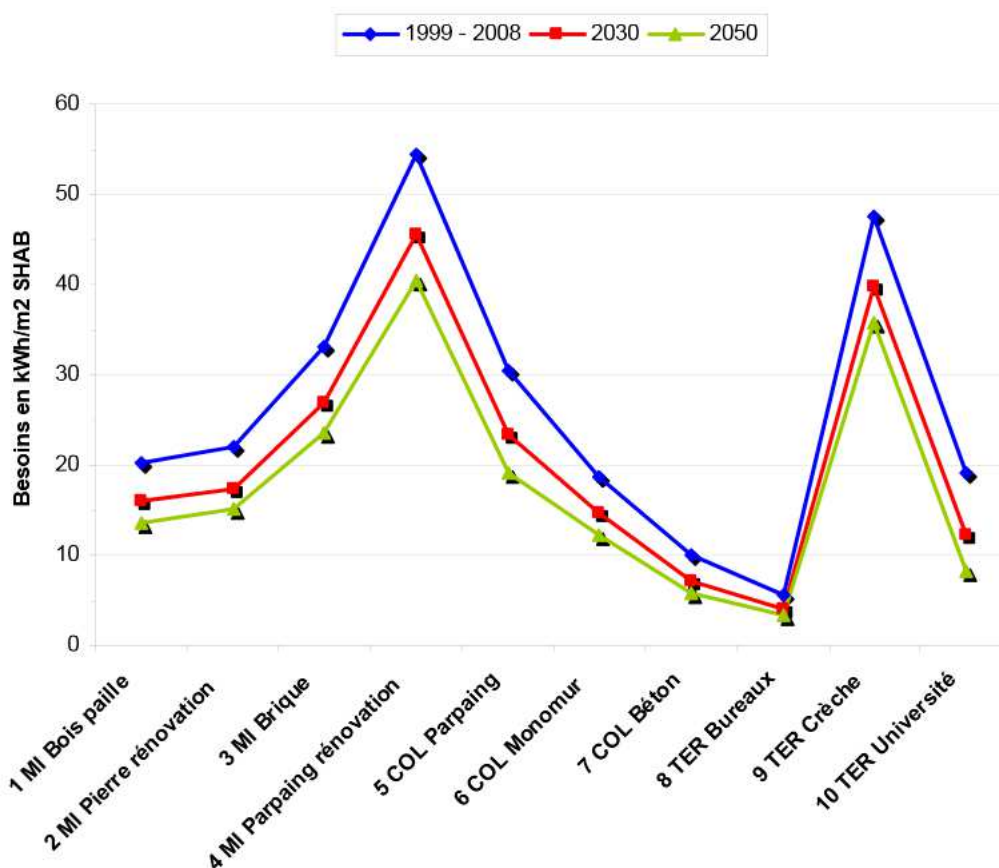


Figure 10 : Besoin en chauffage des dix bâtiments BBC pour trois échéances climatiques différentes

Globalement les hivers 2030 et 2050 seront partout plus doux occasionnant une diminution des besoins de chauffage comprise entre 16 et 36 %, à échéance 2030, et 24 à 57 %, à échéance 2050, par rapport à la période de référence 1999 - 2008. Les réductions les plus importantes de ces besoins se concentrent sur les bâtiments collectifs à usage d'habitation ou de bureaux pour lesquels influe le ratio « volume chauffé sur surface de l'enveloppe ».

Par ailleurs, pour une même situation géographique, il est intéressant de noter que les gains attendus seront plus importants pour les bâtiments les plus performants.

L'examen détaillé des fiches reportées en annexe 2 montre que l'hiver rigoureux de 2003 entraîne, pour tous les bâtiments, une augmentation des besoins en énergie.

Les hypothèses retenues pour reconstituer les années caniculaires 2030 et 2050, font qu'il impose son profil sur les hivers de ces années caniculaires futures provoquant la remontée correspondante des consommations. Ces hausses doivent donc plutôt être vues comme un biais dû aux hypothèses retenues que comme une réalité en devenir.

Analyse de sensibilité

Le chapitre précédent a mis en évidence des comportements thermiques différents pour chacun des bâtiments étudiés. Avant de présenter quelques pistes d'amélioration potentielle, et de façon à faire émerger les leviers les plus efficaces, une analyse de sensibilité a été mise en œuvre permettant d'individualiser l'effet de certains paramètres comme l'isolation, l'inertie de l'enveloppe, du sol et des cloisons, l'importance de la toiture, les apports internes ou la ventilation nocturne.

Cette analyse a été conduite, pour le contexte climatique 2030, en partant d'une situation de base et en modulant le paramètre étudié, sur trois bâtiments de configuration similaire⁹ aux projets BBC précédemment étudiés :

- Maison individuelle analogue au projet 3 (MI Projet 3),
- Logement collectif analogue au projet 5 (COL Projet 5),
- Bâtiment de bureaux analogue au projet 8 (TER Projet 8).

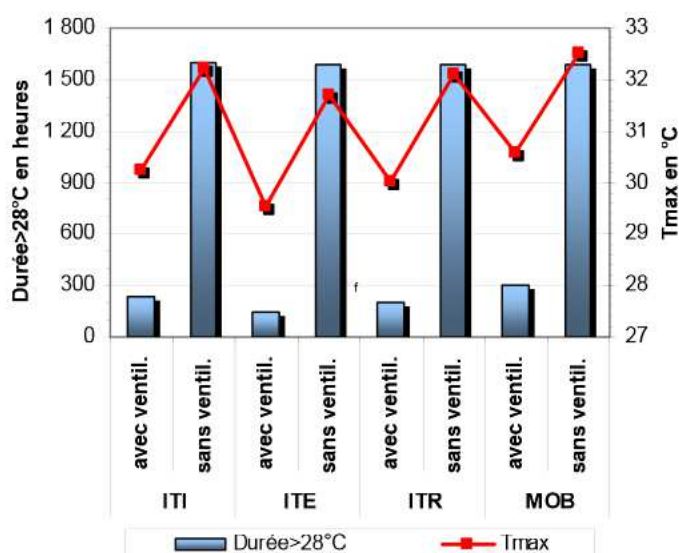


Figure 11 : Ventilation nocturne et confort d'été COL Projet 5 (Perpignan – 2030)

La température représentée est une maximale moyenne pour toutes les pièces du bâtiment. Sauf annotation contraire, il en sera de même tout au long de ce chapitre.

La maîtrise des consommations des différents équipements d'un bâtiment est primordiale si on veut que la logique qui préside à la démarche du label BBC soit respectée en usage courant. A ce titre, la sensibilisation des occupants de tels bâtiments à des comportements économes en énergie ne doit pas être négligée. Un des effets induits est un contrôle des

Pour tous les bâtiments, la ventilation nocturne joue un rôle majeur dans la préservation d'un bon niveau de confort d'été.

La figure ci-contre qui compare, pour le bâtiment d'habitation collective, un scénario avec ventilation nocturne (5 volume/h) par ouverture des fenêtres et l'autre sans ventilation, en apporte une évidente confirmation.

Quel que soit le type d'enveloppe du bâtiment, isolation par l'intérieur, l'extérieur, répartie ou mur à ossature bois, on retrouve des durées d'inconfort divisées par huit entre les deux configurations.

La température représentée est une

⁹ De façon à rendre les différentes options analysées plus aisément comparables et à se rapprocher de typologies de construction plus courantes, en particulier pour les projets 5 et 8, par convention nous avons fixé des compositions de paroi identiques sur l'ensemble des trois projets étudiés. L'enveloppe en configuration de base ITI est en parpaing de 20 cm et le coefficient U de chaque paroi correspond à la moyenne des niveaux d'isolation observés sur l'ensemble des projets avec :

- Umur : 0.30 W/(m².K),

- Usol sur vide sanitaire: 0.30 W/(m².K) ou Usol sur terre-plein : 0.40 W/(m².K), selon les cas,

- Utoit : 0.20 W/(m².K).

Cette convention explique que, dans certains cas, quelle que soit la modulation du paramètre particulier étudié, on puisse ne pas retrouver une performance générale du bâtiment analogue à celle calculée pour le projet réel. Elle joue peu pour MI Projet 3 qui, dans sa configuration réelle, s'approche de ces valeurs.

apports calorifiques indirects. Cette gestion efficace de l'énergie suppose, entre autres, l'optimisation de l'éclairage naturel, l'extinction des appareils en veille, une préférence accordée aux ordinateurs portables et à des systèmes d'éclairage performants. Le poids relatif de ces différentes options qui pourrait sembler mineur dans le budget énergétique global d'un bâtiment quelconque prend une importance d'autant plus accrue que la consommation générale de ce dernier devient faible. Il en est de même pour les apports calorifiques induits. Plus le bâtiment sera isolé, plus ils impacteront dans les apports totaux et donc, en été, sur le niveau d'inconfort.

On peut ainsi montrer que, dans un cas d'école peu réaliste, si on supprimait totalement les apports internes hors occupation, le confort d'été serait augmenté d'un facteur 2.

En revanche, la perméabilité à l'air des bâtiments, avant tout recherchée pour l'amélioration des performances d'hiver, ne joue pas un rôle très important d'un point de vue du confort d'été.

L'examen détaillé des autres facteurs d'amélioration, nécessite d'adopter une approche plus circonstanciée distinguant chaque type de bâtiment.

Maison individuelle

Le premier paramètre que l'on imagine susceptible de pouvoir jouer grandement sur la performance globale d'un bâtiment, est la technique et la qualité de l'isolation mise en œuvre (intérieure, extérieure, répartie, isolation minimale faiblement épaisse ou plus consistante). Ainsi, la meilleure configuration mise en évidence consiste en une isolation extérieure de bonne épaisseur (équivalent à 17 cm de polystyrène). Dans cette configuration, l'amélioration est sensible par rapport au bâtiment BBC initial avec un gain d'un facteur 3 sur la durée d'inconfort. On voit par là qu'une isolation de haut niveau n'est pas forcément synonyme d'inconfort estival, pour autant que la conception générale du bâtiment et, tout particulièrement sa ventilation nocturne, soit adaptée en conséquence.

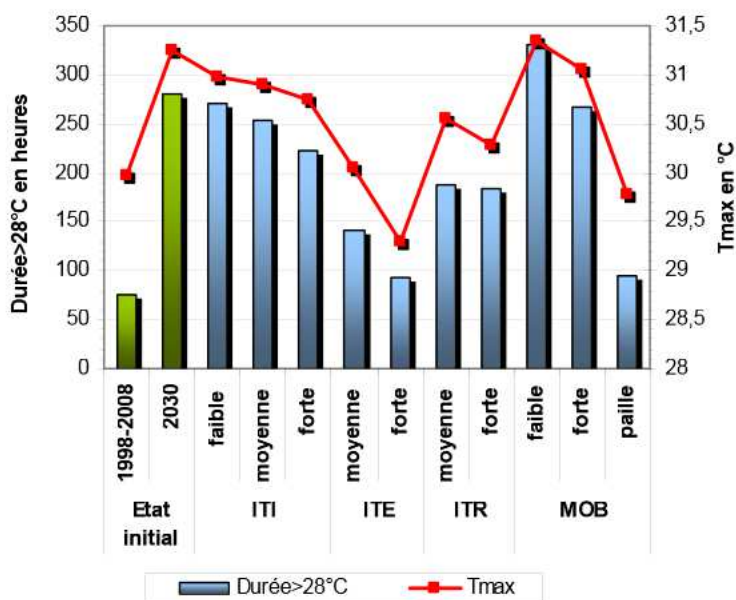


Figure 12: Effet de l'inertie des parois extérieures sur le confort d'été - MI Projet 3 (Nîmes – 2030)

L'effet induit par l'inertie des parois extérieures est également prépondérant pour améliorer le niveau de confort d'été (cf. illustration ci-contre).

Une forte inertie de la paroi, associée à une isolation par l'extérieur, apporte un gain très significatif (facteur compris entre 2 ou 3) par rapport à la configuration initiale comportant des murs en parpaing isolés par l'intérieur.

L'importance du choix de l'isolant, plus précisément de sa densité, est crucial pour la performance thermique des murs à ossature bois, intrinsèquement peu massifs. Seule la mise en

œuvre d'un isolant en paille lui permet de rivaliser avec la meilleure des parois en maçonnerie. Avec les autres configurations, le niveau de performance est au mieux identique

à celui d'une solution classique de type blocs béton et isolation par l'intérieur avec polystyrène.

L'amélioration du comportement estival d'un bâtiment ne passe pas seulement par une réduction des durées d'inconfort. Elle peut également s'avérer importante au niveau des températures maximales atteintes. On observe, ainsi, un écart de 2 °C entre les solutions les plus performantes et celles moins élaborées.

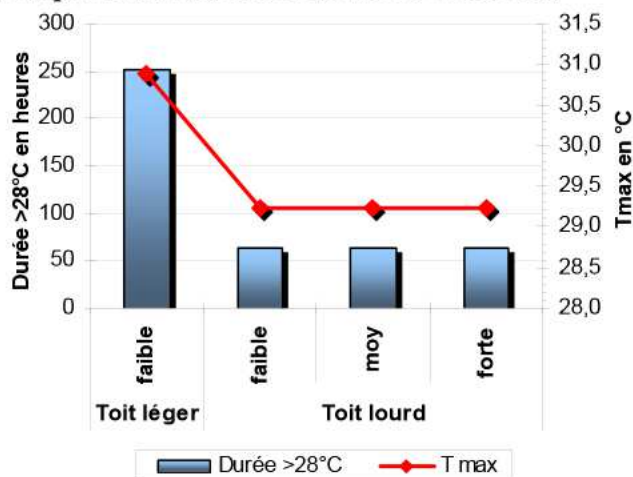


Figure 13 : Effet de la densité de l'isolant en toiture lourde sur le confort d'été MI Projet 3 (Nîmes – 2030)

Si cette option technique n'est pas envisageable en construction neuve ou, si l'on est dans le cas d'une rénovation, c'est sur le choix de l'isolant que repose la réduction de l'inconfort. Le graphe ci-après illustre, pour la maison individuelle et différents types de parois, le gain de réduction de l'inconfort d'un facteur 2 en passant¹⁰ d'un isolant de faible densité (13 kg/m³) comme la laine de verre à une isolation de forte densité (150 kg/m³) tel des panneaux de fibre de bois. La configuration intermédiaire consiste en un soufflage de ouate de cellulose (60 kg/m³).

Dans tous les cas, ces améliorations de configuration de toiture ne peuvent produire leur plein effet que si elles sont couplées à une ventilation de toiture suffisante, d'au moins 120 volumes/h, afin de garantir une bonne décharge thermique.

La nature de la toiture constitue par ailleurs un axe d'amélioration particulièrement efficace. Son potentiel sera maximum pour les bâtiments d'un seul niveau, comme c'est le cas de MI Projet 3 ou pour les pièces du niveau supérieur, dans le cas de logements à étages.

Dans la mesure du possible, on optera pour une toiture lourde, de type dalle béton, qui permettra, (cf. graphe ci-contre), indépendamment de la nature de l'isolant, de réduire d'un facteur 5 et de 1,5°C l'inconfort estival.

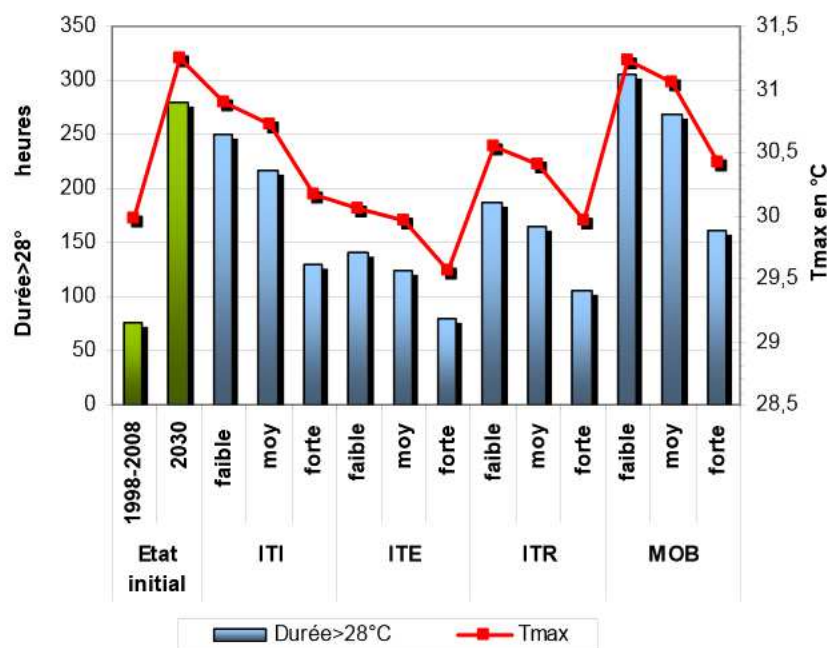


Figure 14: Effet de la densité de l'isolant en toiture légère sur le confort d'été - MI Projet 3 (Nîmes – 2030)

¹⁰ La résistance thermique est identique et égale à 5 m².K/W.

Sans être aussi important, le gain potentiel entre un bâtiment posé sur terre-plein et un autre sur vide sanitaire varie de 30 à 50 % selon la nature des murs. Cette configuration qui permet de bénéficier de l'effet d'inertie thermique apporté par le sol, présente aussi des avantages en hiver où les besoins de chauffage sont diminués d'environ 30%.

Aller au-delà du minimum d'isolation indispensable ($U = 0,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$) n'est pas avantageux. En été, la dalle aura moins de facilité à se décharger dans le sol plus froid alors que, l'hiver, les besoins de chauffage resteront sensiblement équivalents.

Evidemment, il convient de s'assurer que la qualité de la construction permettra d'éviter les remontées d'humidité et autres phénomènes de moisissure dans les murs. On notera de plus que, dans des contextes géologiques granitiques, la problématique du radon pourra primer sur ces considérations portant exclusivement sur l'optimisation énergétique.

Enfin, l'inertie de l'enveloppe n'est pas la seule à pouvoir jouer un rôle thermique dans le bâtiment. Un effet du même type, bien que nettement moins important, de l'ordre de 17 %, serait également possible au niveau des cloisons intérieures. Néanmoins, l'adoption d'un cloisonnement dense suppose de bousculer les pratiques usuelles privilégiant la mise en œuvre de placoplâtre qui présente de nombreux avantages comme la modularité, la rapidité de réalisation, le faible coût, etc. Il est donc peu réaliste d'imaginer une montée en puissance systématique du cloisonnement lourd à base de carreau de plâtre par exemple. Le développement des matériaux à changement de phase assurant une absorption d'énergie par les murs sans changement de température, ce qui se traduit par une amélioration des performances inertielles d'un facteur 3 à 4, pourrait, à terme, permettre d'allier les avantages d'un cloisonnement rapide, type placoplâtre, et d'une bonne inertie thermique.

En tout état de cause, à l'occasion de travaux de rénovation intérieure, lorsque l'enveloppe du bâtiment ne peut pas être touchée, il peut être intéressant de ne pas négliger le potentiel de ce type d'optimisation.

A l'issue de cette première analyse des facteurs jouant sur le confort d'été de MI Projet 3 dont il convient de rappeler que le bâtiment est d'un seul niveau, la solution constructive la plus performante qui ressort consiste en la combinaison d'une enveloppe de forte inertie (béton) dotée d'une isolation par l'extérieur de qualité, avec un cloisonnement intérieur dense et une toiture lourde. Si le contexte géotechnique le permet, on évitera le vide sanitaire de façon à bénéficier également de l'inertie thermique du sol, dont on peut espérer un gain supplémentaire de confort d'été tout en conservant une diminution des besoins de chauffage.

Logement collectif et bureaux

Dans le cas de figure de ces bâtiments nettement plus vastes que le précédent, avec une surface habitable comprise entre 800 et 2 000 m², le ratio « volume disponible sur superficie de l'enveloppe » est plus grand et l'effet des améliorations de l'enveloppe devient moins substantiel que pour le logement individuel. Toutefois les grandes tendances mises en évidence pour l'habitation individuelle (MI Projet 3) restent valides.

A l'inverse, du fait de cet effet géométrique, volume rapporté à la surface des bâtiments, l'optimisation du cloisonnement intérieur retrouve plus de légitimité. Le gain obtenu de 15 % dans la maison individuelle peut s'élever à 30 voire 50 % dans les logements collectifs ou les bâtiments de bureau au regard de l'importance des surfaces intérieures.

Pour le bâtiment collectif d'habitation (COL Projet 5), la seule configuration qui permette d'améliorer les performances thermiques du choix constructif initial requiert la mise en œuvre d'une isolation par l'extérieur de bonne épaisseur sur une structure de forte densité.

Enfin, pour ce qui concerne le bâtiment tertiaire à usage de bureaux (8 TER Bureaux), la qualité des choix initiaux (isolation répartie en 50 cm, ouvertures optimisées, ventilation double flux, toiture lourde, ...) est telle que les différentes variantes étudiées ne permettent pas d'atteindre, même pour les plus performantes d'entre elles (murs denses et forte isolation par l'extérieur ou mur à ossature bois et une isolation en paille), un niveau identique de performances.

Quelques considérations économiques

Les paragraphes précédents ont montré l'importance des choix constructifs (type de paroi, densité d'isolation, toiture, etc.) dans la performance énergétique globale d'un bâtiment et dans son niveau de confort estival.

Avec les prix unitaires retenus (cf. Annexe 6 de l'étude complète), les enveloppes les plus performantes se révèlent être les plus onéreuses. Il est évident que ce facteur économique joue un rôle important dans la plus ou moins grande diffusion de telle ou telle technique. Ainsi le prix du m² d'enveloppe peut presque doubler entre une solution minimaliste (isolation par l'intérieur tout juste suffisante à l'obtention du label BBC) et la solution la plus performante étudiée.

Cet état de fait explique, pour partie, la forte prédominance de l'isolation par l'intérieur mais on peut espérer que le développement de certaines solutions, jusqu'à maintenant assez peu répandues (isolation répartie en blocs de 50 cm, mur à ossature bois à forte densité, etc.), sera de nature à réduire ce différentiel de coût.

Il en va de même pour le cloisonnement intérieur. L'émergence progressive des matériaux à changement de phase devrait conduire à une réduction des coûts qui restent encore près de quatre fois plus élevés que ceux d'une cloison classique de type placoplâtre.

Le chapitre suivant permettra de compléter ces premières considérations économiques en les appliquant à des bâtiments, en leur totalité, et en tenant compte des coûts de fonctionnement.

Optimisation des bâtiments

Après avoir évalué individuellement l'importance de plusieurs paramètres dans l'amélioration du niveau de confort d'été d'un bâtiment, une approche plus globale impose d'examiner la combinaison de ces différents facteurs et leur influence sur le niveau de performance d'ensemble de la construction.

Trois grandes familles de scénarios ont été ainsi étudiées en contexte 2030 puis 2050. En premier, seul le bâtiment est modifié de telle façon que le niveau de confort calculé en contexte climatique 2030 (respectivement 2050) soit similaire à celui de la période de référence 1999 – 2008. Les autres configurations consistent, pour l'une, à mettre en fonctionnement des équipements de rafraîchissement et, pour l'autre, à combiner, tout à la fois, des modifications du bâtiment et des équipements de rafraîchissement. Pour de plus amples détails sur ces différentes variantes, il convient de se référer à l'annexe 3.

Ce travail d'optimisation a porté à nouveau sur les trois types de bâtiments déjà suivis :

- une maison individuelle de type projet 3 (MI Projet 3),
- un logement collectif de configuration analogue au projet 5 (COL Projet 5) mais avec une construction plus standard et, en particulier, une enveloppe moins complexe, présentant des caractéristiques identiques selon l'orientation des murs,
- le bâtiment à usage de bureau similaire au projet 8 (TER Projet 8), avec toutefois une configuration technique en base moins aboutie que le projet réel mais plus représentative des pratiques courantes.

Les fiches de synthèse détaillant les résultats de ces différents scénarios pour le contexte climatique attendu en 2030 sont présentées et commentées dans ce chapitre.

Pour le contexte climatique de 2050, on trouvera en annexe 4 les fiches correspondantes.

Le tableau ci-dessous récapitule les différentes variantes explorées dans chacun des contextes climatiques étudiés.

Configurations étudiées	Numéro de référence dans les fiches de synthèse
Bâtiment type (1999 – 2008)	0
Bâtiment type (2030)	1
Amélioration sur le bâti seul (2030)	2 à 5
Combinaison entre systèmes de rafraîchissement et amélioration sur le bâti (2030)	6 à 11
Systèmes de rafraîchissement seuls (2030)	12 à 14

Tableau 6 : Récapitulatif des différentes catégories des configurations étudiées

Au-delà des indicateurs techniques de type consommation d'énergie, durée et température d'inconfort, nous avons également pris en compte des indicateurs économiques tels les coûts d'investissement ou de fonctionnement, en intégrant plusieurs facteurs d'évolution (inflation, taux d'actualisation, ...). Les coûts d'investissement ne recouvrent que la part strictement concernée par les aspects thermiques de la construction. Les postes de dépenses correspondant aux peintures, à la plomberie, ... ne sont pas comptabilisés.

De façon à maximaliser les contraintes climatiques susceptibles de s'appliquer sur ces trois bâtiments, ils ont été modélisés à partir des paramètres météorologiques de la station de Nîmes¹¹. En cas d'utilisation d'un système thermodynamique de rafraîchissement, nous avons

¹¹ Dans l'interprétation des données à suivre, on se souviendra que, dans ces conditions climatiques de type continental, le chapitre 2 a mis l'accent sur un risque de surestimation importante de l'inconfort estival.

fait le choix d'une température de consigne de 26 °C. Concernant les apports énergétiques internes, nous avons postulé que la croissance prévisible du nombre d'objets électriques et électroniques dans les foyers, entre aujourd'hui et 2030, serait compensée par des améliorations technologiques limitant les émissions de chaleur induite.

Le détail des autres hypothèses économiques et techniques se trouve dans l'étude complète.

Maison individuelle

Les choix techniques pris en compte dans la modélisation conduisent à une configuration initiale du bâtiment légèrement dégradée par rapport à la maison individuelle précédemment étudiée. On peut cependant penser que le standard de qualité énergétique BBC continue d'être respecté.

Dans cette configuration, l'adoucissement des températures hivernales, attendu en 2030, induit une baisse des besoins de chauffage de près de 20 %.

Les scénarios d'amélioration du bâtiment, passant dans tous les cas par une dalle sur terre-plein, complétée avec un simple renforcement de l'isolation intérieure ou mieux, avec une isolation répartie voire extérieure, apportent un gain supplémentaire de 30 %.

Avec un bâtiment plus élaboré, comme un mur à ossature bois complété d'une isolation dense à base de paille, on peut espérer une baisse de 45 %.

Ces améliorations sur le bâti jouent également sur le niveau du confort d'été permettant de contenir les durées d'inconfort en dessous du seuil des 50 heures.

Cette limite est aussi respectée simplement en posant le bâtiment initial sur terre-plein et en mettant en œuvre un ventilateur plafonnier.¹² Le puits climatique permettra d'approcher également ce seuil mais il devra se combiner avec plusieurs autres améliorations sur le bâti. Il trouve davantage sa justification en terme de réduction des besoins de chaleur que de gain en confort d'été. En effet, pour ce bâtiment qui n'est pas équipé en ventilation double flux, le puits climatique reprend, pour partie, ce rôle en hiver et en demi saison. Les coûts d'investissement de ce type de configuration sont relativement importants et il est difficilement imaginable qu'il soit largement généralisé.

Dans les conditions climatiques 2030, le bonus apporté par une isolation extérieure réside principalement dans la baisse des températures intérieures maximales, inférieures de 1 à 1,5 °C par rapport aux autres configurations.

Parmi les options étudiées, la seule façon d'annuler en totalité les durées d'inconfort consiste à mettre en fonctionnement un système de rafraîchissement thermodynamique avec comme conséquence une augmentation des besoins en énergie qui, excepté pour le cas de la climatisation solaire, se traduira inmanquablement par une hausse des consommations énergétiques primaires.

Dans le prolongement de cette analyse en terme d'énergie primaire, dont on aura noté que le principal facteur d'évolution est le choix de la source énergétique entre le gaz et l'électricité, on constate que la plupart des configurations examinées ayant recours à des solutions électriques se retrouvent avec des consommations proches, supérieures d'environ 25 % aux solutions avec du gaz. La climatisation air/eau sans modification sur le bâti se singularise avec une surconsommation de 38 %.

¹² Le ventilateur plafonnier ou sur pied permet d'abaisser la température ressentie de l'air. Il est d'autant plus efficace que l'humidité relative de l'air est faible. Le brassage provoqué par le ventilateur facilite l'évapotranspiration de la peau et donc son rafraîchissement. Il n'y a pas de simulation dynamique disponible pour ce type de système. On peut néanmoins considérer que pour une humidité de 60 % et une vitesse d'air de 0.5 m/s, la baisse de température ressentie est de 3°C. Ces hypothèses ont été retenues pour approcher l'amélioration apportée par un ventilateur en terme de confort d'été.

Comportement thermique de 10 bâtiments BBC dans les conditions climatiques 2030 et 2050 en Languedoc-Roussillon

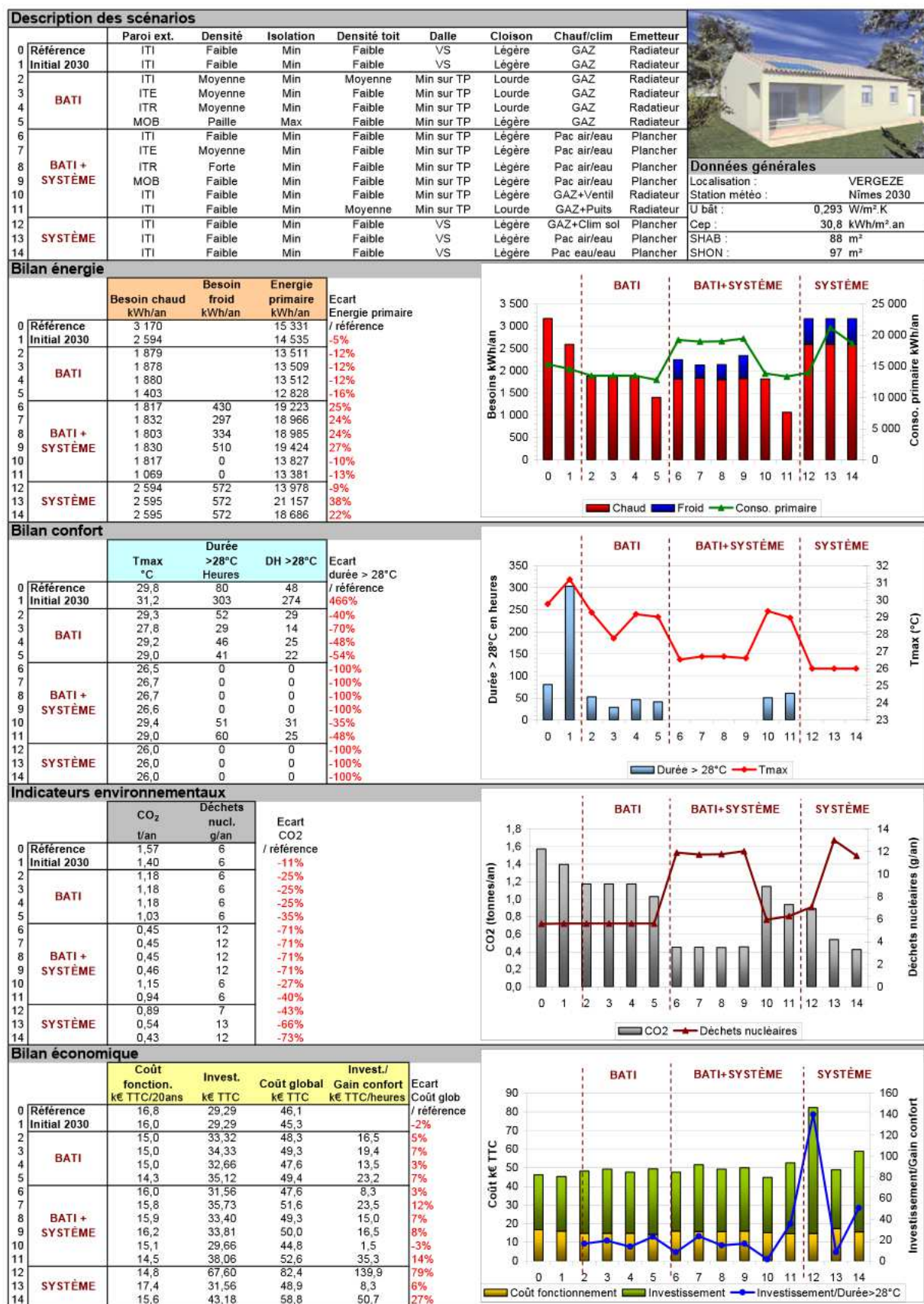


Figure 15 : Fiche de synthèse des résultats de l'optimisation pour le contexte climatique 2030 d'une maison individuelle de type MI Projet 3

Du point de vue du consommateur, porter un regard sur la consommation en énergie finale n'est pas sans intérêt. C'est d'ailleurs cet aspect là qui va, nonobstant le coût unitaire du kWh du gaz ou de l'électricité, expliquer les coûts de fonctionnement de chaque configuration.

Les solutions les plus favorables consistent à combiner un système thermodynamique avec des améliorations, même simples, sur le bâti à l'exemple de la configuration n°6 dont l'amélioration ne porte que sur le terre-plein. Sous réserve que les coefficients de performance énergétique des équipements annoncés et que les températures de consigne (chaud, 19 °C et froid, 26 °C¹³) soient respectés, les systèmes thermodynamiques affichent des consommations moindres de 20 à 25 % par rapport à la configuration initiale de 2030 (variante n°1 sur les fiches de synthèse).

De même, du seul point de vue des émissions globales de CO₂, les solutions thermodynamiques réversibles qui évitent le chauffage avec un combustible fossile comme le gaz naturel ne sont pas forcément à écarter.

Même en tenant compte d'un facteur de fuite du fluide frigorigène qui conduit à l'émission d'un gaz à effet serre puissant, les émissions résultantes restent très nettement inférieures à celles de la solution initiale avec chauffage au gaz. En outre, la montée en puissance de l'électricité verte dans les années à venir devrait améliorer un peu plus cet aspect du bilan. Actuellement, vu l'origine en grande partie nucléaire de l'électricité française, ce gain CO₂ est contrebalancé par une production de déchets radioactifs plus importante¹⁴.

Pour ce paramètre CO₂, une analyse plus exhaustive incluant l'énergie grise, c'est-à-dire une analyse complète du cycle de vie de la construction, apporterait toutefois un éclairage plus nuancé dans lequel, par exemple, le potentiel des matériaux naturels renouvelables tels ceux utilisés dans la solution de mur à ossature bois avec une isolation paille, serait mieux mis en valeur.

Concernant les aspects économiques, excepté pour le cas de la mise en place d'un système de climatisation solaire encore en plein développement et inadapté pour les bâtiments de faible taille mais qui permettrait de valoriser l'excès de chaleur produit par le chauffe-eau solaire en été, les surcoûts d'investissement des différentes variantes considérées sont compris entre 4 et 158 €/m² SHAB, soit entre 0,5 et 19 % du coût de la construction¹⁵. Ces solutions apportent toutes une amélioration notable en terme de confort d'été.

Le bâtiment non modifié mais posé sur terre-plein et équipé d'un ventilateur plafonnier se révèle être l'option la moins onéreuse, y compris lorsque l'on inclut les coûts de fonctionnement sur 20 ans. Les économies faites sur l'énergie hivernale lui permettent alors d'afficher un bilan économique meilleur que celui de la configuration initiale.

Dans le cas où il y a des impératifs de niveau d'inconfort zéro, pour un public sensible par exemple, implanter un système de climatisation classique air/eau sur le même bâtiment modifié (initial sur terre-plein), induit une hausse des coûts de 3 %, soit 26 €/m² SHAB, qui semble raisonnable. Le ratio investissement sur gain en confort estival de cette solution (nombre de degrés heure d'été) devient alors un des plus intéressants parmi les solutions étudiées (8 €/DHE), se positionnant juste derrière la ventilation plafonnier (1,5 €/DHE).

¹³ Avec une température de consigne de 24 °C, la consommation électrique serait multipliée par un facteur 3.

¹⁴ Le contenu en CO₂ de l'électricité, retenu pour les calculs, est une valeur moyenne qui tient compte de la saison.

¹⁵ On rappelle qu'il ne s'agit là que des coûts relatifs à la part strictement thermique de la construction (enveloppe, isolation, équipements de chauffage, etc.).

Avec un projet de taille plus importante, le système de climatisation eau/eau affichant des performances énergétiques bien meilleures pourrait remonter le handicap que constitue son coût d'investissement élevé, près de 100 €/m² SHAB.

Les différents coûts de fonctionnement sur 20 ans sont du même ordre de grandeur. Vu le niveau d'incertitude entachant les simulations numériques, ils ne sauraient être suffisants seuls pour discriminer une configuration particulière. La mise en place d'une fiscalité spécifique impactant soit l'énergie primaire soit le CO₂ serait potentiellement de nature à remettre en cause cette constatation.

Dans le contexte climatique 2050 (cf. Annexe 4), les besoins de chauffage sont réduits de près de 30 % par rapport à la décennie de référence. Si les évolutions ne portent que sur le bâtiment, les marges de progression sur chacune des parois, qui restaient disponibles en 2030, doivent être activées pour maintenir un niveau de confort acceptable, avec un nombre d'heures à plus de 28 °C, inférieur à 100 heures (entre 59 et 77). Ces améliorations sur le bâti sont, de fait, plus conséquentes avec un surcoût à la clé proche de 150 €/m² SHAB (augmentation de l'ordre de 20% du coût de la construction). Il en résultera toutefois une réduction appréciable des besoins d'énergie pour le chauffage, comprise entre 50 et 60 %.

Pour limiter ces surcoûts tout en conservant un bon niveau de confort, on peut à nouveau tenter de combiner des améliorations du bâtiment plus limitées avec un système dynamique de brassage d'air, voire un système thermodynamique en acceptant une surconsommation électrique.

En tendance on retrouve des conclusions similaires à celles tirées sur la période 2030 avec un effet amplificateur dû à des conditions de température plus extrêmes. Il faut noter que la solution initiale présentant plus de 500 heures d'inconfort semble difficilement viable. Il conviendra donc, sur les bâtiments existants, de procéder à des améliorations qui pourront passer par exemple, à l'occasion d'une rénovation de façade par la mise en oeuvre d'une isolation par l'extérieur ou, dans le cas de la réfection de l'isolation de toiture, par la mise en oeuvre d'un isolant dense comme la fibre de bois. La mise en place d'un système thermodynamique n'est pas non plus à exclure systématiquement en privilégiant comme source froide l'eau ou le sol de façon à bénéficier de coefficients de performance non dégradés et en conservant des modalités d'exploitation raisonnées avec une température de consigne modérée.

A l'issue de ce chapitre relatif à la maison individuelle, on retiendra principalement que :

- En 2030, quelques améliorations sur le bâtiment initial suffisent pour assurer la conservation d'un niveau de confort acceptable (moins de 50 heures au dessus de 28°C). La mise en oeuvre d'un système tel qu'un ventilateur plafonnier permet d'augmenter un peu plus le confort ressenti s'il se combine au minimum avec une dalle sur terre-plein.

Ces configurations permettent de réduire largement les besoins en énergie qui retombent à des niveaux inférieurs à celui du bâtiment en configuration initiale.

C'est également le cas, lorsque l'on fait appel à des systèmes thermodynamiques qui ne doivent pas se concevoir sans un minimum d'amélioration du bâtiment (terre-plein, isolation, toiture, ...).

- En 2050, les conditions climatiques nécessiteront de mettre en place des solutions encore plus performantes en particulier au niveau de l'enveloppe du bâtiment, de son inertie, son isolation, Elles contiennent alors l'inconfort dans des limites inférieures à 100 heures. Si l'on a recours à la climatisation, on ne s'affranchira pas d'un minimum d'optimisation du bâti.

Logement collectif

L'analyse de cas a porté sur un bâtiment analogue au bâtiment 5 COL Parpaing précédemment étudié avec toutefois des performances thermiques moins poussées. On est ainsi en présence d'un bâtiment moins atypique avec une enveloppe homogène quelle que soit l'orientation des murs. La configuration initiale du bâtiment est en revanche légèrement dégradée par rapport au projet 5 COL Parpaing réel.

La diminution des besoins de chauffage attendue pour cause de réchauffement climatique en 2030 est identique à celle estimée pour la maison individuelle. Des améliorations du bâti, et donc des montants d'investissement plus conséquents, sont toutefois nécessaires pour revenir, en 2030, au même niveau d'inconfort qu'actuellement, soit une centaine d'heures avec des températures intérieures au dessus de 28 °C.

C'est une caractéristique des bâtiments à étage, ici deux niveaux et 800 m² SHAB, pour lesquels la dalle sur terre-plein ne concerne que le niveau du bas et l'amélioration du niveau supérieur passe par l'optimisation de la toiture. Entre les deux, il ne reste comme levier de progrès qu'une amélioration générale de l'enveloppe ou des cloisons.

Ces surcoûts pénalisent également les solutions combinant des systèmes de rafraîchissement thermodynamique et une amélioration du bâti, qui dans le cas de la maison individuelle, offraient plus de potentiel. Seule la mise en place d'une ventilation par plafonnier sort à nouveau son épingle du jeu, avec le meilleur ratio investissement sur confort.

Sans retouche sur le bâtiment, pour maîtriser le niveau d'inconfort, on fera appel à un système de climatisation simple, air/eau, voire par pompe à chaleur géothermique qui commence à présenter des coûts plus acceptables, d'autant qu'elle offre une efficacité énergétique bien supérieure aux systèmes sur air. Si le besoin de climatisation est impératif c'est ce type de système eau/eau qui devra donc être privilégié.

Ces configurations sont évidemment pénalisantes d'un point de vue des consommations énergétiques même si leurs coûts de fonctionnement restent modérés.

La présence d'étages et la taille du bâtiment rendent tout à fait inadaptée une solution de type puits climatique.

En 2050, avec le durcissement des contraintes climatiques, il n'a pas été possible, contrairement à 2030, de mettre en évidence une configuration d'amélioration du seul bâti qui permette de revenir à un niveau d'inconfort de 100 heures.

En faisant jouer tous les leviers possibles, sans système de rafraîchissement, le niveau d'inconfort est de l'ordre de 200 heures et la température maximale intérieure avoisine les 30 °C.

La ventilation par plafonnier réduit d'un facteur 2 ces durées d'inconfort, tout en limitant les modifications portées au bâti. De ce fait, elle présente des surcoûts d'investissement plus limités et constitue à nouveau une solution de compromis intéressante.

La mise en place d'un système de refroidissement thermodynamique permet toujours de limiter les investissements sur la structure même du bâtiment. Le contexte climatique plus contraignant conduira à utiliser davantage ces équipements et, en conséquence, ceux offrant la meilleure efficacité énergétique (PAC géothermique) limiteront d'autant la dérive des coûts de fonctionnement et des consommations énergétiques.

Comportement thermique de 10 bâtiments BBC dans les conditions climatiques 2030 et 2050 en Languedoc-Roussillon

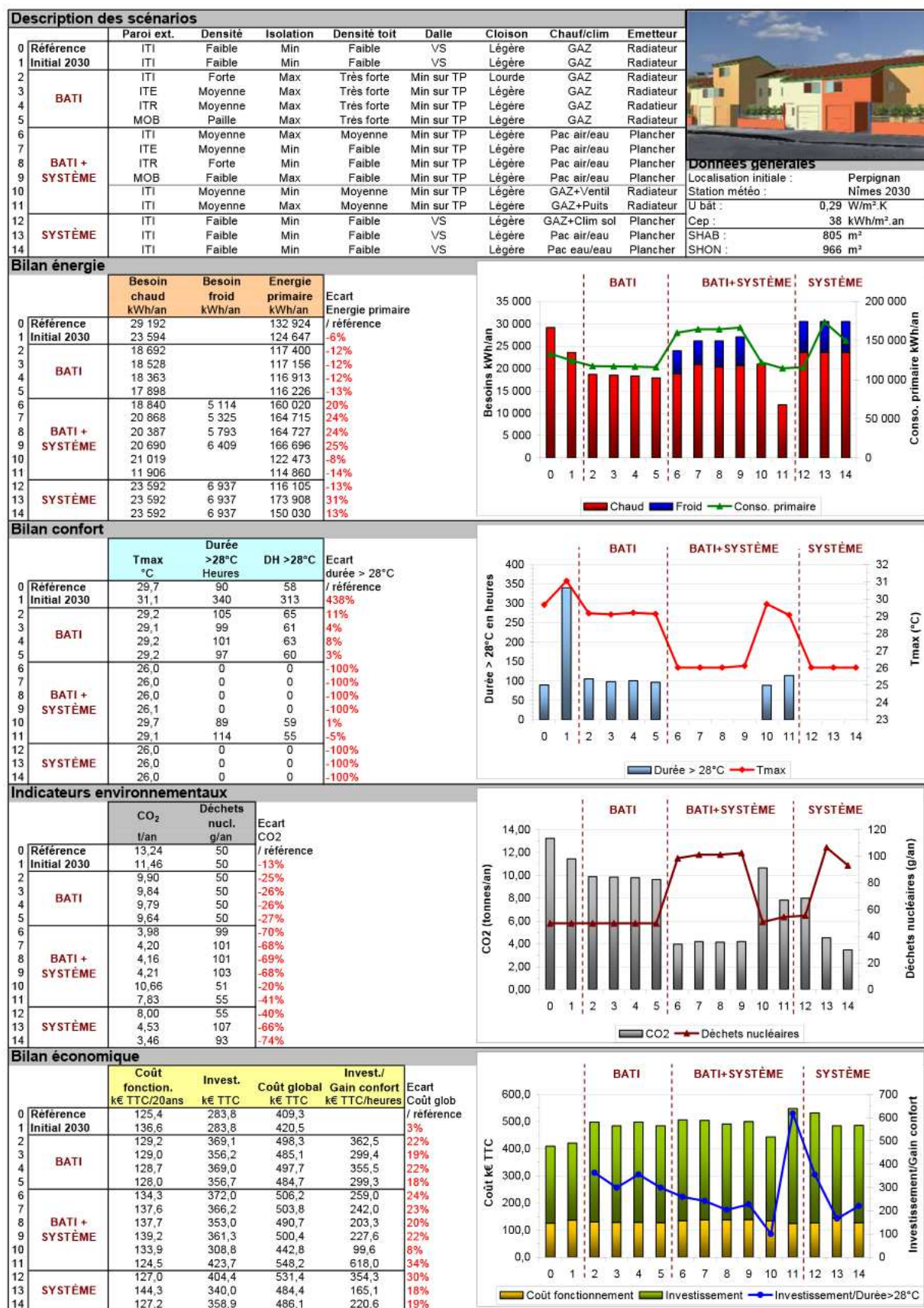


Figure 16 : Fiche de synthèse des résultats de l'optimisation pour le contexte climatique 2030 d'un logement collectif de type COL Projet 5

Bâtiment de bureaux

Comme pour le cas du bâtiment collectif, ce bâtiment reprend les mêmes caractéristiques d'implantation, de choix architecturaux, etc., en adoptant néanmoins des modalités constructives plus classiques que le projet réel.

Dans ces conditions, une augmentation de l'isolation et le passage du vide sanitaire à la dalle sur terre-plein suffisent à permettre de retrouver, en 2030, un niveau d'inconfort inférieur à 50 heures avec un surcoût de l'ordre de 30 €/m²SHAB. Les différents scénarios d'amélioration du bâti conduisent tous à une importante réduction des besoins énergétiques hivernaux, proche de 60 %.

A l'exception de la combinaison avec le puits climatique, toutes les autres solutions alliant la mise en place d'un système de rafraîchissement et des optimisations du bâti sont moins coûteuses que lorsque l'on joue uniquement sur le bâti pour retrouver le niveau de confort de la période de référence.

D'un strict aspect économique, l'adoption d'une climatisation air avec ventilo-convecteurs est la configuration qui offre le meilleur ratio coût sur gain de confort. L'associer avec quelques améliorations sur le bâti, de type isolation répartie de forte densité qui se rapproche du projet réel, induit un surcoût d'investissement (17 €/m²SHAB) qui sera compensé avec des économies de fonctionnement sur 20 ans. A nouveau, on retrouve un effet d'échelle dû à la superficie des locaux qui peut rendre plus économiquement acceptable une solution performante de type eau/eau.

Comme dans les autres cas de figure, le passage d'un combustible fossile à l'électricité se traduit inmanquablement par une augmentation de la consommation d'énergie primaire, qui peut devenir importante sauf dans le cas de la climatisation solaire.

En 2050, on retrouve des tendances analogues même si le niveau de confort attendu en modifiant uniquement le bâtiment ne pourra pas, dans les configurations étudiées, permettre de retrouver un niveau d'inconfort inférieur à 50 heures. Pour ce niveau de performance il est indispensable d'avoir recours à un système de rafraîchissement que l'on devra combiner avec des améliorations du bâti.

Si on tolère un inconfort sur une durée proche de 50 heures, un simple ventilateur plafonnier suffit, sans modifications du bâti autres que celle arrêtées pour le contexte 2030.

Comportement thermique de 10 bâtiments BBC dans les conditions climatiques 2030 et 2050 en Languedoc-Roussillon

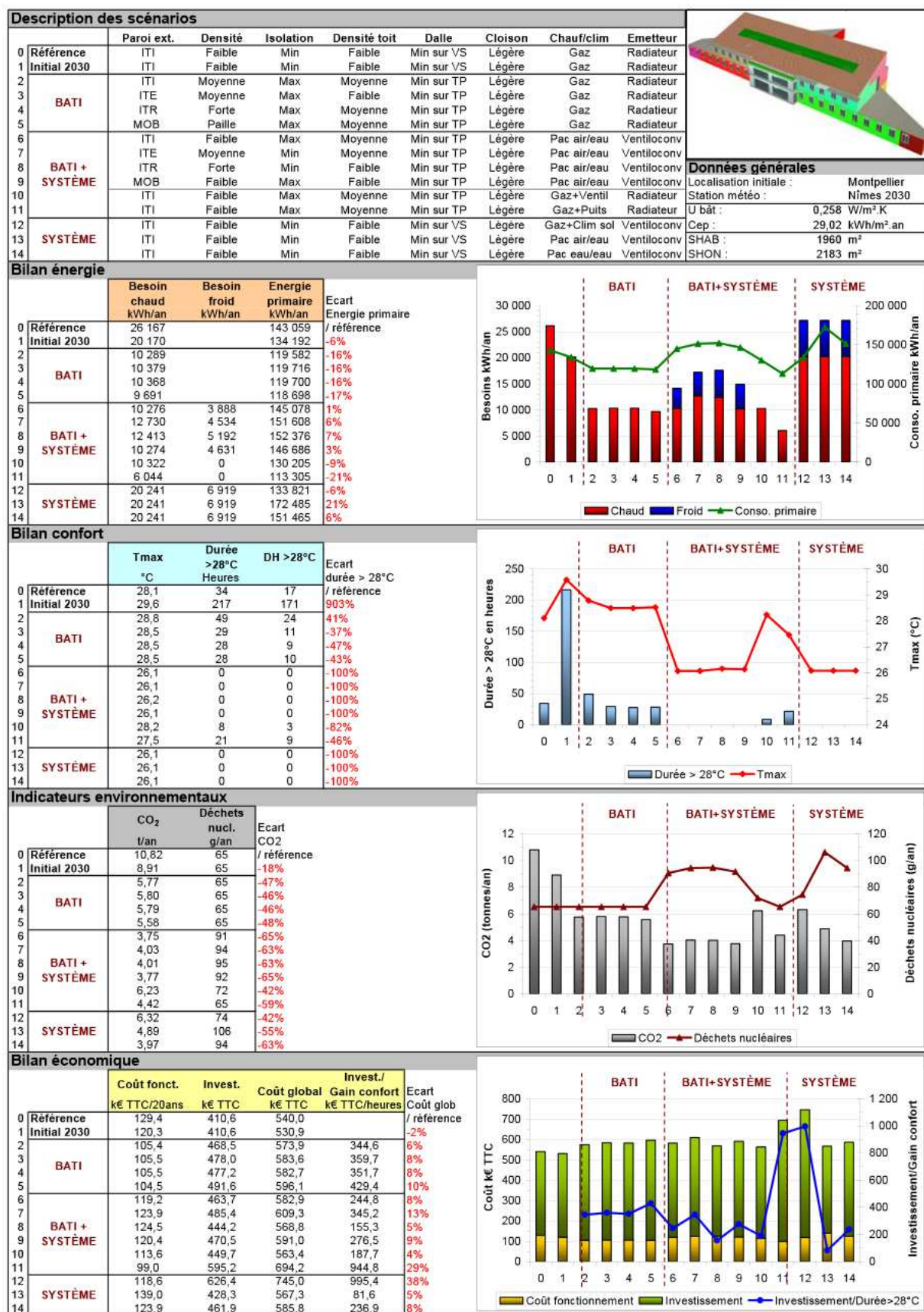


Figure 17 : Fiche de synthèse des résultats de l'optimisation pour le contexte climatique 2030 d'un bâtiment de bureaux de type TER Projet 8

Glossaire et définitions

BBC : bâtiment basse consommation d'énergie. Niveau de performance des bâtiments dont la consommation globale (chauffage, eau chaude, éclairage, auxiliaire, ventilation) doit être inférieure de 40 à 65 kWep/m² de SHON suivant la localisation pour l'habitat individuel et à -50% par rapport à la référence RT 2005 pour le tertiaire.

DJU ou Degré jour unifié : pour une journée de 24 h le degré jour correspond à la différence entre la température de référence (habituellement 18°C) et la moyenne de la température extérieure ((Tmin + Tmax)/2). Le cumul des degrés jour ainsi calculés sur la saison de chauffe (232 jours compris entre le 1^{er} octobre et le 20 mai) donne les degrés jour unifiés.

DHété ou degré heures été : cumul horaire de la différence entre la température ambiante et la température de référence été (prise ici égale à 28°C).

Energie finale : énergie disponible en fin de chaîne de transformation de l'énergie. C'est l'énergie dont dispose l'utilisateur.

Energie primaire : énergie totale avant transformation.

GIECC : groupe intergouvernemental d'experts sur le changement climatique.

Indice d'inconfort (%) : rapport entre le degré heures été (28°C) à l'intérieur du bâtiment et le degré heures été (28°C) à l'extérieur du bâtiment.

ITE : isolation thermique extérieure.

ITI : isolation thermique intérieure.

ITR : isolation thermique répartie.

METEOCALC : logiciel de reconstitution des données météorologiques horaires d'une année à partir des valeurs moyennes mensuelles.

MOB : mur à ossature bois.

Puits canadien, provençal ou climatique : système consistant à faire transiter l'air dans des tubes enterrés à 2 m de profondeur avant de l'insuffler dans le bâtiment. En hiver l'air de renouvellement est ainsi préchauffé et, en été, il est refroidi. Dans les régions du Sud ce système est plus particulièrement employé pour cette deuxième fonction. On lui préfère alors l'appellation de puits climatique.

SHAB : surface habitable.

SHOB : surface hors oeuvre brute. C'est la surface de tous les planchers mesurés à l'extérieur des murs.

SHON : surface hors oeuvre nette. C'est la surface hors oeuvre brute à laquelle on soustrait les surfaces correspondantes aux combles non aménageables, aux balcons, loggias, aux bâtiments réservés au stationnement des véhicules et, de plus, une déduction forfaitaire relative à l'isolation des locaux à usage d'habitation.

Température moyenne du bâtiment : moyenne des températures de chaque pièce (t_i) pondérées par la surface correspondante (S_i). $T_{\text{moy}} = \sum_i (t_i \times S_i) / \sum_i (S_i)$.

Toiture légère : plafond sous comble constitué de panneaux de placo-plâtre et surmontés d'un isolant.

Toiture lourde : plafond constitué d'une dalle béton surmonté d'un isolant. Ce type de plafond s'apparente à une toiture terrasse.

TP : terre-plein.

Ubât : coefficient moyen surfacique en $W/(m^2.K)$: coefficient moyen de déperdition par transmission à travers les parois séparant le volume chauffé de l'extérieur, du sol et des locaux non chauffés.

VS : vide sanitaire.

Annexe 1 : Composition de l'année météorologique moyenne représentative de la période actuelle

Pour chaque station et chaque mois, l'année retenue est celle pour laquelle l'écart absolu, exprimé en degré Celsius, entre la température moyenne mensuelle et la moyenne décennale (1999 – 2008) des températures moyennes mensuelles est minimal.

Le tableau ci-dessous présente un récapitulatif général de la composition de l'année de référence, représentative de la période actuelle, pour chacune des stations considérées. Les écarts absolus sur la température moyenne mensuelle sont faibles, tous inférieurs à 0,5 °C.

Mois	Carcassonne		Nîmes		Montpellier		Mende		Perpignan		Vernet les Bains	
	année	écart absolu	année	écart absolu	année	écart absolu	année	écart absolu	année	écart absolu	année	écart absolu
01	2004	0,02	2002	0,13	2004	0,16	1999	0,18	2002	0,04	1999	0,01
02	2001	0,25	2004	0,63	1999	0,33	2004	0,53	1999	0,01	2004	0,49
03	2000	0,04	2007	0,29	2003	0,04	1999	0,03	2003	0,03	1999	0,05
04	2002	0,07	1999	0,11	1999	0,06	2003	0,26	2008	0,12	2002	0,15
05	2005	0,04	2005	0,15	2005	0,11	2007	0,18	1999	0,00	2000	0,27
06	2002	0,46	2004	0,18	2006	0,05	2004	0,02	2001	0,10	2001	0,04
07	1999	0,12	2005	0,04	1999	0,03	2004	0,16	1999	0,01	2005	0,02
09	2000	0,00	2008	0,27	1999	0,14	1999	0,17	2000	0,10	1999	0,05
09	2005	0,03	2007	0,11	2007	0,02	2003	0,06	2003	0,05	2005	0,01
10	1999	0,17	1999	0,32	1999	0,05	1999	0,24	2007	0,27	1999	0,18
11	2005	0,37	2000	0,17	2000	0,17	2005	0,38	2007	0,01	2000	0,09
12	2007	0,21	2007	0,13	2007	0,16	2007	0,29	1999	0,24	2007	0,01

Tableau 7 : Composition de l'année de référence représentative de la période actuelle pour chaque station

Annexe 2 : Différentes variantes étudiées

Pour chaque projet et pour les climats 2030 et 2050 les variantes suivantes ont été étudiées :

Référence -> Conditions météorologiques 1999-2008

0 ITI faible densité avec isolant léger en toiture, cloison légère et isolation minimale

Initial – Conditions météorologiques 2030 ou 2050

1 - ITI faible densité avec isolant léger en toiture, cloison légère et isolation minimale

BATI – Conditions météorologiques 2030 ou 2050

2 ITI – Chauffage gaz par radiateurs

3 ITE – Chauffage gaz par radiateurs

4 ITR – Chauffage gaz par radiateurs

5 MOB – Chauffage gaz par radiateurs

BATI + SYSTEME – Conditions météorologiques 2030 ou 2050

6 ITI – Chauffage rafraîchissement par PAC réversible air/eau

7 ITE – Chauffage rafraîchissement par PAC réversible air/eau

8 ITR – Chauffage rafraîchissement par PAC réversible air/eau

9 MOB – Chauffage rafraîchissement par PAC réversible air/eau

10 ITI – Chauffage gaz par radiateurs + brassage d'air par ventilateurs plafonniers

11 ITI – Chauffage gaz par radiateurs + rafraîchissement par puits climatique

SYSTEME – Conditions météorologiques 2030 ou 2050

12 ITI – Chauffage gaz par radiateurs + climatisation solaire par groupe à absorption

13 ITI – Chauffage et rafraîchissement par PAC réversible air/eau

14 ITI – Chauffage et rafraîchissement par PAC réversible eau/eau

Pour chaque variante, les paramètres suivants ont été calculés :

Bilan énergie

- Besoins froid

- Besoins chaud

- Consommation d'énergie primaire tous usages

Bilan confort

- Température moyenne maximale

- Durée moyenne où la température intérieure est supérieure à 28°C

- Degré heures 28° : somme des écarts de température entre la température intérieure et 28°C

Indicateurs environnementaux

- CO₂ émis

- Déchets radioactif produits

Bilan économique

- Coût de fonctionnement

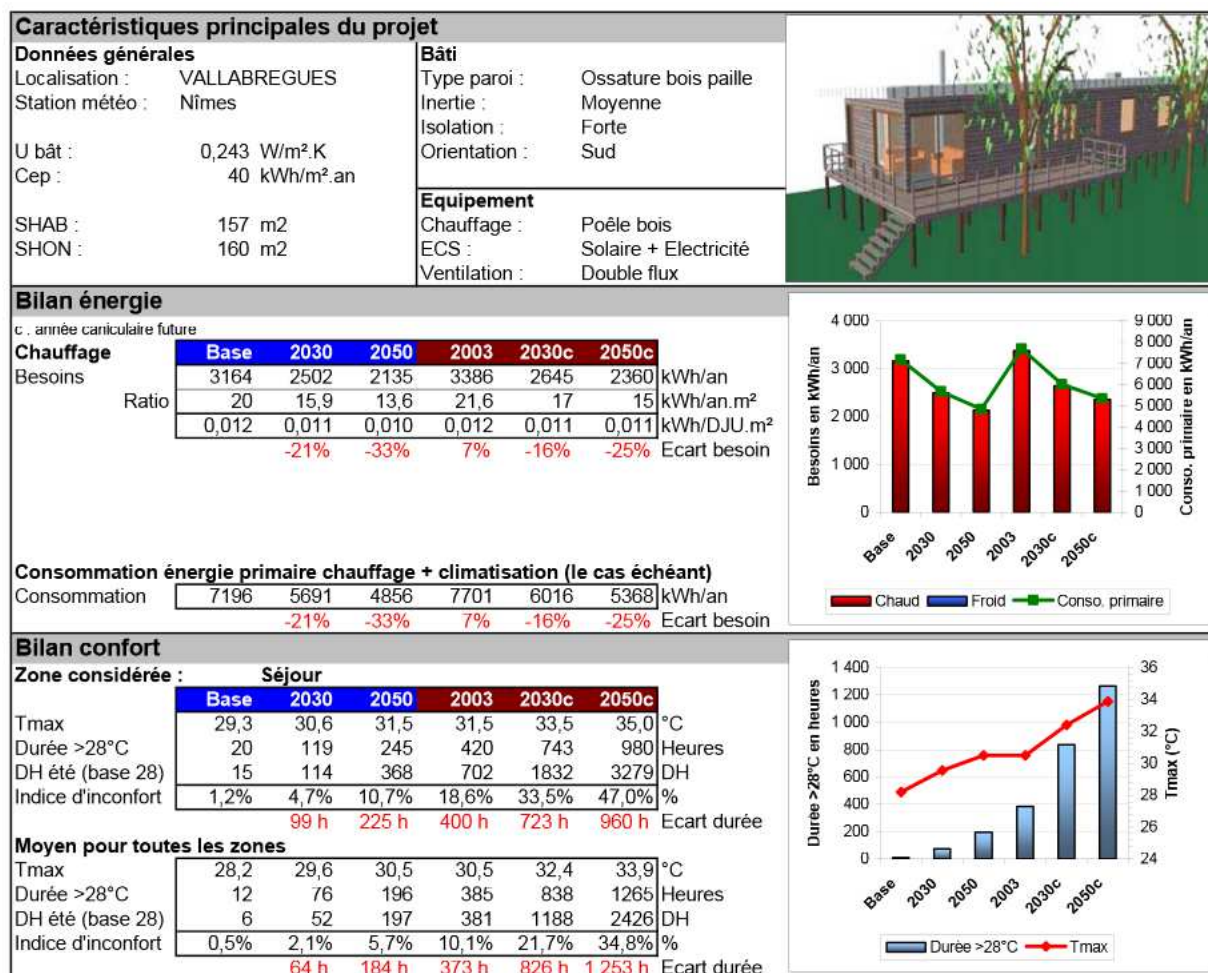
- Coût d'investissement

- Coût global

- Investissement/Degré-heures 28° évités : rapport du coût d'investissement sur le cumul de degré heures 28°

Annexe 3 : Fiches individuelles de résultats des simulations thermiques dynamiques

Projet 1 : MI Bois paille



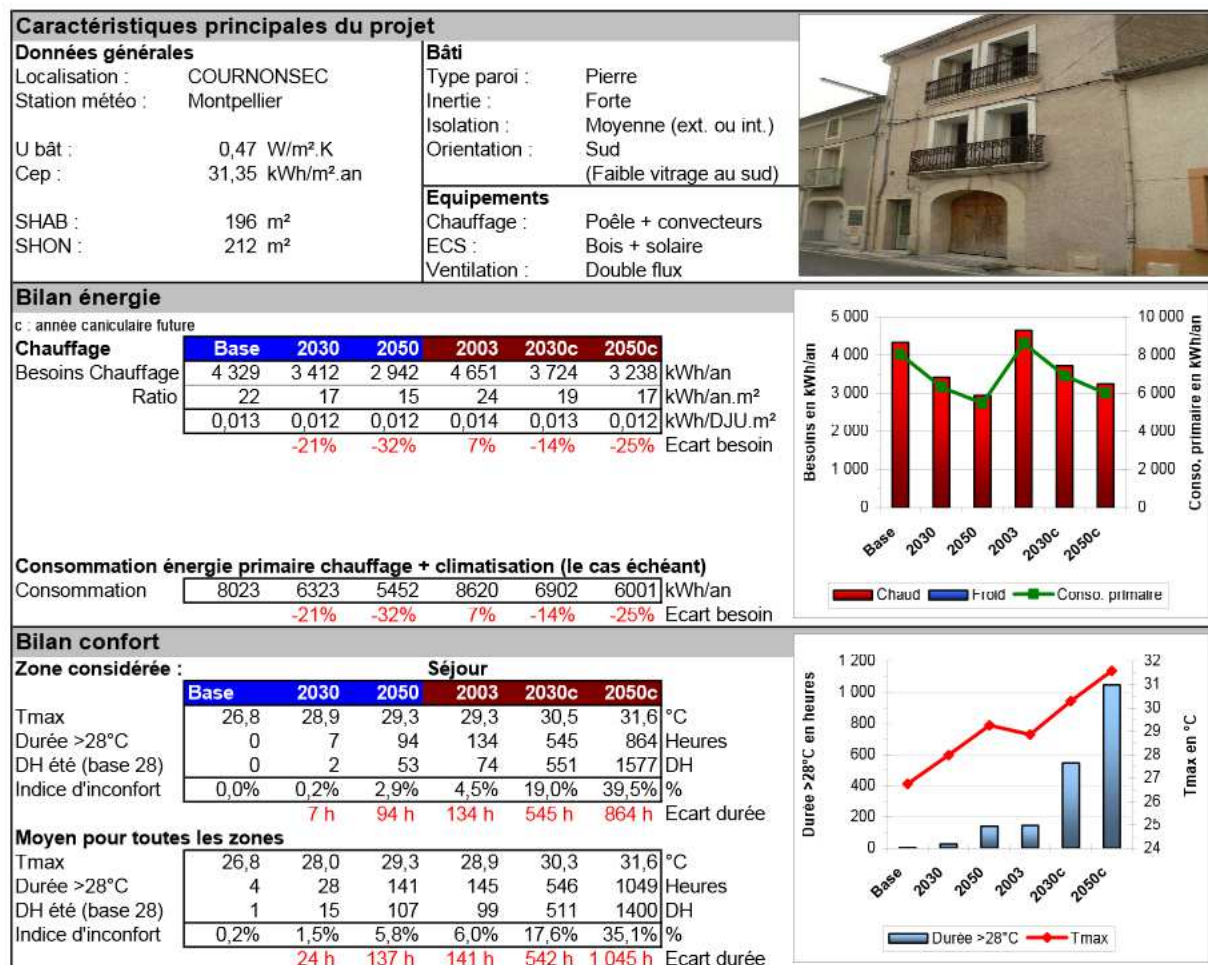
Commentaire :

Cette habitation présente de très bonnes caractéristiques thermiques : bonne orientation, compacité, forte isolation due à la paille (36 cm d'épaisseur). Son principal défaut est son manque d'inertie. En outre, la contrainte d'une zone inondable a obligé le maître d'ouvrage à concevoir sa maison sur pilotis. Elle ne bénéficie donc pas de l'inertie qu'aurait apportée une dalle sur terre-plein.

L'inconfort d'été reste modéré jusqu'en 2030, mais en 2003 elle aurait été notablement mise en défaut.

Au fur et à mesure où les hivers s'adoucissent, les besoins en énergie baissent de façon importante (33 % de réduction en 2050). L'hiver de 2003 se singularise et, comme déjà commenté dans le chapitre consacré à cette année particulière, il vient interférer dans les résultats des hivers des années caniculaires 2030 et 2050.

Projet 2 : Pierre rénovation



Commentaire :

Cette maison de village, rénovée, est orientée dans le sens Nord - Sud. Elle a une faible superficie de vitrage au Sud et ne dispose donc que d'un potentiel limité de récupération d'énergie solaire. En revanche, elle est compacte et bénéficie d'une forte inertie due aux murs en pierre isolés par l'extérieur sur la façade Sud et à la présence de murs mitoyens sur une bonne partie des façades Est et Ouest.


Alors qu'elle présente un niveau d'isolation moins performant que le projet précédent, cette habitation nécessite des besoins en chauffage guère plus élevés. Ses défauts sont en effet compensés par des surfaces déperditives moins importantes (dalle sur terre-plein et parois mitoyennes).

Comme pour le projet 1 MI Bois paille, la moindre rigueur des hivers futurs réduit notablement les besoins en chauffage (21% en 2030 et de 32% en 2050).

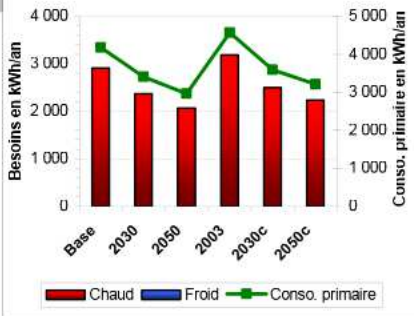
La forte inertie de ses murs en pierre et la protection solaire naturelle due aux bâtiments environnants lui permettent de bien supporter la saison estivale. En 2050, comme en 2003, l'inconfort reste encore modéré.

Projet 3 (Nîmes) : MI Brique

Caractéristiques principales du projet						
Données générales			Bâti			
Localisation :	VERGEZE		Type paroi :	Brique de 20 cm		
Station météo :	Nîmes		Inertie :	Faible		
U bât :	0,293 W/m ² .K		Isolation :	Moyenne (intérieure)		
Cep :	30,8 kWh/m ² .an		Orientation :	Sud		
SHAB : 88 m ²			Equipement			
SHON : 97 m ²			Chauffage :	Gaz condensation		
			ECS :	Solaire + Gaz naturel		
			Ventilation :	Hygro B		

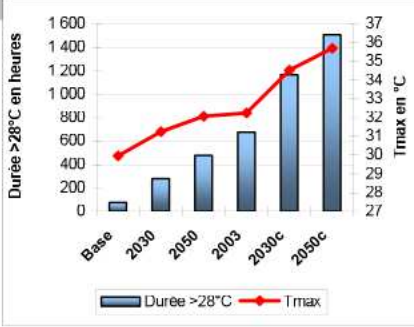


Bilan énergie						
c : année caniculaire future						
Chauffage	Base	2030	2050	2003	2030c	2050c
Besoins Chauffage	2 913	2 376	2 069	3 185	2 504	2 240
Ratio	33	27	24	36	28	25
	0,019	0,018	0,017	0,020	0,019	0,018
		-18%	-29%	9%	-14%	-23%
c : année caniculaire						



Consommation énergie primaire chauffage + climatisation (le cas échéant)						
Consommation	4176	3406	2966	4565	3589	3211
		-18%	-29%	9%	-14%	-23%
Ecart besoin						

Bilan confort						
Zone considérée :						
			Séjour			
	Base	2030	2050	2003	2030c	2050c
Tmax	30,5	31,9	32,6	32,8	35,2	36,4
Durée >28°C	101	327	471	609	918	1101
DH été (base 28)	84	392	824	1209	2785	4368
Indice d'inconfort	6,8%	16,1%	24,0%	31,9%	50,9%	62,6%
		226 h	370 h	508 h	817 h	1 000 h
Ecart durée						
Moyen pour toutes les zones						
	Base	2030	2050	2003	2030c	2050c
Tmax	30,0	31,3	32,1	32,3	34,5	35,7
Durée >28°C	76	280	479	675	1165	1510
DH été (base 28)	51	262	623	929	2347	3844
Indice d'inconfort	4,1%	10,7%	18,2%	24,5%	42,9%	55,1%
		204 h	403 h	599 h	1 089 h	1 434 h
Ecart durée						



Commentaire :

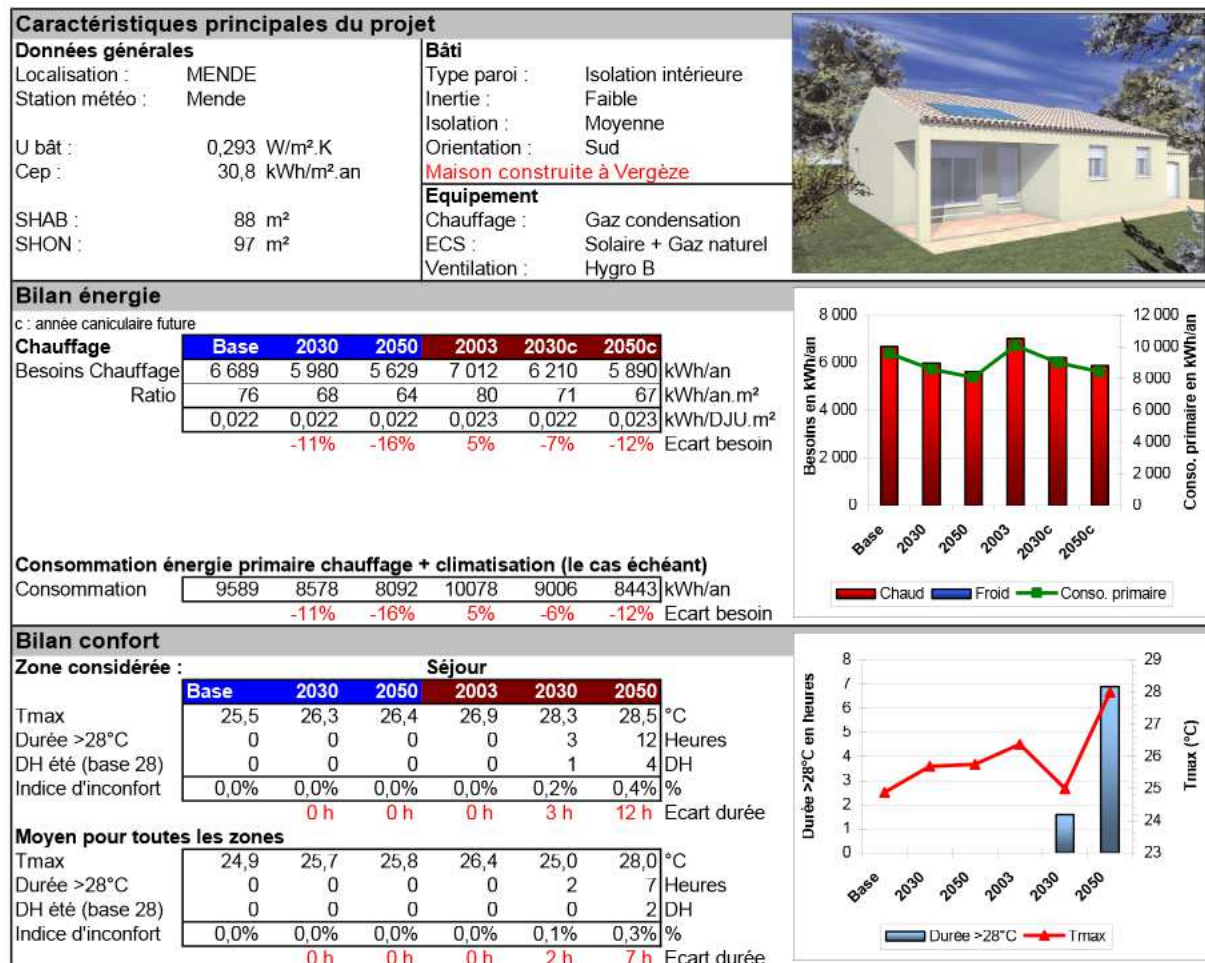
Cette maison de lotissement, orientée Sud, présente une forme compacte. L'importante baie vitrée, au Sud, est bien protégée en été par un auvent dont la profondeur est cependant trop importante pour permettre de profiter pleinement des apports solaires d'hiver.

Le niveau de performance est assez modeste pour une maison neuve BBC. Les besoins en chauffage sont estimés en effet, en contexte climatique moyen actuel, à 33 kWh/m²/an, conséquence d'une isolation moyenne et d'une récupération solaire non optimisée. Aussi, elle bénéficiera un peu moins de l'adoucissement attendu des hivers 2030 et 2050.

Parmi les maisons individuelles étudiées, c'est elle qui est le moins en mesure d'affronter un durcissement des conditions estivales. Dès 2030, l'inconfort devient significatif. Il aurait même dépassé 600 heures en 2003.

La faible inertie du bâtiment et une isolation intérieure de qualité moyenne sont pour l'essentiel à l'origine de ces performances mitigées.

Projet 3 (Mende) : MI Brique



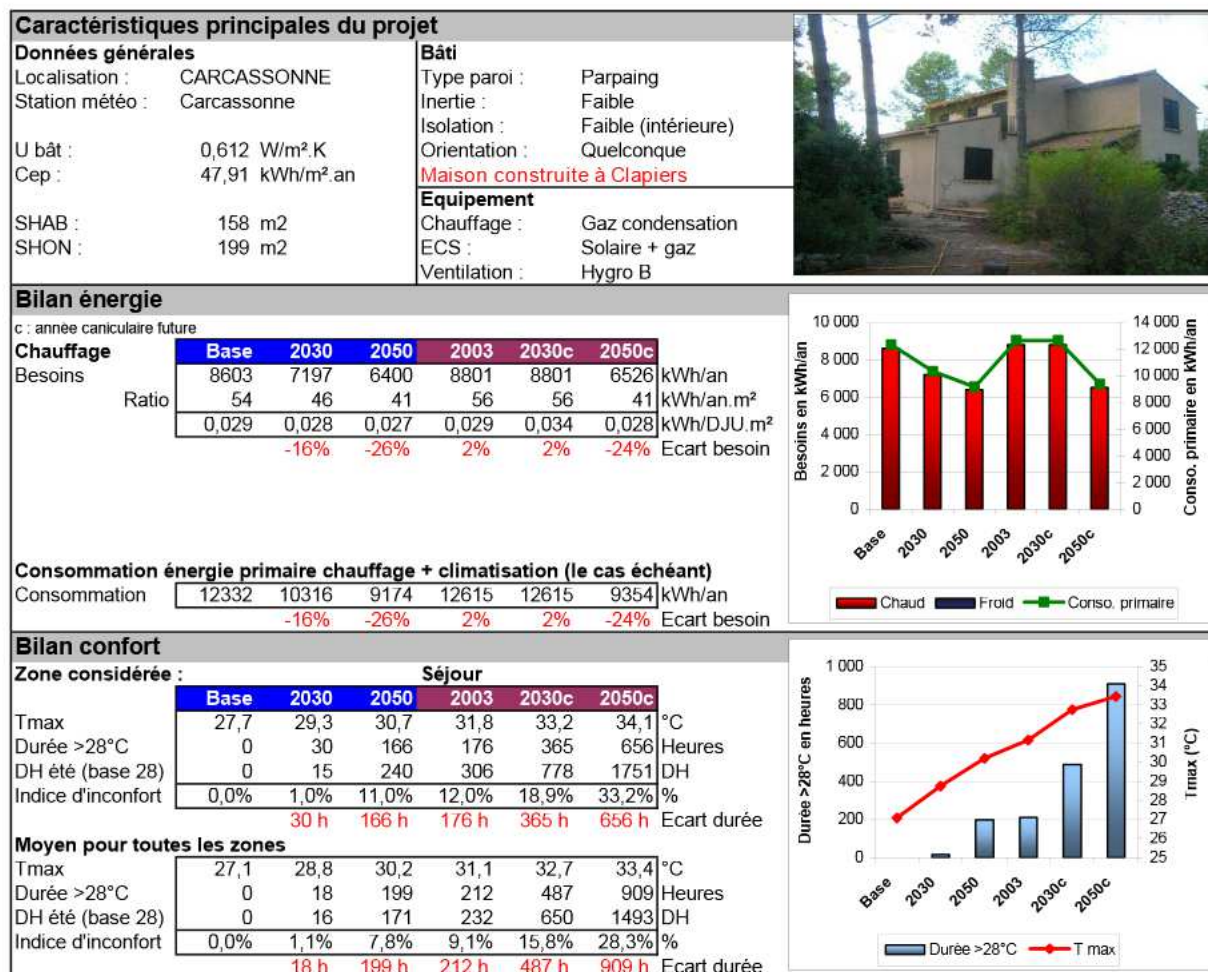
Commentaire :

En l'absence de projets BBC en Lozère, cette maison, initialement conçue pour le climat de Nîmes, a été artificiellement déplacée sur Mende. Le bâtiment est identique au projet précédent, seules les données d'entrée météorologiques ont été modifiées.

Les choix faits en terme d'isolation ne sont manifestement pas adaptés aux rigueurs du Massif Central. On obtient un niveau de consommation de 76 kWh/m²/an, incohérent avec le label BBC.

Pour cette maison, sur cette implantation géographique, la problématique du confort d'été qui était majeure à Nîmes devient tout à fait anecdotique même dans la pire des situations estivales envisagées.

Projet 4 : MI Parpaing rénovation

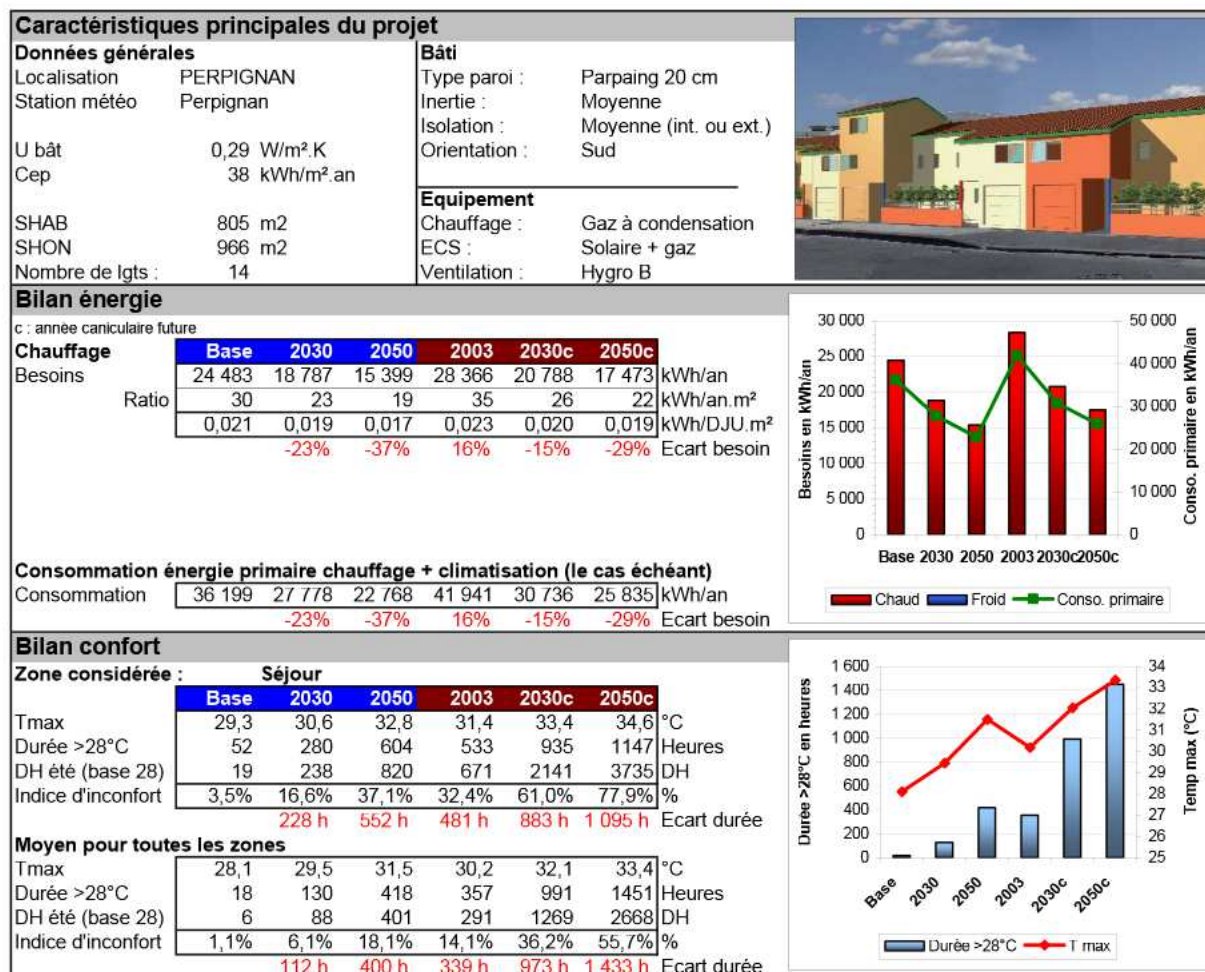


Commentaire :

Rénovation d'une maison de lotissement des années 60 avec une isolation intérieure relativement modeste (la plus faible des 10 projets), il était difficile de concevoir un projet optimal en particulier pour les besoins en chauffage. Ils s'avèrent en conséquence assez élevés, évalués à 54 kWh/m²/an.

Sur le plan du confort d'été, les résultats sont plus encourageants. 2030 se passe sans difficulté et, en 2050 comme en 2003, l'inconfort reste contenu aux alentours des 200 heures.

Projet 5 : COL Parpaing



Commentaire :

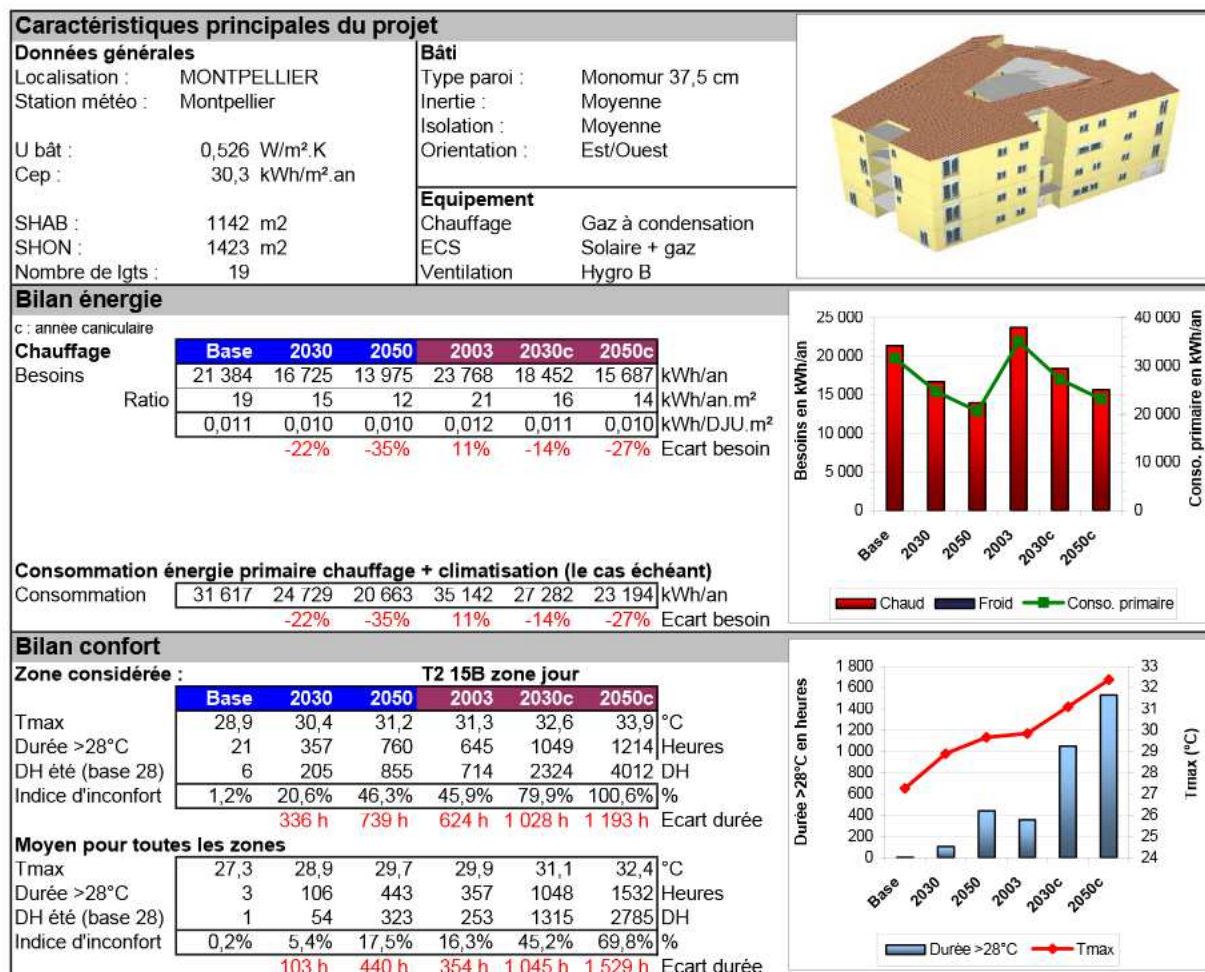
Ce projet bénéficie d'une bonne conception avec une façade Sud largement vitrée et l'absence de vitrage à l'Ouest et à l'Est.

Extérieure sur les murs Nord, l'isolation passe à l'intérieur pour les autres parois.

Les besoins de chauffage sont relativement élevés, estimés à 30 kWh/m²/an. Le bâtiment présente l'inconvénient d'être sur un vide sanitaire qui a pour effet d'augmenter les déperditions.

Faible pour la décennie de référence, l'inconfort reste modéré en 2030 mais s'approche des 400 heures pour 2050 et pour 2003.

Projet 6 : COL Monomur



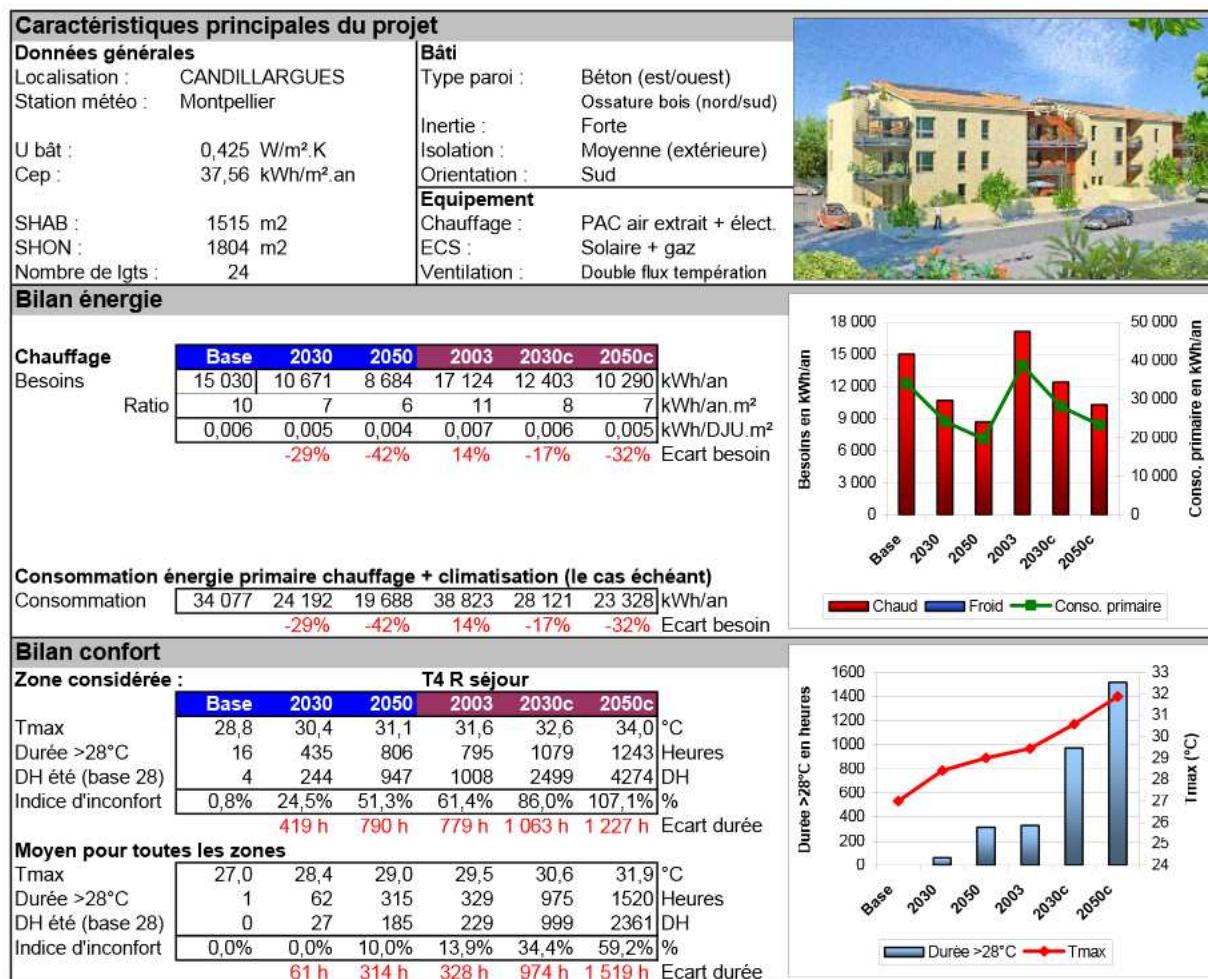
Commentaire :

Ce bâtiment bénéficie d'une orientation moins favorable que 5 COL Parpaing mais présente, par contre, une plus forte compacité et un niveau d'isolation des parois plus important. De plus, par rapport à des maisons en bande comme 5 COL Parpaing, un immeuble collectif a l'avantage de présenter moins de surfaces extérieures ramenées au m² habitable.

Tout cela conduit à des besoins de chauffage réduits, 19 kWh/m²/an, même si le bâtiment ne profite pas autant des apports solaires hivernaux.

En terme de confort d'été, on retrouve un comportement similaire à 5 COL Parpaing avec une situation relativement maîtrisée jusqu'à 2030 mais pour 2003 ou 2050, on peut craindre près de 400 heures d'inconfort.

Projet 7 : COL Béton

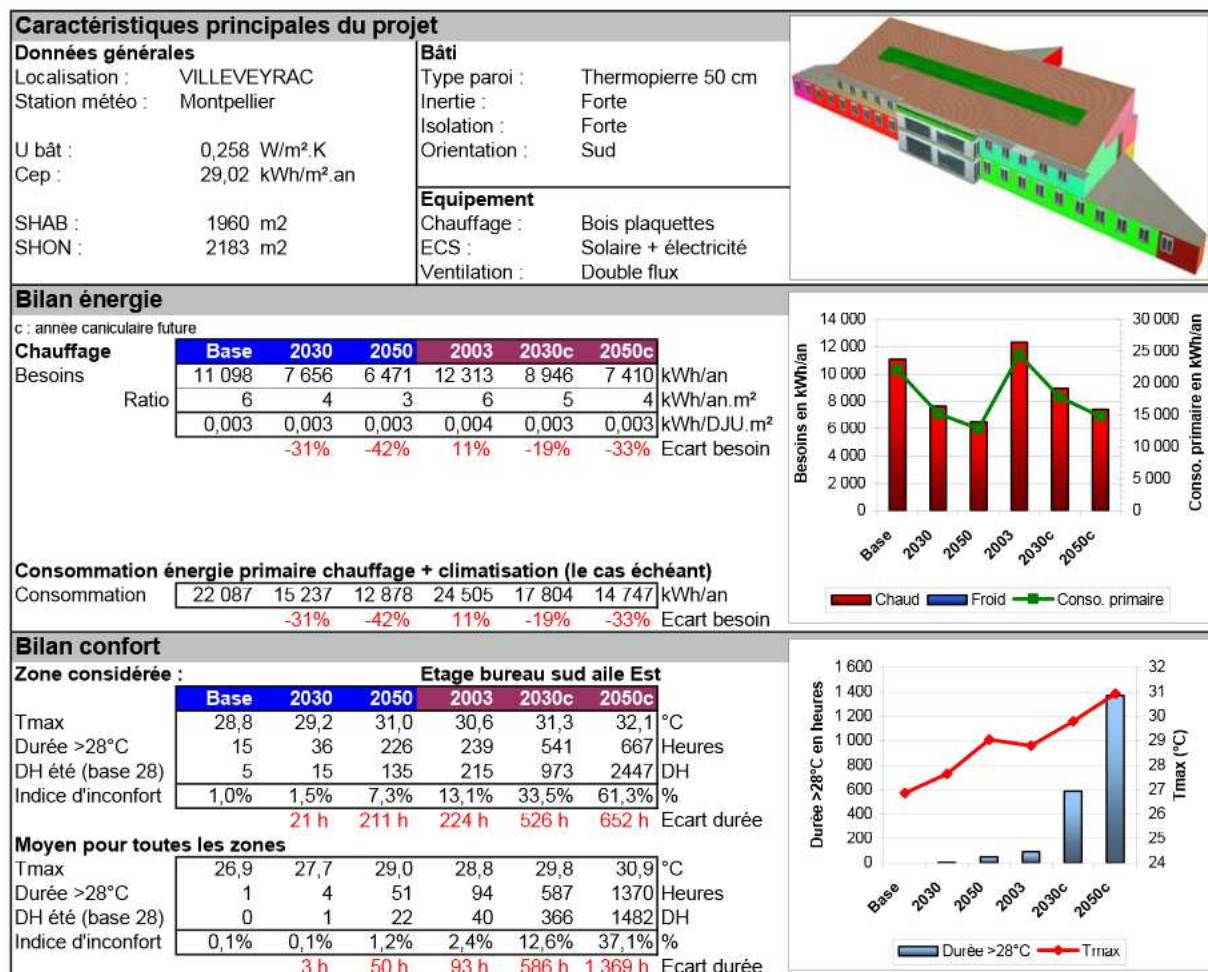


Commentaire :

Une orientation favorable, un bon degré de compacité, une dalle sur terre-plein et une isolation correcte expliquent que ce projet affiche des performances en besoins de chauffage meilleures que pour les autres bâtiments collectifs à usage d'habitation : 10 kWh/m²/an en contexte climatique actuel.

Le niveau d'inconfort se dégrade de faible à satisfaisant, entre la période de référence et 2030. Il devient ensuite plus conséquent en dépassant les 300 heures en 2003 et en 2050. Cet inconfort est toutefois moins marqué que pour les deux projets précédents.

Projet 8 : TER Bureaux



Commentaire :

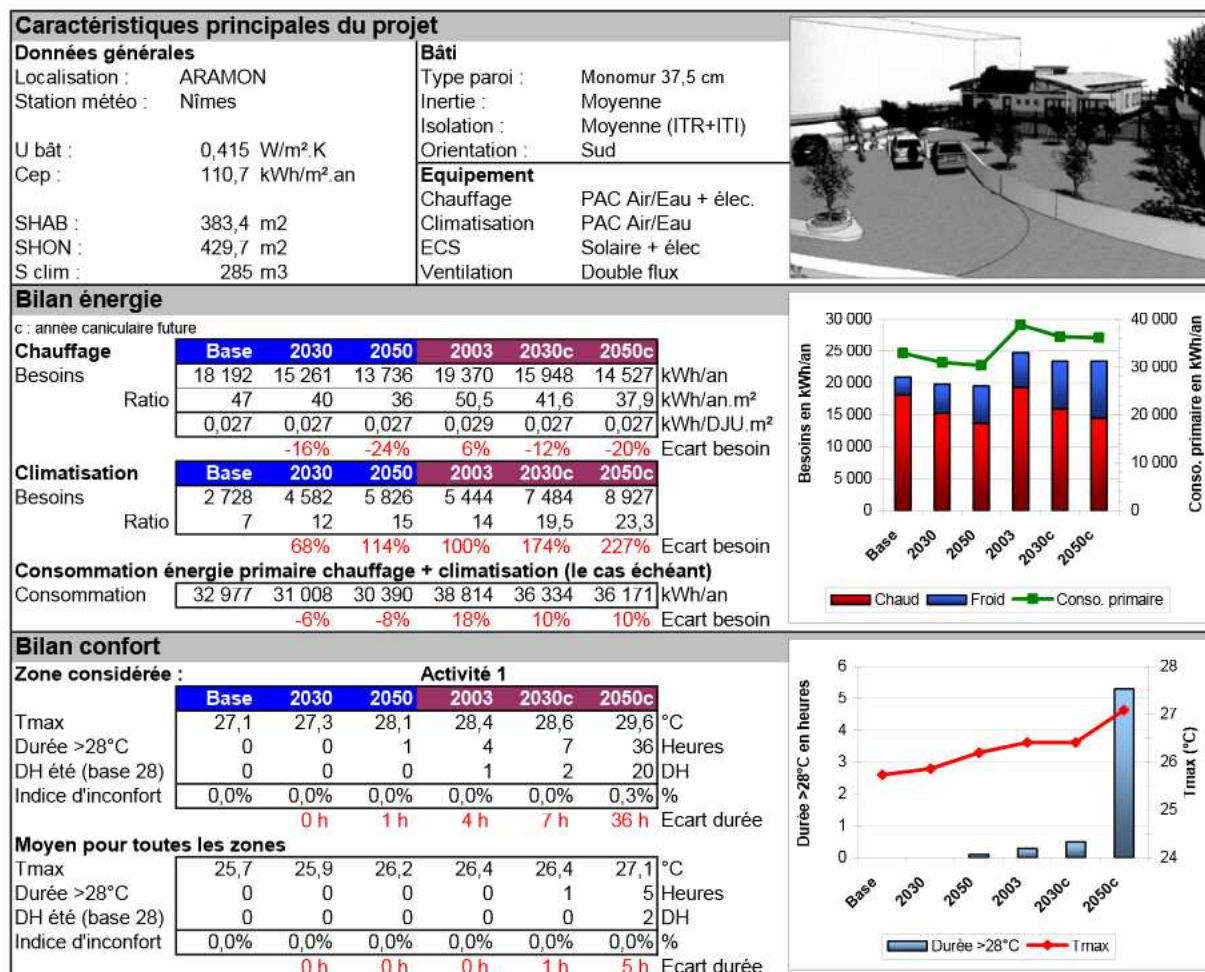
Doté d'une bonne orientation, d'une forte compacité, d'une dalle sur terre-plein et d'une isolation élevée, ce bâtiment arrive à limiter ses besoins en chauffage, environ 10 kWh/m². De plus, avec une absence de vitrages orientés Est – Ouest, des protections solaires, une ventilation nocturne et une forte inertie, il affiche de bonnes performances en terme d'inconfort d'été, quasiment inexistant en période de référence et en 2030 et autour de 100 heures en 2003 ou 2050.

Ces bureaux disposent d'un éclairage basse consommation optimisé en fonction de l'occupation et d'une ventilation de type double flux avec récupérateur d'énergie à haute efficacité (rendement moyen de 70%).

Ils exploitent au mieux l'éclairage naturel avec cependant des fenêtres occultées, l'été, en journée par des stores extérieurs inclinables.

Durant les vacances de juillet à août, on a supposé que leur occupation était divisée par deux.

Projet 9 : TER Crèche



Commentaire :

La forme allongée du bâtiment dans le sens Nord - Sud n'est pas favorable à une optimisation des apports solaires malgré une façade Sud largement vitrée. Le bâtiment bénéficie par contre d'une bonne compacité et d'une isolation correcte.

Les besoins de chauffage sont relativement conséquents, estimés à 47 kWh/m²/an en période de référence. Ils s'expliquent certes par les caractéristiques du bâtiment mais également par le choix de la température de confort retenue de 20°C, au lieu de 19°C, en raison du public concerné, qui majore les besoins hivernaux.


La réduction des besoins en chauffage attendue en 2050 est bien moindre que dans le projet précédent : 24% contre 40%. En outre, ce gain est en partie annulé par les besoins de climatisation qui doublent entre aujourd'hui et 2050. L'économie en énergie primaire est donc moindre que celle obtenue pour les projets sans climatisation.

Le bâtiment est en partie climatisé par un plancher rafraîchissant avec une puissance limitée à 35W/m² qui semble suffisante pour conserver du confort dans toutes les conditions climatiques explorées.

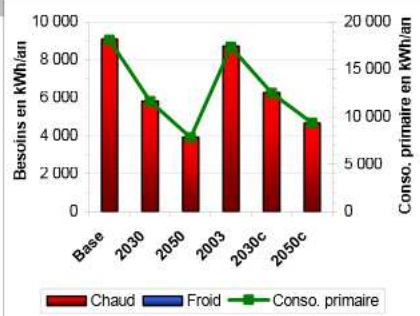
Pour la simulation numérique, on a supposé que la crèche était fermée durant les fêtes de fin d'année (1 semaine) et pendant tout le mois d'août. Aucune surventilation nocturne n'a été intégrée.

Projet 10 : TER Université

Caractéristiques principales du projet						
Données générales				Bâti		
Localisation :	PRADES			Type paroi :	Béton 20 cm	
Station météo :	Vernet les Bains			Inertie :	Forte	
	Aile Est	Aile Ouest		Isolation :	Forte (ext.)	
U bât :	0,593	0,608	W/m².K	Orientation :	Sud	
Cep :	126,7	115,7	kWh/m².an	Equipement		
SHAB :	475,12 m2			Chauffage :	Bois	
SHON :	647,71 m2			ECS :	Solaire + Bois	
				Ventilation :	Double flux	

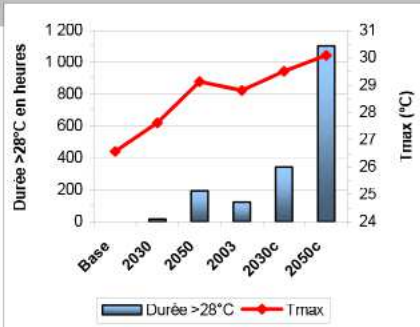


Bilan énergie						
c : année caniculaire future						
Chauffage						
Besoins	Base	2030	2050	2003	2030c	2050c
	9 093	5 836	3 916	8 706	6 270	4 678
Ratio	19	12	8	18	13	10
	0,009	0,006	0,005	0,008	0,007	0,005
		-36%	-57%	-4%	-31%	-49%
						Ecart besoin



Consommation énergie primaire chauffage + climatisation (le cas échéant)						
Consommation	18 097	11 615	7 794	17 326	12 478	9 310
		-36%	-57%	-4%	-31%	-49%
						Ecart besoin

Bilan confort						
Zone considérée : Logement 10						
Tmax	Base	2030	2050	2003	2030c	2050c
	27,8	29,1	30,4	30,5	31,0	31,9
Durée >28°C	0	112	457	361	755	950
DH été (base 28)	0	88	802	711	1588	3355
Indice d'inconfort	0,0%	19,4%	91,2%	88,3%	97,7%	144,1%
		112 h	457 h	361 h	755 h	950 h
						Ecart durée



Moyen pour toutes les zones						
Tmax	26,6	27,6	29,1	28,8	29,5	30,1
Durée >28°C	0	17	194	125	343	1102
DH été (base 28)	0	5	101	68	213	894
Indice d'inconfort	0,0%	1,2%	11,5%	8,4%	13,1%	38,4%
		17 h	194 h	125 h	343 h	1 102 h
						Ecart durée

Commentaire :

Ce projet bénéficie à la fois d'une bonne orientation, d'une bonne compacité, d'un sol sur terre-plein et d'une bonne isolation. De ces caractéristiques favorables, il découle de bons résultats en terme de besoins de chauffage qui s'élèvent à 19 kWh/m²/an en période de référence.

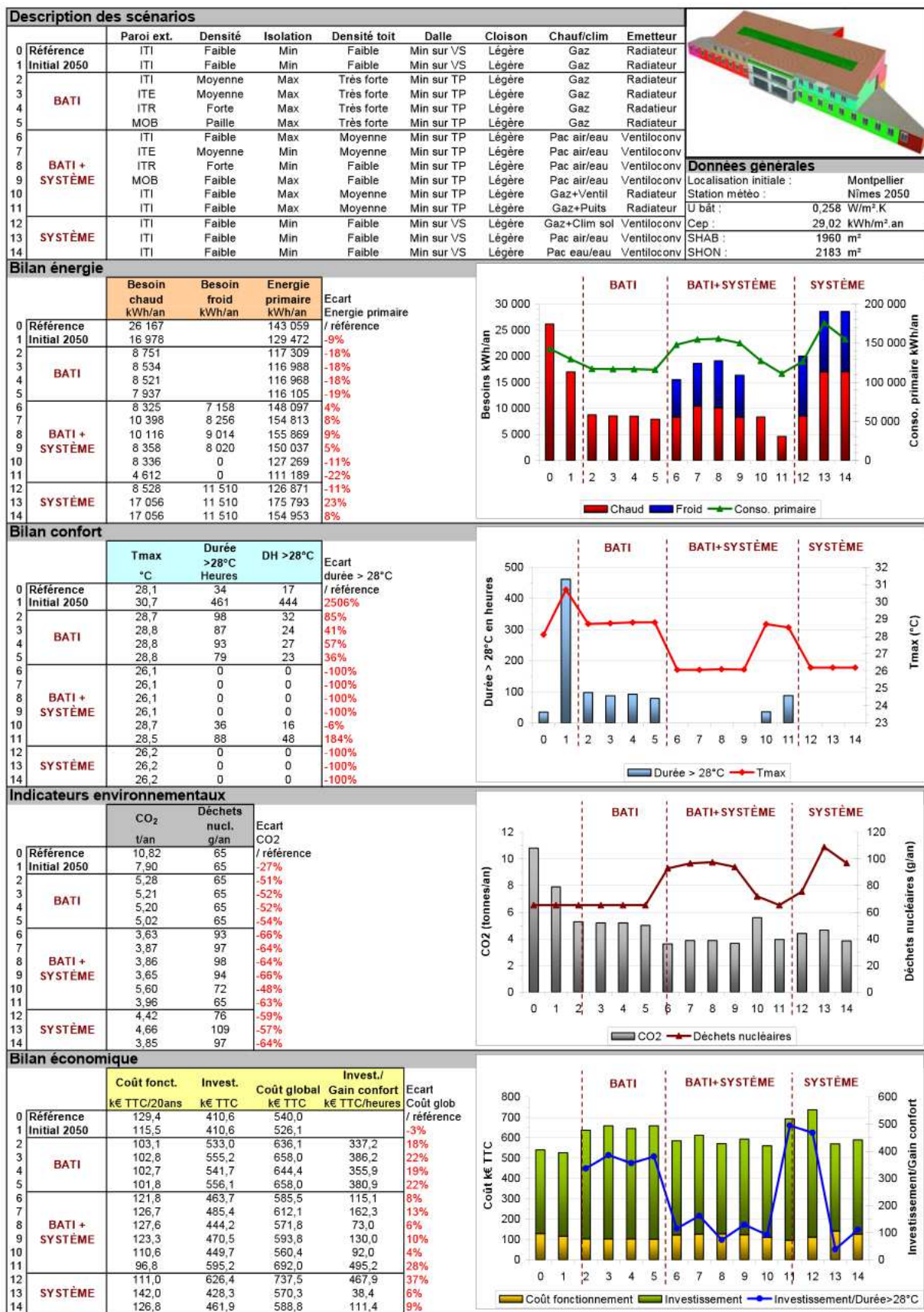
Jusqu'en 2030 l'inconfort est quasi inexistant mais il monte rapidement autour de 200 heures dès 2050.

L'université est supposée fermée durant les fêtes de fin d'année (1 semaine) et pendant le mois d'août.

Dans les dortoirs, il n'a pas été pris en compte de dissipation d'énergie par les équipements électriques hormis l'éclairage.

L'amenée d'air hygiénique est réalisée par un puits canadien toute l'année, elle est considérée constante toute l'année (renouvellement total de 2 000m³/h), hormis pendant les périodes de vacances.

Bâtiment de bureaux (TER Projet 8)



Réalisation :

ADEME, Direction Régionale Languedoc-Roussillon
IZUBA Energies

Ce document et l'étude complète réalisée par IZUBA Energies sont disponibles sur :
www.ademe.fr/languedoc-roussillon

Contacts :



ADEME : Céline VACHEY et Pierre VIGNAUD
Direction Régionale Languedoc-Roussillon
119 avenue Jacques Cartier
34 965 Montpellier cedex 2
Tél. 04 67 99 89 79 - fax. 04 67 64 30 89
celine.vachey@ademe.fr pierre.vignaud@ademe.fr



IZUBA Energies : Stéphane BEDEL
Parc Scientifique et Environnemental - Route des Salins
34140 Mèze
Tél. 04 67 18 31 10
stephane.bedel@izuba.fr
www.izuba.fr