

Bâtiment industriel à consommations d'énergie maîtrisées – Démarche GENHEPI

Virginie Renzi¹, David Corgier¹

¹ INES RDI / CEA – Institut National de l'Énergie Solaire
Savoie Technolac, BP 332, 50 avenue du Lac Léman, 73377 Le Bourget du Lac
virginie.renzi@cea.fr
david.corgier@cea.fr

RESUME. Les avancées dans le domaine de l'énergétique bâtiment sont nombreuses, notamment dans le résidentiel et le tertiaire, mais restent rares dans le secteur des bâtiments industriels. La présente étude porte sur la construction d'un bâtiment industriel à haute performance énergétique. Le projet, situé sur un site ICPE, comprend un bâtiment de bureaux et commodités, et une usine d'environ 16 000 m². Le bâtiment est modélisé dans l'environnement de simulation dynamique de TRNSYS, sur une année, pour les données météorologiques de Bâle. Ce bâtiment constitue un « démonstrateur » du programme GENHEPI qui vise à obtenir, dans des conditions économiques acceptables, des solutions techniques permettant la construction banalisée de bâtiments neufs à haute performance énergétique et la rénovation durable du parc immobilier existant. Le bâtiment permettra donc de vérifier en grandeur réelle la faisabilité et l'efficacité des solutions techniques mises en œuvre, ainsi que sa reproductibilité.

MOTS-CLÉS : simulation thermique dynamique, bâtiment industriel, méthodologie.

ABSTRACT. Building energy efficiency issues are commonly addressed in Europe, particularly in residential and office sectors, but are still unusual in the industrial sector. The study is about the construction of an energy efficient factory building. The project include a building for services and utilities, and a manufacturing plant of about 16 000m². The building was modelled with the dynamic simulation software TRNSYS 16, during a period of one year and for climatic data of Bâle. The building will serve as a demonstration operation for the GENHEPI methodology, which focuses on reducing consumption of primary energy and decreasing greenhouse gas emissions in the built environment, while increasing users comfort and using affordable techniques. The project will allow to methodically validate the feasibility and efficiency of the technical solutions applied on a real building case, and thus its reproducibility.

KEYWORDS : dynamic simulation, industrial building, methodology.

1. INTRODUCTION

Le premier secteur consommateur d'énergie en France est le parc de bâtiments résidentiels et tertiaires (46.5 % de la consommation nationale totale), devant les transports et l'industrie. Il représente également 25% des émissions de dioxyde de carbone sur le plan national, contribuant ainsi fortement à l'effet de serre.

Dans les bâtiments existants, la plus grande partie de l'énergie consommée est destinée pour 69% au chauffage (ADEME, 2002) et pour 19% à l'eau chaude sanitaire et la cuisson. Les 12% restants représentent la part de la consommation des équipements électriques. Il est important de souligner que l'évolution de la consommation énergétique totale du secteur du bâtiment est en forte croissance avec une hausse de 65 % en 30 ans.

Pour toutes ces raisons, un axe majeur de progrès est la réduction des consommations destinées au chauffage et à la climatisation. Ceci peut être fait en agissant sur l'isolation thermique, les pertes thermiques dues à la ventilation du bâtiment, en équipant les surfaces vitrées de protections solaires, et en introduisant des modes de chauffage et climatisation à basse consommation et faible impact sur l'environnement. Ces efforts ont déjà été entrepris en Allemagne et en Suisse par exemple, avec la réalisation de nombreux bâtiments (neufs ou rénovés) à consommation énergétique réduite répondants aux labels PASSIV HAUS et MINERGIE. A ce jour, les réalisations ont porté principalement sur les bâtiments de logements et de bureaux, alors qu'aucun projet de bâtiment industriel à consommation d'énergie maîtrisée n'a été recensé en France (PREBAT, 2007). En Europe il existe, à notre connaissance, une réalisation remarquable de petite taille en Belgique et quelques réalisations en Suisse labellisées MINERGIE de plusieurs milliers de m² de locaux accueillant une activité industrielle. Les raisons de cette rareté sont multiples, avec principalement pour ces dernières décennies, la dynamique de délocalisation et le faible coût de l'énergie par rapport à celui de la main d'œuvre. Mais, avec un paysage énergétique en pleine mutation, le gisement d'économie d'énergie pour les bâtiments industriels apparaît comme très important, alors même que la hausse du coût de l'énergie va favoriser la relocalisation de certaines activités industrielles.

Courant 2007, un industriel maître d'ouvrage a souhaité améliorer son outil industriel tout en maîtrisant les consommations énergétiques, avec une volonté forte d'intégrer les énergies renouvelables. Pour l'aider à la prise de décision sur les solutions à retenir et mettre en application, la démarche d'analyse globale GENHEPI (Gestion de l'Energie dans l'Habitat Economique et Promoteur d'Innovation) développé par le CEA INES a été retenue pour une unité de production d'environ 16 000m². GENHEPI vise à obtenir dans des conditions économiques acceptables, des solutions techniques permettant la construction banalisée de bâtiments neufs à haute performance énergétique et la rénovation durable du parc immobilier existant. Le bâtiment démonstrateur, une fois réalisé et en exploitation, permettra donc de vérifier en grandeur réelle la faisabilité et l'efficacité des solutions techniques innovantes mises en œuvre, ainsi que sa reproductibilité.

Pour cela, le bâtiment a été modélisé et simulé avec l'outil TRNSYS 16 et des scénarii de retour sur investissement ont été proposés au maître d'ouvrage pour l'aide à la décision en phase de conception.

2. PRESENTATION DE LA DEMARCHE GENHEPI

L'objectif de la démarche GENHEPI (Sarrade *et al.*, 2006) se déploie sur trois axes principaux :

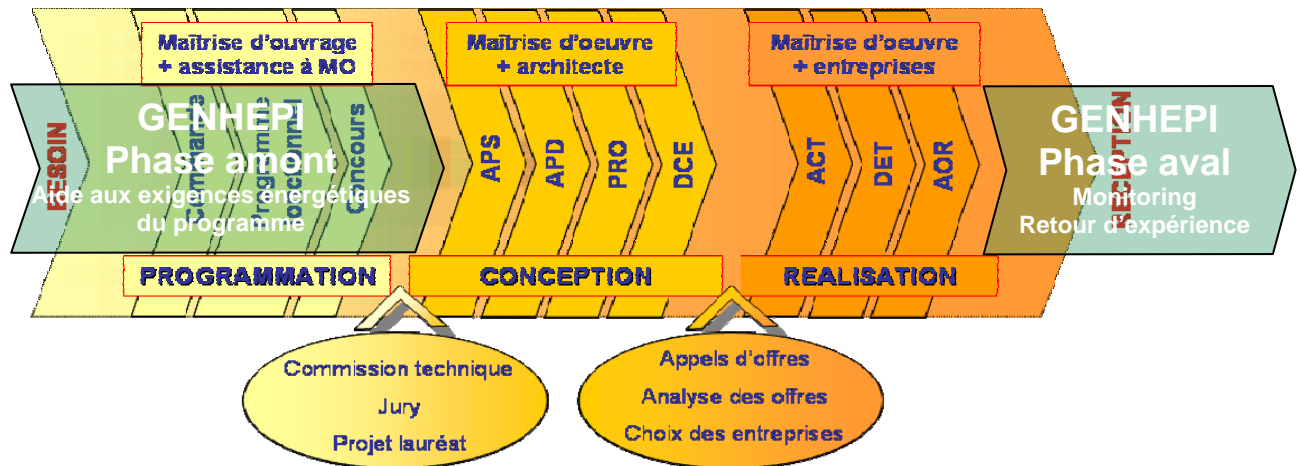
- La mise au point d'une démarche générique pour la rénovation de bâtiments menant à de faibles consommations énergétiques dans une logique d'approche environnementale,
- L'incitation et l'aide à l'émergence, la valorisation et la dissémination de technologies industrielles innovantes,
- La mise à disposition des résultats produits par le projet sous forme d'outils d'aide à la programmation pour les maîtres d'ouvrage et de guide d'études opérationnels pour la maîtrise d'œuvre.

Pour conduire cette démarche, des réalisations concrètes de bâtiments démonstrateurs sont menées en déclinant quatre cibles :

- Réduire d'un facteur 4 les émissions de gaz à effet de serre,

- Abaisser la consommation énergétique du bâtiment,
- Atteindre un bon niveau de rentabilité et de fiabilité,
- Accéder à un haut niveau de confort concernant la ventilation, le chauffage et le rafraîchissement quand cela est nécessaire

Pour atteindre ces objectifs, GENHEPI doit se positionner judicieusement dans le cadre d'un projet de démonstrateur par rapport à la démarche classique d'un projet bâtiment.



APS : Avant Projet Sommaire

PRO : Projet

ACT : Assistance Contrats de Travaux

AOR : Assistance Opération de Réception

APD : Avant Projet Détaillé

DCE : Dossier de Consultation des Entreprises

DET : Direction de l'Exécution des Travaux

Figure 1 : Démarche classique d'un projet bâtiment avec la « greffe GENHEPI »

La démarche GENHEPI ne doit pas intervenir dans le secteur concurrentiel qu'est celui des bureaux d'études bâtiment, et de l'A.M.O. en particulier, mais doit au contraire précéder, préparer et approfondir la phase d'élaboration du projet de travaux par une approche globale en énergie via de la modélisation et des études de sensibilité aux différentes solutions techniques.

GENHEPI se positionne notamment comme une démarche d'aide à la décision des solutions énergétiques à retenir pour optimiser la performance d'un bâtiment. De plus, l'acquisition de données du retour d'expérience sur chaque projet est indispensable pour améliorer les connaissances sur les différentes typologies de bâtiments. Le monitoring permet aussi de valider le niveau de performance atteint par rapport à ce qui avait été calculé et d'optimiser le contrôle / commande de l'installation. Pour les projets futurs, il apporte les bases pour un meilleur dimensionnement.

La démarche GENHEPI consiste à mieux renseigner le processus d'un projet classique. Elle joue le double rôle de support et de plateforme de lancement des innovations via son soutien scientifique et technique. En amont des phases programmation et conception, elle contribue à une analyse fine du besoin et définit un ensemble de préconisations et spécifications. En aval de la phase réalisation du bâtiment, elle génère et permet l'examen des retours d'expérience.

Les solutions énergétiques proposées aux maîtres d'ouvrage par l'équipe projet GENHEPI se veulent suffisamment matures pour garantir à la fois une fiabilité satisfaisante pour un bâtiment en situation d'exploitation, et une performance énergétique conforme aux attentes. Mais GENHEPI a aussi l'ambition de proposer des solutions énergétiques innovantes. Ainsi, GENHEPI propose d'associer les meilleures technologies actuellement disponibles ou en cours d'introduction sur le marché pour que la performance énergétique globale du bâtiment soit optimisée.

A ce jour, la démarche GENHEPI a été appliquée à la rénovation d'un bâtiment tertiaire à LYON, et sur deux projets de bâtiments tertiaires de bureau neufs en cours de construction. Sa mise en pratique pour un bâtiment industriel de taille conséquente représente une opportunité de validation du concept.

3. PRESENTATION DU BATIMENT ET SPECIFITES

Le projet de construction, situé sur un site ICPE dans l'Est de la France, comprend deux bâtiments industriels et un bâtiment tertiaire. L'étude porte sur le bâtiment d'usine principal axé Nord-Sud et d'une surface au sol de 16 000 m². L'ensemble se compose de différentes unités de transformation et d'assemblage qui se situent au centre du bâtiment, de zones logistiques au Nord et au Sud qui joueront le rôle de tampons thermiques, et une partie bureaux à l'ouest incluant le hall d'accueil du bâtiment et les pièces de services et commodités destinées aux employés.

Une dizaine de personnes occuperont la partie bureaux entre 8h et 18h. La partie fabrication sera occupée par quarante personnes répartis en deux équipes de 6h à 22h. Les charges internes dues au procédé de fabrication ont été documentées par le maître d'ouvrage, afin de mettre au point un modèle thermique le plus représentatif possible des conditions d'utilisation. Un éclairage standard du type T5 a été choisi couplé à régulation horaire.

4. ETUDE ENERGETIQUE

4.1. OPTIMISATION DE L'ENVELOPPE

Le premier point de l'étude a porté sur l'optimisation de l'enveloppe. Des études paramétriques ont été réalisées sous TRNSYS 16 afin de déterminer le meilleur compromis entre performance énergétique et rentabilité économique. Compte-tenu de l'usage final du bâtiment, l'étude ne s'est pas intéressée à l'aspect sanitaire des matériaux utilisés ni à l'énergie grise. La solution finale retenue est décrite dans le tableau ci-dessous :

Paroi	Composition	U (W/m ² .K)
Toit	acier + 20cm laine de roche + feutre bituminée	0.188
Dalle	béton 18cm	3.91
Mur façade	Siporex 15cm + 20cm laine de roche + bardage acier	0.155
Mur coupe feu	Siporex 15cm	0.757
Cloison séparative	acier + 12cm laine de roche + acier	0.308
Bureaux	acier + 20cm laine de roche + acier	0.189

Tableau 1 : Composition des parois

Il convient de noter que les parois verticales ont des contraintes d'exploitations très sévères :

- Aspect visuel soigné pour la face extérieure
- Tenue mécanique aux chocs en face intérieure en raison des mouvements de véhicules de transports de pièces

Le choix a été fait de soigner l'étanchéité à l'air à l'échelle du bâtiment qui a une hauteur sous plafond de 7 à 9 mètres. Pour la modélisation, un taux d'infiltration de 0.05 vol/h a été utilisé pour les zones de production, valeur communément retenue par les industriels de la construction de bâtiments de logistique de surface équivalente. En revanche, les zones de réception et d'expédition avec déchargement et chargement de semi-remorques, ont des taux d'infiltration plus élevés estimés à 0.1 vol/h.

La surface d'ouvertures a été choisie volontairement limitée de part l'utilisation industrielle du bâtiment et le choix s'est porté sur du double vitrage avec lame Argon basse émissivité ($U_w = 1.43\text{W/m}^2\cdot\text{K}$ et $g = 0.6$).



Figure 2 : Images du projet de bâtiment (zone sud d'expédition)

4.2. CHOIX DES SYSTEMES ENERGETIQUES ET DES UNITES TERMINALES

De part les dispositions naturelles du site, le système retenu est une pompe à chaleur (PAC) réversible sur nappe phréatique dont le coefficient de performance (COP) moyen global (comprenant les auxiliaires) utilisé pour l'évaluation a été fixé à 3,5 (valeur de référence ADEME). Cette dernière valeur tient compte principalement de la consommation des auxiliaires nécessaires au pompage de l'eau de nappe. La distribution se fera par centrales de traitement d'air avec diffusion par des gaines textiles en plafond dans la partie production, et par des émetteurs de chaleur de type ventilo-convecteurs ou dalle chauffante rafraichissante dans la partie bureau. Une consigne fixe de chauffage de 17°C a été définie pour l'usine et une consigne variable 19°C jour et 15°C nuit pour la partie bureau.

La ventilation sera assurée par un système mécanique simple flux et uniquement la partie bureaux sera équipée d'un système double flux permettant de récupérer les calories sur l'air extrait.

Pour le confort d'été plusieurs solutions ont été étudiées :

- La surventilation nocturne des locaux à 3 volumes par heure,
- Le rafraîchissement par échange avec l'eau de nappe sans travail de compression par la pompe à chaleur, si la surventilation nocturne se révèle insuffisante,

De par sa conception, la partie production bénéficiera d'une zone tampon au Sud. La partie bureau étant orientée à l'ouest, tous les ouvrants seront munis de stores extérieurs afin d'éviter en été les apports solaires directs en fin de journée.

Le graphique ci-dessous présente les besoins en climatisation de la zone bureau. En considérant une consigne à 26°C pendant les périodes d'occupation (8h-18h), les besoins énergétiques en froid et la puissance nécessaire au refroidissement peuvent être fortement diminués grâce à la surventilation nocturne et à des protections solaires adaptés.

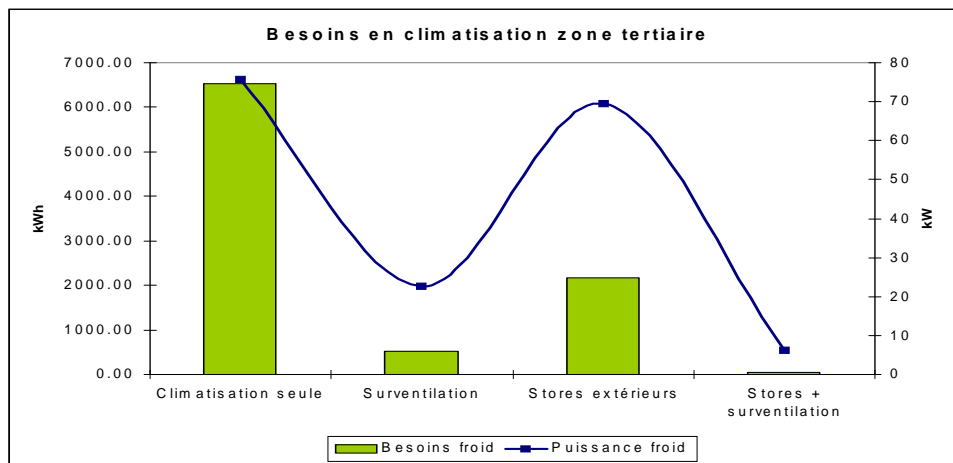


Figure 3 : Besoins et puissances de climatisation de la partie bureaux

4.3. GTB/REGULATION

Afin d'optimiser les différents systèmes de chauffage et ventilation, une gestion technique du bâtiment (GTB) a été prévue. Cette GTB permettra entre autre l'affinage des consignes de chaud et froid, l'allumage progressif des systèmes afin d'éviter le surdimensionnement de la puissance des équipements, et l'optimisation de l'éclairage artificiel.

Lors des évaluations numériques, on constate que la valeur de la consigne de température nocturne a un gros impact sur la puissance de chauffage et la consommation annuelle. Il a été démontré que le maintien d'une consigne de chauffage continue dans le bâtiment industriel est énergétiquement plus économe que la réduction de quelques degrés durant la nuit, avec l'avantage de dimensionner les équipements pour un point de fonctionnement statique, plutôt que pour une mise en régime rapide. Ce choix se justifie par les horaires des équipes 2 x 8 heures, par le grand volume d'air contenu dans le bâtiment et par l'architecture du bâtiment qui permet de bénéficier de l'inertie de la dalle.

4.4. TOITURE PHOTOVOLTAÏQUE

En plus de sa volonté d'arriver à un bâtiment industriel performant, le maître d'ouvrage a fait part de son souhait de compenser les consommations électriques de fonctionnement du bâtiment par la production d'électricité photovoltaïque (PV), afin d'atteindre un bilan positif en énergie. Le choix du positionnement s'est naturellement orienté sur la toiture ayant une grande surface disponible et pas de masques environnants.

Le choix d'une toiture plane (3° - 5%) s'est imposé par le choix architectural du maître d'ouvrage, et par la hauteur de bâtiment (jusqu'à 9 mètres sous plafond), et donc les coûts de mise en œuvre

associés. Afin d'évaluer la faisabilité et le productible solaire, le logiciel PVSyst a été utilisé pour modéliser différentes technologies photovoltaïques et différentes intégrations (membrane amorphe ou panneaux poly cristallin). Deux orientations ont été étudiées : plein Sud ou selon l'axe Est-Ouest.

La technologie amorphe a été finalement retenue pour sa capacité à être intégrée à une membrane, jouant ainsi un double rôle en assurant l'étanchéité de la toiture.

5. RESULTATS DE SIMULATION ET PERFORMANCES ATTENDUES

La simulation montre qu'avec les hypothèses présentées ci-dessus, il est possible d'atteindre les cibles de performance énergétique attendues par la démarche GENHEPI tout en maintenant des températures confortables en hiver comme en été et sans excès budgétaire.

Les besoins annuels en chauffage sont estimés à 285 MWh pour une puissance installée crête de 305 kW. Cette valeur ramenée à la superficie et convertie en énergie primaire (rappel : COP moyen global de 3.5 et facteur de conversion français de 2.58) donne un résultat très satisfaisant d'environ 16 kWh/m²/an. Une rapide évaluation économique nous a permis de démontrer au maître d'ouvrage l'intérêt de la solution PAC eau/eau sur nappe phréatique comparée à une solution standard de chauffage gaz, avec un retour sur surinvestissement de 7 à 8 huit années grâce aux économies d'énergie sur le poste chauffage / climatisation (le surinvestissement initial de la solution 2 est de 50 k€ et celui de la solution 3 de 157 k€).

	Usine	Bureaux
Besoins chauffage MWh/an	285	37
Puissance crête chauffage kW	305	48

Tableau 2 : Estimatifs des besoins annuels, et des consommations annuelles

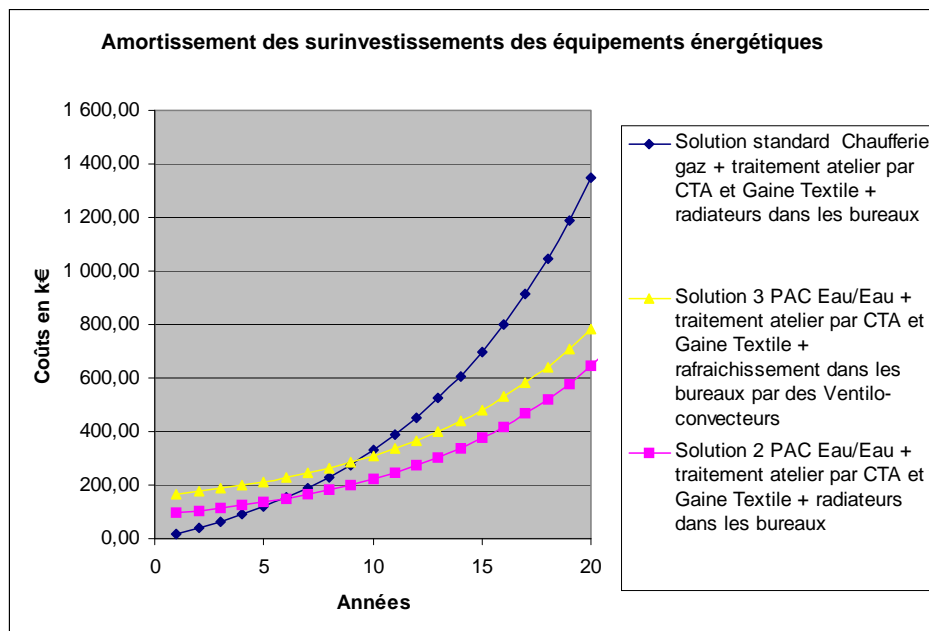


Figure 4 : Amortissement des surinvestissements des équipements énergétiques Chauffage / Climatisation avec une augmentation du coût de l'énergie de + 12% / an¹

¹ Valeur moyenne du coût de l'énergie en Europe sur les 5 dernières années en 2006 Source Eurostat

En revanche, l'étude des différentes consommations spécifiques a mis en exergue la part importante que représente l'éclairage (environ 300 MWh/an) et le fonctionnement des auxiliaires (estimés à 130MWh/an), qui ensemble représentent au moins autant que le chauffage.

6. MONITORING

La démarche GENHEPI inclut une phase de suivi du bâtiment démonstrateur. Après réalisation le bâtiment sera équipé de différents capteurs afin d'assurer le relevé des informations définies au préalable par l'INES/CEA en accord avec le maître d'ouvrage. Les objectifs sont multiples :

- Détecter d'éventuels dysfonctionnements des systèmes et pouvoir intervenir rapidement,
- Suivre les performances des différents systèmes (PV, PAC, ...) et pouvoir optimiser leur régime de fonctionnement,
- Evaluer le confort des occupants et si nécessaire instaurer des actions correctrices,
- Mesurer la performance globale avec le suivi des consommations pour valider le modèle de simulation dynamique et les hypothèses choisies.

Le monitoring a aussi pour objectif d'assurer une diffusion des données collectées et des analyses qui en découlent au travers de la mise en place d'une interface internet tout d'abord, puis par la création d'un outil de type guide des bonnes pratiques.

7. CONCLUSION

Cette étude de cas montre tout l'intérêt de travailler sur l'énergétique du bâtiment, même pour une application industrielle de taille conséquente. La réglementation française fait pour le moment abstraction de ce type de bâtiment alors qu'ils représentent un potentiel d'économie d'énergie concret. Les solutions techniques sont validées et on constate que le surcoût en équipements performants est très rapidement rentabilisé. Cette démarche reste pourtant peu répandue et le programme GENHEPI a justement pour but de diffuser, à partir de bâtiments démonstrateurs aisément reproductibles, les connaissances nécessaires.

On peut noter que la consommation énergétique d'éclairage artificiel devient prépondérante, une fois l'enveloppe et les équipements optimisés. On peut regretter que la globalité de l'approche n'ait pas pu être appliquée à la conception de la toiture afin de permettre l'éclairage naturel (toiture en SHED par exemple).

Enfin cette étude nous a permis de prendre conscience de la limite de la modélisation pour la simulation d'un volume important, qui plus est avec un système de chauffage par air. Un outil 3D de représentation des flux est alors nécessaire et le couplage avec TRNSYS est maintenant envisagé.

8. BIBLIOGRAPHIE

ADEME (2002). Les chiffres clés du bâtiment - Données et Références.

PREBAT (2007). Comparaison internationale bâtiment et énergie, rapport final.

Sarrade L, Manificat A and Corgier D (2006). Rapport d'activité GENHEPI. CEA - INES RDI