

Seconde Générale et Technologique

BELTZUNG Quentin

BERY Paul

DE SOUSA LOUSA Julien

LECAS Steven

NAUDE Pauline



Projet de créativité et d'innovation technologique

Conception des bâtiments à basse consommation d'énergie BBC: les matériaux à changement de phase MCP



REMERCIEMENTS

Nous remercions M. Bertrand BOUCHARD pour nous avoir autorisés à travailler sur le support du nouveau bâtiment du Conseil Général.

Nous tenons à remercier chaleureusement M. Sébastien BERNARDO de la société BERNISOL de Darvoy qui nous a fourni les échantillons de MCP pour nos essais et qui pose ce matériau dans le futur bâtiment du conseil général du Loiret, ainsi que l'ensemble des personnes de la société qui nous ont reçu sur le chantier et qui nous ont permis de faire des photos

Nous remercions le lycée de nous avoir proposé le challenge ainsi que les professeurs M. FAURE et Mme JUANICO de nous avoir suivis et aidé tout au long du projet.

Nous remercions également M. Raoul RIOUAL de la société DUPONT DE NEMOURS pour les renseignements qu'il nous a apporté sur l'Energain®.

PROBLEMATIQUE

À l'heure où les questions énergétiques et environnementales sont de plus en plus sensibles et où la réglementation thermique appelle à une plus grande prise en compte du confort intérieur, les matériaux à changement de phase suscitent l'intérêt croissant des professionnels du bâtiment.

Ces matériaux intelligents sont apparus sur le marché de la construction dans un premier temps pour réduire les besoins en climatisation durant les périodes chaudes.

Incorporés à l'intérieur des bâtiments, dans des produits à base de polymères, de plâtre, ou de béton, les MCP s'avèrent capables d'améliorer les performances énergétiques de l'enveloppe tout en augmentant l'inertie thermique. Complémentaires d'une isolation, ils constituent ainsi une réponse au durcissement de la réglementation thermique et à la prise en compte de la notion de confort d'été et de confort d'hiver.

Aujourd'hui, les matériaux à changement de phase MCP trouvent particulièrement leur place dans la conception et la rénovation des bâtiments à ossature légère à basse consommation d'énergie. En effet, ces bâtiments à faible inertie et sur isolés pour réduire les consommations de chauffage en hiver, pièges les apports de chaleur interne et externe en été. Des surchauffes importantes sont alors constatées en été et un inconfort thermique non acceptable apparaît. Les MPC permettront ainsi d'améliorer le confort d'été sans générer de surconsommation d'énergie dans le bâtiment.

Au cœur d'un quartier en pleine transformation, le futur pôle administratif du Conseil Général du Loiret a été imaginé comme un bâtiment novateur et précurseur d'un mouvement environnemental fort. Il sera le premier bâtiment public à répondre à des critères aussi élevés en matière d'économie d'énergie.

La nécessité s'est donc posée de faire cohabiter les exigences environnementales et la qualité et le confort d'un lieu de travail. Les reliefs marqués, alternant des volumétries à la fois anguleuses et arrondies, imposent une certaine contenance à l'édifice et la façade entièrement végétalisée, la lumière pénétrante et le bassin extérieur caractérisent la volonté de créer un espace où règnent sérénité et dynamisme en osmose avec la nature. Certaines pièces de ce bâtiment seront équipées de ce matériau à changement de phase pour répondre à cette double problématique du confort d'hiver et d'été en maîtrisant les consommations énergétiques.

SOMMAIRE

PREMIERE PARTIE : LE BATIMENT DU CONSEIL GENERAL DU LOIRET	7
I. Généralités sur la construction	7
II. Les innovations techniques	10
III. L'utilisation des MCP	12
DEUXIEME PARTIE : LE MATERIAU A CHANGEMENT DE PHASE	15
I. Caractéristiques dimensionnelles et chimiques de l'Energain®	15
II. L'Energain®, un MCP et son principe de fonctionnement	16
III. Caractéristiques techniques de l'Energain® et méthode d'analyse	17
IV. La masse thermique de l'Energain® - Notions théoriques	18
V. Performances énergétiques de l'Energain® - Exemples pratiques	18
VI. Empreinte CO ₂ de l'Energain®	19
VII. Manipulation, installation et coûts de l'Energain®	20
TROISIEME PARTIE : LA MAQUETTE ET LES ESSAIS	22
I. Présentation de la maquette	22
II. Résultats de l'expérience	25
III. Conclusion	25
QUATRIEME PARTIE : LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE	26
I. Présentation	26
II. L'intérêt de la STD	26
1. Pourquoi une STD	26
2. L'outil de STD	26
III. Les hypothèses de modélisation	27
1. Le découpage du bâtiment en zones thermiquement homogènes	27
2. L'environnement	28
3. Les caractéristiques du bâtiment	28
4. Les différents scénarios	28
IV. L'étude des besoins de chauffage	30
1. Les résultats en configuration initiale	30
V. Le confort d'été	31
1. Le confort d'été dans la dernière configuration retenue	31
2. Taux d'inconfort	32
3. Synthèse	32
ANNEXES	34

Challenge académique des technologies durables

Conception des bâtiments à basse consommation d'énergie BBC: les matériaux à changement de phase MCP

• Plan du Rez de Chaussée.....	34
• Plan du niveau 1.....	34
• Plan du niveau 2.....	35
• Plan du niveau 3.....	35
• Plan du niveau 4.....	36
• Webographie	36

INTRODUCTION

La seconde générale et technologique du lycée Henri Gaudier-Brzeska propose deux options : SI (Sciences de l'Ingénieur) et CIT (Création et Innovation Technologiques) en rapport avec les spécialités enseignées.

Les Sciences de l'Ingénieur nous ont permis d'étudier les systèmes de PAC (Pompes A Chaleur) et le réfrigérateur qui ont le même principe de fonctionnement. Ensuite nous avons travaillé sur les différentes structures de ponts et enfin les énergies renouvelables et les économies d'énergie.

En Création et Innovation Technologique, nous avons travaillé sur une multitude de sujets. Le thème principal du programme était d'aborder la construction et l'étude des Bâtiments Basses Consommations (BBC). Au début de l'année, nous avons travaillé sur les différentes techniques de mesurage des bâtiments. Puis, les professeurs nous ont proposé différentes études de cas qui portaient sur la forme et l'orientation des bâtiments, la disposition des vitrages, l'étanchéité à l'air, la ventilation et l'isolation du bâtiment qui sont des notions importantes dans l'approche des constructions BBC.

La participation à ce challenge, la création et l'étude d'un projet constitue une continuité avec le programme scolaire que nous suivons. Nous avons construit une problématique et avons cherché une solution à celle-ci illustrée d'exemples concrets qui démontre qu'il existe des issues alternatives pour faire avancer les technologies du bâtiment et plus précisément celles des constructions BBC qui demeurent la voie d'avenir du secteur du BTP.

Ce dossier s'organisera en 4 parties :

Dans une première partie nous présenterons un bâtiment tertiaire BBC exemplaire en cours de construction à Orléans où les matériaux à changement de phase sont utilisés

Dans une seconde partie nous analyserons le matériau à changement de phase ENERGAIN® fabriqué par la société DUPONT DE NEMOURS.

Dans une troisième partie nous présenterons les résultats de nos simulations thermiques dynamiques sur ce matériau à changement de phase, réalisés avec le logiciel PLEIADES développé par le laboratoire d'énergétique de l'école nationale supérieure des Mines de Paris

Dans une dernière partie nous présenterons les résultats de nos essais sur une maquette pédagogique développée au lycée Gaudier Brzeska pour observer le comportement de ce matériau innovant.

PREMIERE PARTIE : LE BATIMENT DU CONSEIL GENERAL DU LOIRET

I. Généralités sur la construction

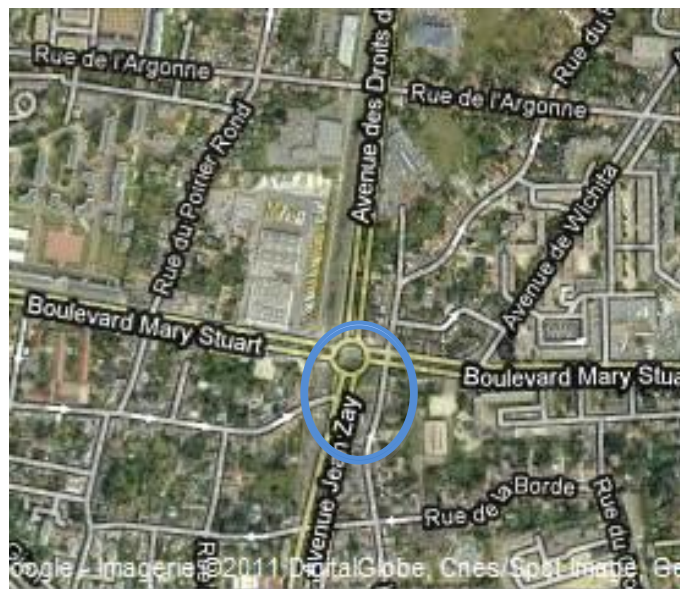
Le bâtiment « Le Loiret » se situe ZAC du champ St Marc à Orléans.

Il sera le premier bâtiment administratif certifié Haute Qualité Environnementale (HQE) et labellisé bâtiment basse consommation (BBC-Effinergie).

Le maître d'ouvrage est le Conseil Général du Loiret.

Les intervenants de la maîtrise d'œuvre sont :

- Architecte : a5a
- Economiste : Loizillon Ingenierie
- B.E.T. Fluides : E.T.B. Antonelli
- BET Structure : AUA Structures
- BET HQE : Trans-Faire
- BET Acoustique : Inso Nor



La surface du bâtiment est de 4700 m² en Surface Hors Œuvre Nette (SHON).

De forme arrondie au nord, avec une pointe au sud et des bureaux orientés plein sud, sa forme contemporaine illustre bien les formes des nouveaux bâtiments basse consommation.

Ce bâtiment que nous avons visité sera livré au mois de mai 2011.





Plan du 3^e étage

La démarche HQE :

Outil de développement durable pour la construction, la notion de Haute Qualité Environnementale s'exprime à travers 14 "cibles" qui sont autant de critères, classés en quatre grandes familles (éco-construction, éco-gestion, confort et santé). Ces cibles concernent notamment l'intégration du bâtiment dans son environnement, les choix en termes de matériaux, gestion de l'énergie, maintenance, mais aussi les questions relatives au confort de l'utilisateur, qu'il soit hygrothermique, acoustique, visuel et olfactif. Côté consommation énergétique, un bâtiment sera dit "basse consommation" (BBC) s'il consomme en moyenne 50 kWh/m²/an d'énergie primaire (moyenne nationale qui varie selon la zone géographique et l'altitude ; le chiffre est de 72 kWh/m²/an à Orléans). On parlera d'habitat "passif" lorsqu'il ne nécessite que très peu d'énergie pour se chauffer (15 kWh/m²/an) et d'habitat "à énergie positive" lorsque le bâtiment produit plus d'énergie qu'il n'en consomme.

Le Pôle administratif du Conseil Général du Loiret est un bâtiment respectueux de l'environnement, le chantier de construction est aussi amélioré, grâce à beaucoup de petits détails, qui font la différence. Le chantier de construction est un chantier vert. Un chantier génère obligatoirement des nuisances pour son environnement proche. L'objectif d'un chantier vert est d'en limiter les effets tant pour les riverains que pour les ouvriers qui battissent.

Les différentes actions d'un chantier vert sont :

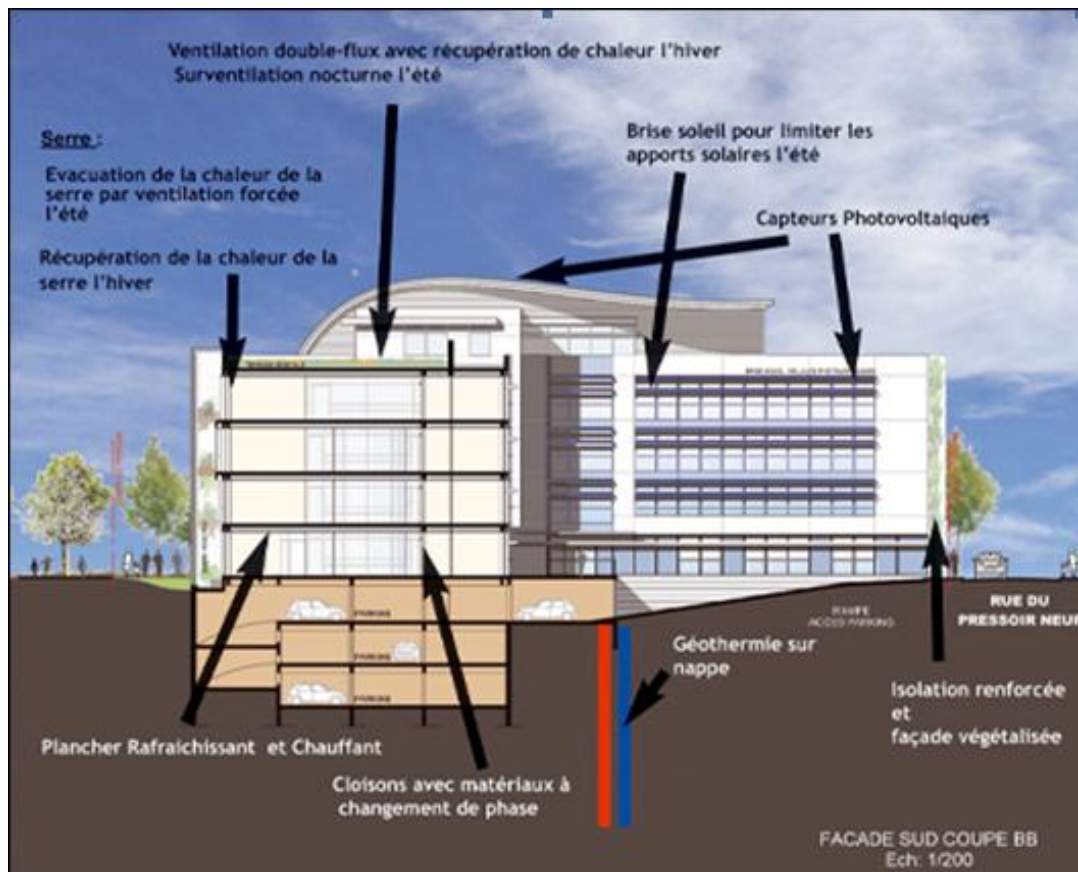
- ✚ La propreté du chantier, avec un nettoyage régulier des trottoirs et des voiries publiques proches des accès au chantier, des engins et camions pour éviter la propagation des poussières et saletés. Il y a aussi un enrobé sur le chemin que les camions utilisent pour éviter leur dégradation.
- ✚ Le respect des ressources, les eaux de pluies sont récupérées grâce à une cuve et réutilisation des eaux de lavage après décantation pour le nettoyage des machines et du chantier. Le chantier vert a un comptage des consommations en eau et électricité et il ne doit pas brûler de matériaux excédents pour éviter les pollutions de l'air.
- ✚ Les nuisances sonores sont limitées, limitation du niveau acoustique en limite de chantier, c'est-à-dire 75 dB. Une mise en place d'heures spécifiques pour les travaux réclamant une puissance acoustique excédent 75 dB et limitée à 85 dB. Les engins circulent à sens unique.
- ✚ Les déchets sur le chantier sont gérés, réduction de la production des déchets par récupération et pré-conditionnement étudiée au niveau des fournisseurs et exécution du tri des déchets grâce à l'installation de bennes différenciées (déchets industriels banals, déchets industriels spéciaux et dangereux, emballage, ferrailles...).



Coût du bâtiment du Conseil Général du Loiret

Son coût s'élève à 19,6 millions d'euros, il revient 10% plus cher qu'un bâtiment classique, mais il sera rentabilisé en neuf ans grâce à une consommation d'énergie réduite.

II. Les innovations techniques



Grâce à des procédés innovants et inédits, comme les cloisons à changement de phase en Energain®. Il sera le premier bâtiment public à répondre à des critères aussi élevés en matière d'économie d'énergie. Pour avoir une consommation de 71 kWh/m²/an, c'est-à-dire qu'il consomme deux fois moins qu'un bâtiment de même taille qui répond aux normes de la RT 2005.

- Il y aura des capteurs photovoltaïques intégrés dans les brises soleil, 134 m² de panneaux photovoltaïques en toiture et 82 m linéaire de brise soleil photovoltaïque. Les capteurs photovoltaïques servent à la production d'électricité d'origine renouvelable et la protection des usagers contre la surchauffe estivale.





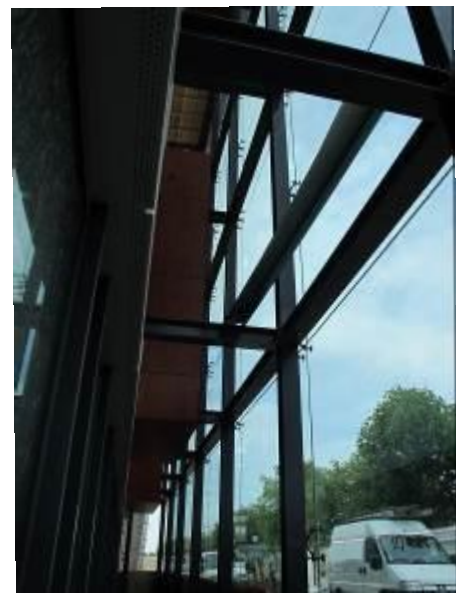
✚ Le bâtiment aura une isolation de haute performance. Celle de l'enveloppe du bâtiment sert à limiter au maximum les déperditions thermiques et les sensations de parois froides. Comme isolant l'Energain® sera utilisé.

- L'orientation du bâtiment et de ses ouvertures a été choisie pour l'optimisation des apports solaires. Il y a des serres et des larges surfaces vitrées pour les orientations favorables. Au nord il y aura du triple vitrage.

De la géothermie sur nappe sera également utilisée, elle apportera un rafraîchissement et réchauffement provenant de la circulation de l'eau par forages géothermiques.

La végétation apportera une sensation de fraîcheur grâce à l'évapo-transpiration des plantes et un espace tampon créé par la serre afin d'isoler les usagers des bruits de l'avenue Jean Zay.

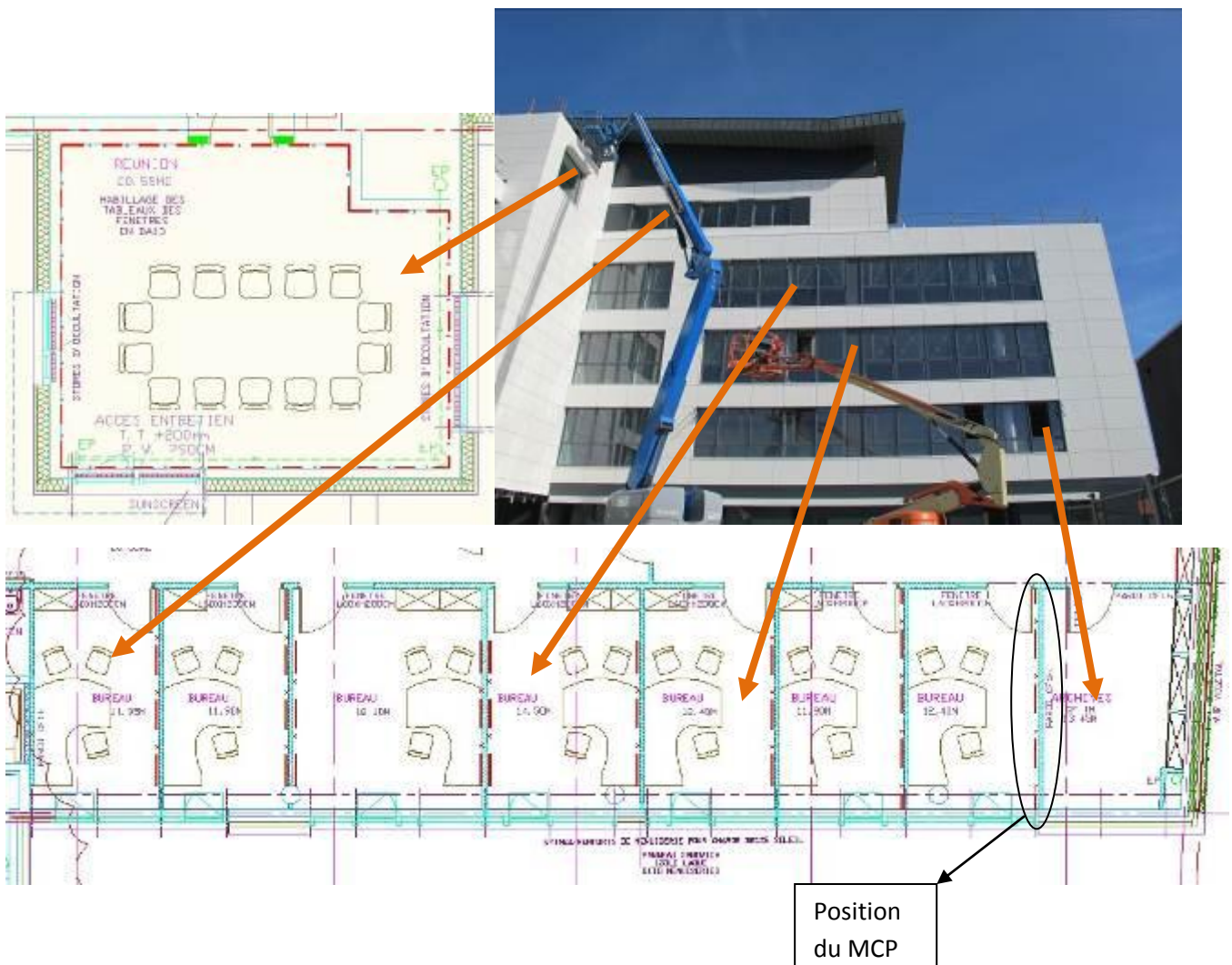
L'éclairage naturel sera optimisé au maximum pour minimiser la consommation d'énergie qui servirait à de l'éclairage artificiel.



III. L'utilisation des MCP

Dans le cadre des dispositions HQE, pour contribuer à une meilleure gestion de la température intérieure des locaux visant à optimiser l'énergie, il est prévu dans la conception d'une partie des cloisons de distribution intérieure, l'emploi de matériaux intégrant des produits à changement de phase.

Bureaux orientés Sud (1^{er}, 2^{ème}, 3^{ème} et 4^{ème} étage):



Le MCP est situé généralement sur une face de cloison dans les bureaux situés au sud, et au pourtour de la pièce pour la salle de réunion du 4^o.

Challenge académique des technologies durables

Conception des bâtiments à basse consommation d'énergie BBC: les matériaux à changement de phase MCP

Salles de réunion (2^{ème}, 3^{ème} étage) :



Suivant les pièces le MCP est situé soit sur deux faces, soit tout autour de la pièce.

Challenge académique des technologies durables

Conception des bâtiments à basse consommation d'énergie BBC: les matériaux à changement de phase MCP

Open Space :



Le MCP est disposé sur une face de la pièce et partiellement au plafond (sous les plaques de plâtre)

DEUXIEME PARTIE : LE MATERIAU A CHANGEMENT DE PHASE

I. Caractéristiques dimensionnelles et chimiques de l'Energain®

Le matériau Energain® est breveté par DuPont de Nemours. Ce produit n'est qu'un complément d'isolation pour contrôler la température et les gains thermiques à l'intérieur de la construction.

L'Energain® est un produit qui se présente sous la forme d'un panneau.

Le panneau est constitué de deux feuilles d'aluminium de 130 µm d'épaisseur renfermant un MCP (Matériau à Changement de Phase) qui est un mélange de polymère à base d'éthylène d'une teneur de 40% et de cire paraffine (élément dérivé du pétrole et utilisé dans les bougies) de teneur 60%. Les bords du panneau sont rendus étanches grâce à un ruban adhésif en aluminium de 75 µm d'épaisseur.



Les feuilles d'aluminium jouent trois rôles distincts : protection anti-feu, rigidification du panneau pour faciliter la pose et protection contre la migration de la cire.

PANNEAU A INERTIE THERMIQUE

Propriétés descriptives	Unité	Valeur
Epaisseur	mm	5,26
Hauteur	mm	1000
Largeur	mm	1198
Masse surfacique	kg/m ²	4,5
Epaisseur de l'aluminium (feuille)	µm	130
Epaisseur de l'aluminium (bords)	µm	75

RUBAN ADHESIF EN ALUMINIUM

Propriétés descriptives	Unité	Valeur
Epaisseur	µm	75
Largeur	mm	50

Le procédé d'extraction de la paraffine est très consommateur en énergie.

II. L'Energain®, un MCP et son principe de fonctionnement

Les chaudes journées d'été sont souvent synonymes d'inconfort en raison des températures élevées notamment dans le comble. Lorsque la température de la pièce augmente en raison des gains solaires ou des sources de chaleur intérieures, le panneau Energain® absorbe et stocke la chaleur. Il la restitue lorsque la température diminue dans la soirée ou pendant la nuit.



Un MCP est capable d'absorber, de stocker et de libérer de grandes quantités d'énergie avec un changement de température relativement faible, en changeant d'état physique. La chaleur stockée est appelée chaleur latente et par conséquent, les matériaux sont appelés "matériau de stockage à chaleur latente". Cette chaleur latente est la quantité d'énergie qu'il faut communiquer à un matériau pour qu'il passe de l'état initial (solide, liquide ou gazeux) à un autre état. Elle est exprimée en joule qui est une unité quantifiant la quantité de chaleur.

Le principe de fonctionnement de l'Energain® est le suivant :

- ✚ si la température intérieure de l'habitation ou du local est inférieure à 18°C, la cire de paraffine conserve son état solide ;
- ✚ si la température dépasse les 22°C, le changement de phase commence et la cire fond en absorbant les calories énergétiques de la température ambiante de la pièce. Dans le cas où la température redescend en dessous de 18°C, un nouveau changement d'état survient et la cire de paraffine se solidifie, restituant ainsi la chaleur à son environnement.

III. Caractéristiques techniques de l'Energain® et méthode d'analyse

La fonte de la cire de paraffine a été testée par DSC, en anglais, *Differential Scanning Calorimetry* qui signifie Calorimétrie différentielle par balayage. C'est une technique d'analyse thermique. Elle mesure les différences des échanges de chaleur entre un échantillon à analyser (la cire de paraffine dans le cas présent) et une référence (échantillon témoin).

Propriétés thermiques	Méthodes de test		
Teneur en paraffine	Test comparatif par DSC	%	60
Point de fusion (paraffine)	Méthode DSC (1 °C/min)	°C	21,7
Chaleur latente	Méthode DSC (1 °C/min)	kJ/kg	>70
Chaleur totale (Température entre 14°C et 30°C)	Méthode DSC (1 °C/min)	kJ/kg	>170

L'Energain® est résistant à la délamination, c'est-à-dire au décollement entre les feuilles d'aluminium et le produit à l'intérieur. Des tests mécaniques ont été réalisés chez DuPont.

La performance thermique de ce matériau a également été testée. Celle-ci a été qualifiée par la norme BS EN 12667-2001 ; elle quantifie la conductivité thermique d'un élément et son unité de mesure est le Watt par mètre Kelvin.

La cire de paraffine a été soumise à un test d'inflammabilité ASTM D56. Cette méthode d'essai est utilisée pour mesurer et décrire le comportement du matériau vis-à-vis de la chaleur et des flammes dans des conditions contrôlées en laboratoire. Cependant, elle ne permet pas de décrire les réactions ou les transformations du matériau dans des conditions réelles d'incendie.

Propriétés physiques			
Résistance des feuilles d'aluminium à la délamination	Test interne à DuPont	N/cm	>20
Conductivité solide	BS EN 12667-2001	W/(m.K)	0,18
Conductivité liquide	BS EN 12667-2001	W/(m.K)	0,14
Point d'inflammabilité (paraffine)	ASTM D56	°C	148

L'Energain® est classé E pour sa réaction au feu qui est acceptable. Il est capable de résister pendant une courte période à l'attaque d'une petite flamme sans grande propagation. La propagation des flammes à la surface d'un matériau est classée de 0 (pas de propagation) à 4 (propagation importante). L'Energain® classé « 1 » n'est donc pas un matériau propageur de flammes.

REACTION AU FEU			
Test à l'aide d'une source à flamme unique	EN 11925-2		Classe E
Test de propagation de la flamme sur la surface	BS476 part 7		Classe 1
BS476 partie 7 & BS476 partie 6 (derrière la plaque de plâtre)	Building Regulations (AD B)		Classe 0

La longévité du matériau est équivalente à celle du bâtiment dans lequel il est mis en application. Il est chimiquement inerte par rapport à la plupart des matériaux.

LONGEVITE

Longévité équivalente à celle du bâtiment
Chimiquement inerte à la plupart des matériaux

IV. La masse thermique de l'Energain® - Notions théoriques

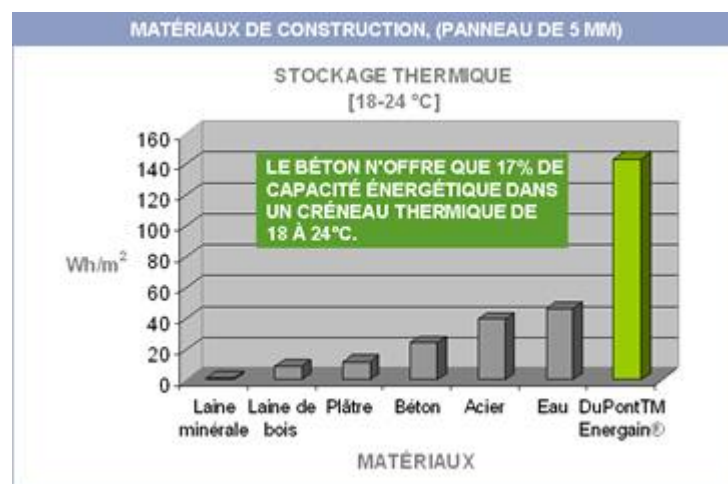
La masse thermique d'un matériau correspond à la capacité de celui-ci à absorber et stocker la chaleur. La performance de la masse thermique est définie par la conductivité thermique et la capacité d'optimisation thermique. La chaleur absorbée est stockée par kilogramme de matériau.

Le matériau à changement de phase Energain® joue un rôle de masse thermique efficace et assure un climat intérieur confortable et bien équilibré. Il est capable de stocker davantage d'énergie thermique de façon latente avec une plus grande capacité de stockage et une masse inférieure par rapport aux matériaux conventionnels. On estime qu'un panneau d'Energain® de 5mm d'épaisseur est équivalent à 20 à 40 mm de béton en fonction de la température.

Ces derniers, avec leur masse thermique faible, sont à l'origine de pics thermiques dans le bâtiment pendant les mois d'été et de coûts énergétiques plus élevés de chauffage l'hiver.

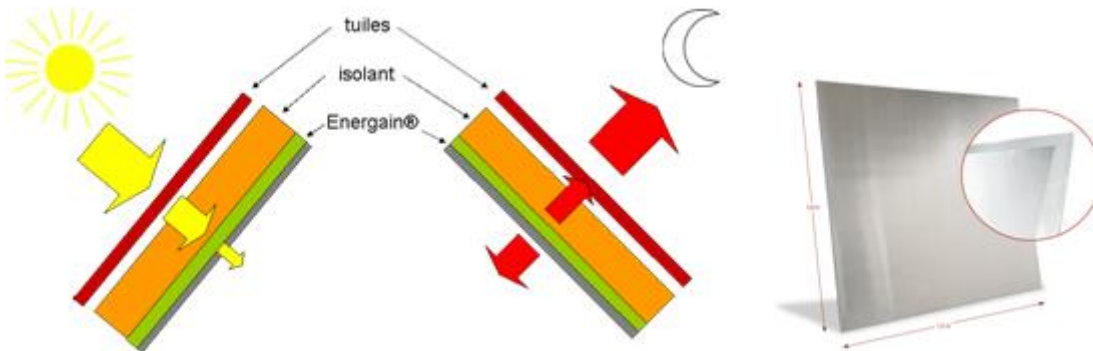
V. Performances énergétiques de l'Energain® - Exemples pratiques

Le diagramme suivant compare le stockage thermique de l'Energain® avec celui de certains matériaux de construction conventionnels de 5 mm d'épaisseur, dans un créneau de température de 18-24 °C.



D'après le graphique, on peut observer que l'Energain® est le matériau le plus performant en termes de stockage d'énergie thermique. Il emmagasine 7 fois plus de chaleur que le béton qui est un matériau couramment utilisé pour la construction de bâtiments.

Le fabricant Du Pont de Nemours garantit que la température de la pièce peut être régulée jusqu'à environ 7°C grâce à la combinaison d'une isolation classique et d'un MCP comme l'Energain®.



Ce stockage et cette restitution de chaleur peuvent diminuer considérablement les pics de température dans la journée et contribuer à maintenir une température stable pour améliorer le confort. Des expériences en laboratoire et en pratique ont prouvé que ces panneaux peuvent contribuer à diminuer les pics de température de 7°C et à gérer le climat de la pièce sans utiliser d'énergie extérieure.

VI. Empreinte CO₂ de l'Energain®

DuPont™ Energain® permet non seulement de gérer la température passive des bâtiments, mais aussi de diminuer considérablement la consommation d'énergie et par conséquent la production de CO₂.

L'Energain® peut aider à réduire considérablement l'empreinte CO₂ du bâtiment grâce à sa réduction de la consommation d'énergie. Il permet de réduire les consommations d'air conditionné de 35% et de chauffage jusqu'à 15%.

La production d'aluminium est extrêmement consommatrice en énergie électrique. Il est obtenu par électrolyse de l'alumine qui se présente sous la forme d'une poudre blanche. Pour produire de l'alumine, il faut 2,5 à 3 tonnes de bauxite en fonction de sa teneur en alumine, 60 à 80 kg de soude caustique par tonnes d'alumine produite et de l'énergie, 0,3 tonne de fuel par tonne. L'électrolyse consiste à faire circuler un courant électrique dans un matériau pour extraire le produit désiré. Le

processus consomme environ 15 000 kWh pour la fabrication d'une tonne d'aluminium primaire. L'énergie grise produite par la fabrication est de 190 000 kWh/m³ d'aluminium produit, c'est l'un des matériaux possédant l'émission d'énergie grise la plus haute. L'énergie grise est la quantité d'énergie nécessaire à la production et à la fabrication des matériaux. Un bilan d'énergie grise additionne l'énergie dépensée de l'extraction des matières premières jusqu'au recyclage du matériau en fin de vie. Le pourcentage d'aluminium recyclé peut varier de 75% jusqu'à 90%. L'aluminium est recyclable à 100% en fin de vie, avec une économie d'énergie de 95% par rapport à celle nécessaire à la fabrication de l'aluminium primaire.

En fin de vie, les matériaux sont réutilisés après leur triage et leur réinsertion dans les cycles industriels. Il n'y a pas aujourd'hui, d'analyse de cycle de vie de ce matériau à changement de phase.

VII. Manipulation, installation et coûts de l'Energain®

Manipulation :

La manipulation des panneaux d'Energain® est sûre. Ils ne contiennent que de la cire de paraffine, un polymère et de l'aluminium et peuvent donc être manipulés sans précaution particulière liée à la toxicité.

Les panneaux peuvent être posés sur les cloisons, les murs et les plafonds mais aussi derrière des plaques de plâtre. Ils peuvent être coupés de toutes les formes possibles, avec un outil coupant affûté. Avant de poser les panneaux sur un mur, il faut recouvrir les bords avec le ruban adhésif en aluminium afin que le panneau soit étanche. Celui-ci peut être fixé par perçage, vissage, cloutage ou agrafage.

L'utilisation comme pare-vapeur est possible à condition que les joints soient masqués par le ruban adhésif pour garantir l'étanchéité à la vapeur de l'ensemble posé.

Le produit ne nécessite aucune modification ou renforcement de la structure du bâtiment car il est léger.

Installation :

L'Energain® est facile à installer et ne nécessite aucun outil spécial, il se pose facilement entre l'isolant et la plaque de plâtre. Lorsqu'il est livré sur les chantiers, il ne requiert aucune préparation supplémentaire. Ce matériau ne produit aucun bruit lors de son fonctionnement et ne nécessite aucun entretien ni remplacement.



Pose des rails et d'une plaque de plâtre, entre elles ;

pose des plaques d'Energain®, elles sont scotchées



et sont vissées sur les montants , une plaque de plâtre viendra ensuite finir la cloison...



Pose de l'Energain® au plafond

Coût :

Différents coûts sont engendrés par l'utilisation de l'Energain®. Tout d'abord, il y a le coût de l'achat des plaques de MCP, il faut compter environ 50 à 60 €/m², et du ruban adhésif.

Ensuite, il y a le coût lié au transport et à l'installation du produit. Il génère aussi des économies car ces caractéristiques lui permet de remplacer un pare-vapeur, il limite la propagation de bruit (+ 28% (<250Hz), + 9% (>250Hz)). Les panneaux permettent une économie d'énergie au niveau de la climatisation en été (jusqu'à 35% d'économie) car il optimise la température de façon à ce qu'elle soit dans une marge de confort. Ils permettent une climatisation efficace en été et voire jusqu'à l'économie d'une unité de climatisation. En hiver, ils permettent une économie de chauffage d'environ 15%.

TROISIEME PARTIE : LA MAQUETTE ET LES ESSAIS

I. Présentation de la maquette

L'expérience a pour objectif d'analyser le comportement thermique d'un nouveau produit innovant : l'Energain®. Cette expérience est réalisée dans une maquette pédagogique réalisée au lycée par la section menuiserie. Elle constituée de 2 enceintes de 35 cm x 35 cm x 35 cm. Nous avons monté deux enceintes dont une est équipée avec de l'Energain®. Chaque enceinte est ensuite chauffée par une ampoule de 60W.



1) Mise en place des matériaux et découpage

Composition de la paroi :



Plaque de plâtre

L'Energain®

Isolation de laine de bois

Le matériau Energain® fabriqué par la société Dupont se présente sous la forme d'une plaque d'aluminium dans laquelle est enfermé un mélange de cire de paraffine et d'un polymère à base d'éthylène. Le découpage de ce matériau ne pose aucune difficulté. Ensuite, il faut mettre du ruban adhésif en aluminium pour recouvrir les côtés afin d'éviter que le matériau s'échappe lors du changement d'état qui se produit à 22°C.

L'isolation en laine de bois accompagne celle constituée par l'Energain®. Cet assemblage est ensuite recouvert par des plaques de plâtres préalablement découpée.

2) Préparation de l'enceinte des tests

Pour la préparation des deux enceintes, il faut tout d'abord poser l'isolant en laine de bois sur les toutes les parois verticales de la maquette.



Challenge académique des technologies durables

Conception des bâtiments à basse consommation d'énergie BBC: les matériaux à changement de phase MCP

Ensuite, on découpe les plaques d'Energain® de la dimension des cloisons verticales d'un caisson et on les positionne. Enfin, on coupe les plaques de plâtre et on assemble tout le montage.



Une fois le montage des murs fini, on tapisse le sol de ouate de cellulose et on installe les lampes de 60W.



La finition sur le montage de l'électricité.

Il faut à présent mettre en place les instruments de mesures. Dans chaque enceinte, on dispose une sonde de température Pt100 un peu éloignée des ampoules et une autre dans l'Energain®.

Lorsque tout le montage est fini, on replace le toit sur la maquette.



Mise en place du plafond.

Pour recueillir les informations, on relie les sondes de température à la centrale d'acquisition ESAO que l'on connecte à un ordinateur équipé du logiciel "L'atelier scientifique Jeulin". Après, on lance logiciel que l'on a préalablement programmé.

II. Résultats de l'expérience

L'expérience nous a permis d'observer le changement d'état de l'Energain® et nous a donné des renseignements sur le comportement thermique d'un nouveau matériau.

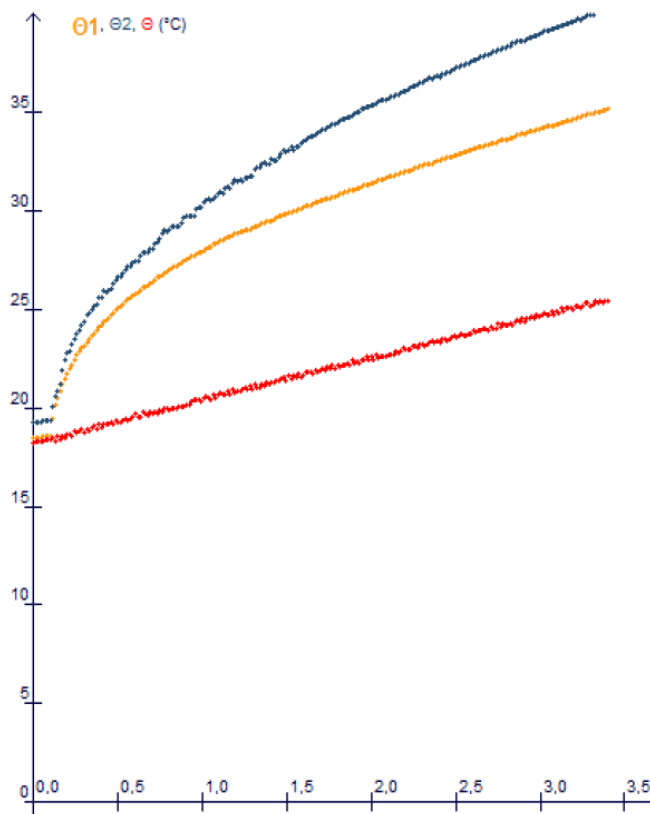
On allume les lampes et on les laisse réchauffer l'air ambiant des enceintes.

La première sonde, située dans l'enceinte de l'Energain® indique une montée constante des températures.

La seconde sonde, placée dans l'enceinte sans l'Energain® indique une forte montée des températures.

La troisième qui est enfermée dans le MCP indique que le matériau chauffe, puis la chaleur est récupérée et utilisée pour le changement d'état de la paraffine.

Voici le tableau et le graphique qui représente l'évolution des températures dans les 2 enceintes.



	A	B	C	D
Grd	t	Θ1	Θ2	Θ
Unité	s	°C	°C	°C
1	3124,810	34,475	39,388	25,038
2	3139,200	34,462	39,400	24,925
3	3153,610	34,525	39,487	25,100
4	3168,000	34,538	39,513	25,025
5	3182,410	34,563	39,538	25,025
6	3196,810	34,625	39,563	24,975
7	3211,200	34,675	39,612	25,113
8	3225,610	34,712	39,700	25,175
9	3240,000	34,750	39,688	25,100
10	3254,410	34,775	39,725	25,175
11	3268,810	34,837	39,850	25,337
12	3283,200	34,900	39,913	25,325
13	3297,610	34,900	39,925	25,163
14	3312,000	34,938	39,938	25,238
15	3326,410	35,013	40,013	25,400
16	3340,810	35,000	40,013	25,288
17	3355,200	35,025	40,087	25,450
18	3369,610	35,112	40,138	25,363
19	3384,000	35,100	40,163	25,375
20	3398,410	35,150	40,188	25,400

III. Conclusion

La température dans l'enceinte qui contient l'Energain® est moins élevée que celle où l'Energain® n'y est pas. Il y a une différence de température d'environ 5°C.

Ce matériau régule la température de la pièce. Il permet d'améliorer le confort d'été dans l'habitat en diminuant les surchauffes de l'air ambiant. Ce matériau apporte de l'inertie thermique.

La conclusion de ces essais c'est que l'on peut affirmer que l'Energain® est un matériau fiable, facile et assez maniable.

QUATRIEME PARTIE : LA SIMULATION THERMIQUE DYNAMIQUE

I. Présentation

Suite à nos essais sur notre maquette pédagogique, nous avons essayé de modéliser le comportement thermique de ce matériau à changement de phase en virtuel en utilisant un logiciel de simulation thermique dynamique. Cette modélisation virtuelle va nous permettre de valider nos résultats des essais et d'aller plus loin dans l'analyse en observant par exemple les consommations d'énergie et l'inconfort d'été.

II. L'intérêt de la STD

1. Pourquoi une STD

Les outils de simulation thermique dynamique des bâtiments comme « ALCYONE » et « PLEIADES + COMFIE » permettent de concevoir :

- des bâtiments à basse consommation d'énergie BBC
- des bâtiments passifs comme Pass I* Lab
- des bâtiments à énergie nulle
- des bâtiments à énergie positive

C'est un formidable outil de discussion entre l'architecte et l'ingénieur thermicien.

Il permet d'étudier :

- le confort d'été d'un bâtiment en calculant le taux d'inconfort
- le confort d'hiver d'un bâtiment en calculant les besoins de chauffage

Dans notre cas, il est bien adapté, car nous devons analyser le comportement d'un matériau à changement de phase qui stocke et qui déstocke en permanence de l'énergie. Seule la STD permet de prendre en compte ces phénomènes thermiques en régime variable. La société DUPONT a développé en partenariat avec l'école des Mines de Paris le modèle de comportement dynamique de l'ENERGAIN sous le logiciel « PLEIADES + COMFIE ».

2. L'outil de STD

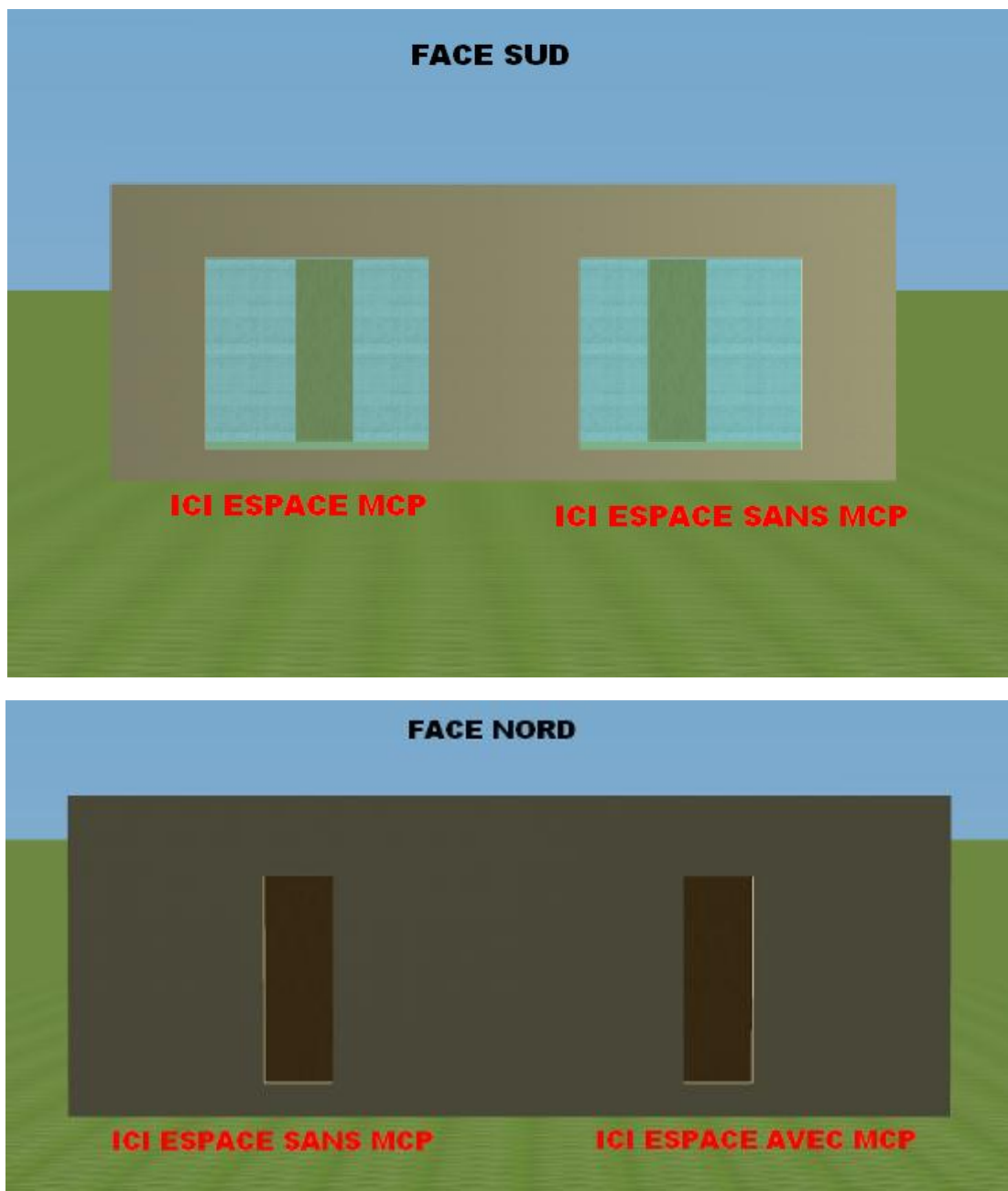
Développé par l'Ecole des Mines de Paris et GEFOSAT avec le concours de l'Ademe et du programme Altener « ALCYONE » et « PLEIADES + COMFIE » est un logiciel de calcul par simulation dynamique des échanges thermiques multizones dans les bâtiments. « PLEIADES + COMFIE » conjugue facilité et puissance pour l'analyse du confort thermique, la conception de projets solaires passifs et l'enseignement. « ALCYONE » est le modeleur 3D.

III. Les hypothèses de modélisation

1. Le découpage du bâtiment en zones thermiquement homogènes

Nous avons dessiné virtuellement avec le modeleur 3D un bâtiment constitué de 2 enceintes thermiques de mêmes dimensions 5m x 5m x 2,5m afin pour pouvoir ensuite comparer leur comportement thermique. Une des enceinte sera équipée de matériau à changement de phase, l'autre enceinte n'aura pas de matériau à changement de phase.

Le bâtiment simulé est de conception à basse consommation d'énergie. Il comporte une isolation renforcée et des grandes baies vitrées de 3m sur 2m orientées au SUD. Son fonctionnement est identique à celui d'une habitation.









2. L'environnement







Tout d'abord pour créer un projet il faut choisir la station la plus proche de la construction afin d'avoir des données météorologiques les plus proches de la réalité. Grâce à cela, les apports solaires, les apports de chaleur, les températures et toutes les données géographiques sont associées au projet en permanence et tout cela est pris en compte lors des études thermiques réalisées.

3. Les caractéristiques du bâtiment

1ère pièce : BBC avec matériau à changement de phase

-  Surface habitable: $5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$
-  Volume chauffé : $5 \times 5 \times 2,5 = 62,5 \text{ m}^3$
-  Mur bardage bois MCP
-  Plancher bois MCP
-  Toiture bois MCP
-  Baies vitrées, doubles vitrages

2ème pièce : BBC sans matériau à changement de phase

-  Surface habitable: $5 \times 5 = 25 \text{ m}^2$
-  Volume chauffé : $5 \times 5 \times 2,5 = 62,5 \text{ m}^3$
-  Isolation : bardage bois BBC
-  Plancher bois BBC
-  Toiture bois BBC
-  Baies vitrées doubles vitrages

4. Les différents scénarios

La société DUPONT DE NEMOURS conseille d'équiper l'ensemble des parois d'une pièce avec le produit ENERGAIN pour obtenir un résultat satisfaisant. Hors, les bureaux du bâtiment du conseil général du Loiret ne sont pas équipés sur toute la surface de ce matériau. Nous nous sommes donc interrogés sur cette problématique : quelle surface de MCP faut-il mettre en œuvre ?

Pour répondre à cette question, nous avons réalisé différentes simulations. Pour cela nous avons fait varier la surface de matériau à changement de phase mise en œuvre.

BASE 1

- **Pièce 1** : Toutes les parois MCP avec un chauffage standard sans climatisation.
- **Pièce 2** : Toutes les parois BBC avec un chauffage standard sans climatisation.

BASE 2

- **Pièce 1** : 5 parois MCP avec un chauffage standard sans climatisation.
- **Pièce 2** : Toutes les parois BBC avec un chauffage standard sans climatisation.

BASE 3

- **Pièce 1** : 4 parois MCP avec un chauffage standard sans climatisation.
- **Pièce 2** : Toutes les parois BBC avec un chauffage standard sans climatisation.

BASE 4

- **Pièce 1** : 3 parois MCP avec un chauffage standard sans climatisation.
- **Pièce 2** : Toutes les parois BBC avec un chauffage standard sans climatisation.

BASE 5

- **Pièce 1** : 2 parois MCP avec un chauffage standard sans climatisation.
- **Pièce 2** : Toutes les parois BBC avec un chauffage standard sans climatisation.

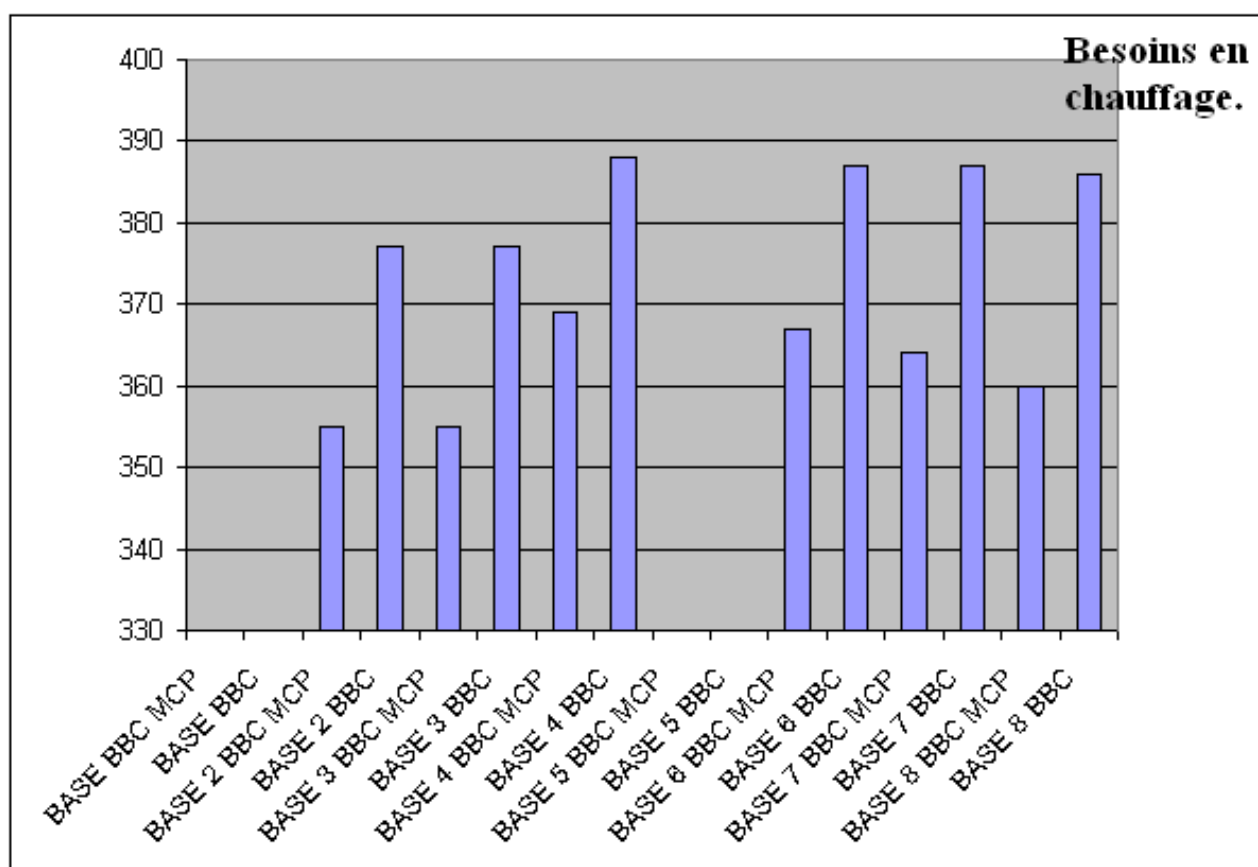
BASE 6

- **Pièce 1** : 1 parois MCP avec un chauffage standard sans climatisation.
- **Pièce2** : Toutes les parois BBC avec un chauffage standard sans climatisation.

IV. L'étude des besoins de chauffage

1. Les résultats en configuration initiale

En hiver, le MCP emmagasine de l'énergie la journée et la restitue dans le bâtiment le soir lorsque le froid réapparaît ce qui permet de faire des économies d'énergies au niveau du chauffage.



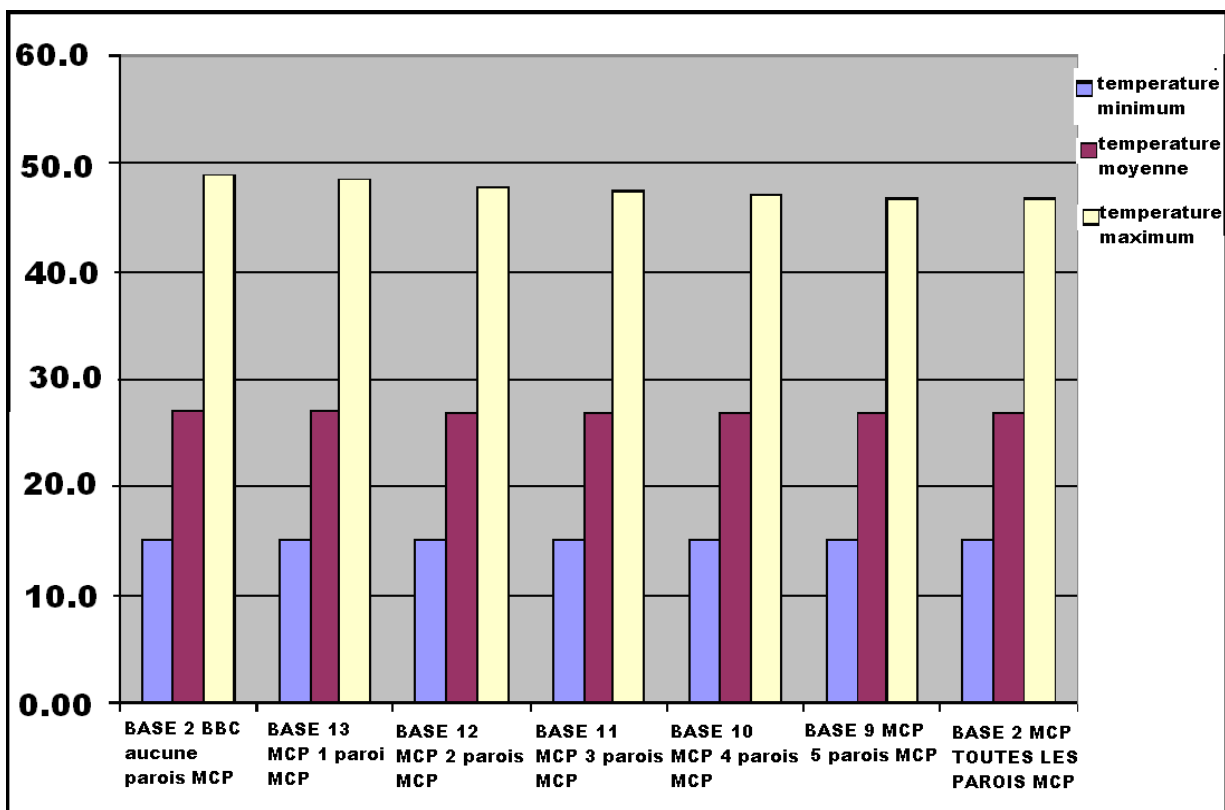
Sur les bases qui ne sont pas équipées de système de chauffage, on peut observer que sur la Base 2 BBC MCP qui est entièrement équipée en Energain®, la consommation de chauffage est inférieure à la consommation de la Base BBC qui ne possède pas de matériau à changement de phase (pas d'Energain®).

V. Le confort d'été

1. Le confort d'été dans la dernière configuration retenue

Ce graphique présente les températures atteintes dans l'enceinte sans matériau à changement de phase puis dans l'enceinte équipée de matériaux à changement de phase.

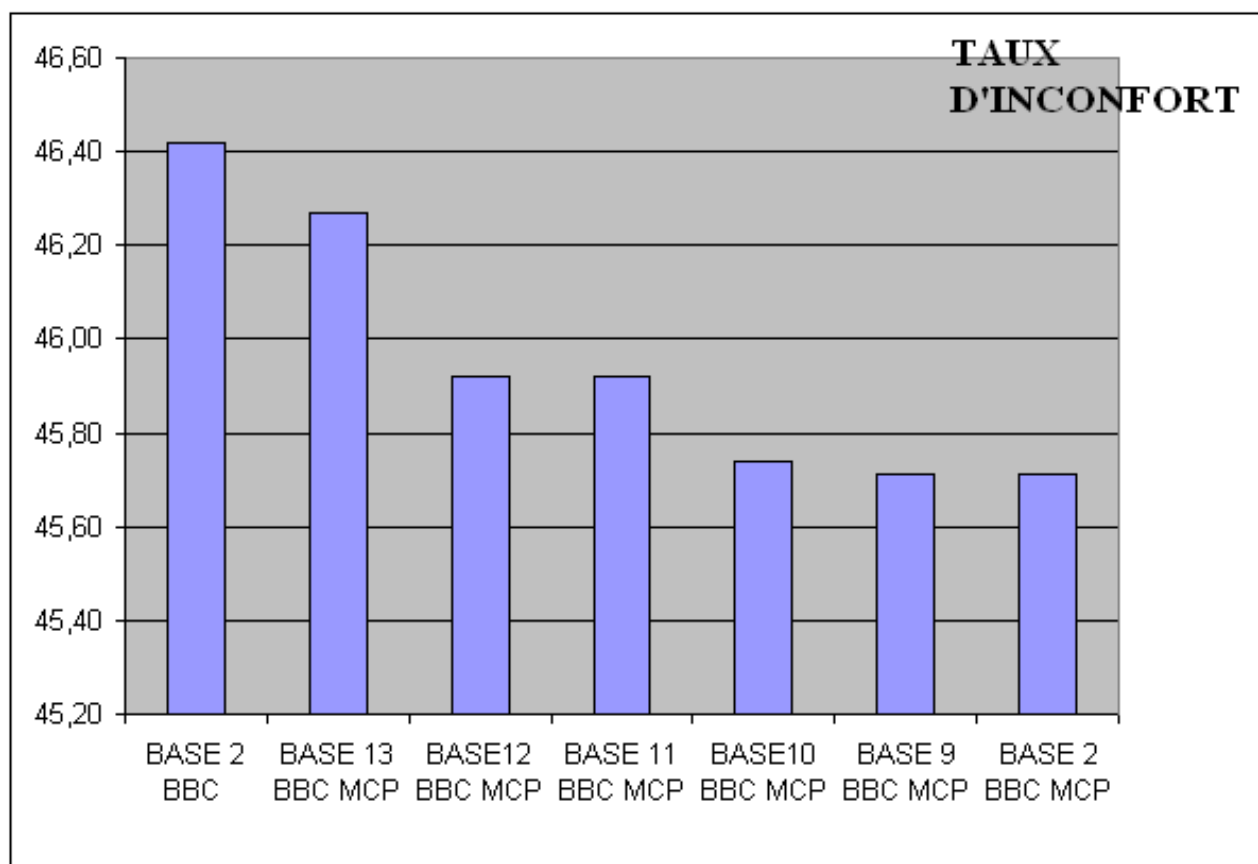
En faisant tous ces tests on peut remarquer que le matériau à changement de phase permet en été d'avoir une température moyenne et une température maximum moins élevée dans la pièce MCP que dans la pièce qui n'est pas équipée de matériau à changement de phase. Grâce au matériau à changement de phase on peut réaliser des économies de consommation d'énergies en climatisation.



Sur ce graphique, on peut constater que la température maximum est amortie d'environ 3°C grâce à l'utilisation croissante de l'Energain®. Le matériau à changement de phase, grâce à sa composition, permet de limiter la montée en température du bâtiment. Ce qui améliore le taux d'inconfort.

2. Taux d'inconfort

Le taux d'inconfort représente le nombre d'heures pendant l'occupation où la température dans le bâtiment pendant la saison chaude est supérieure à 27 °C.



Sur ce graphique on peut observer une nette baisse du taux d'inconfort entre la base 2 BBC qui ne possède aucun matériau à changement de phase et la base 2 BBC MCP dont toutes les faces sont équipées de MCP. Une baisse enregistrée, ce qui prouve que l'Energain® est utile.

Cependant, on peut constater que le taux d'inconfort reste très élevé à environ 46 %. Un bâtiment est confortable en été si le taux d'inconfort est inférieur à 10%.

3. Synthèse

Le produit Energain® permet d'amortir la température d'une pièce de 3°C, mais ne permet pas à lui seul de réduire le taux d'inconfort à un niveau acceptable. Il faudra donc cumuler différentes solutions techniques.

CONCLUSION

Aujourd'hui, beaucoup de réglementations thermiques apparaissent, ayant pour but d'améliorer le confort intérieur tout en conciliant les économies d'énergie et le respect de l'environnement. Il faudrait utiliser un matériau innovant qui a comme caractéristiques de réduire les consommations de chauffage l'hiver et de réduire les apports de chaleur l'été.

L'Energain[®], qui est un matériau à changement de phase (MCP) possède ces fonctionnalités. Il permet de réguler la température de la pièce et de diminuer le taux d'inconfort en apportant de l'inertie thermique.

Il améliore le confort d'été en limitant les surchauffes et diminue les consommations d'énergie liées au chauffage en hiver. Ce matériau permet de créer une différence de température d'environ 5°C lorsqu'il est utilisé, grâce à sa composition.

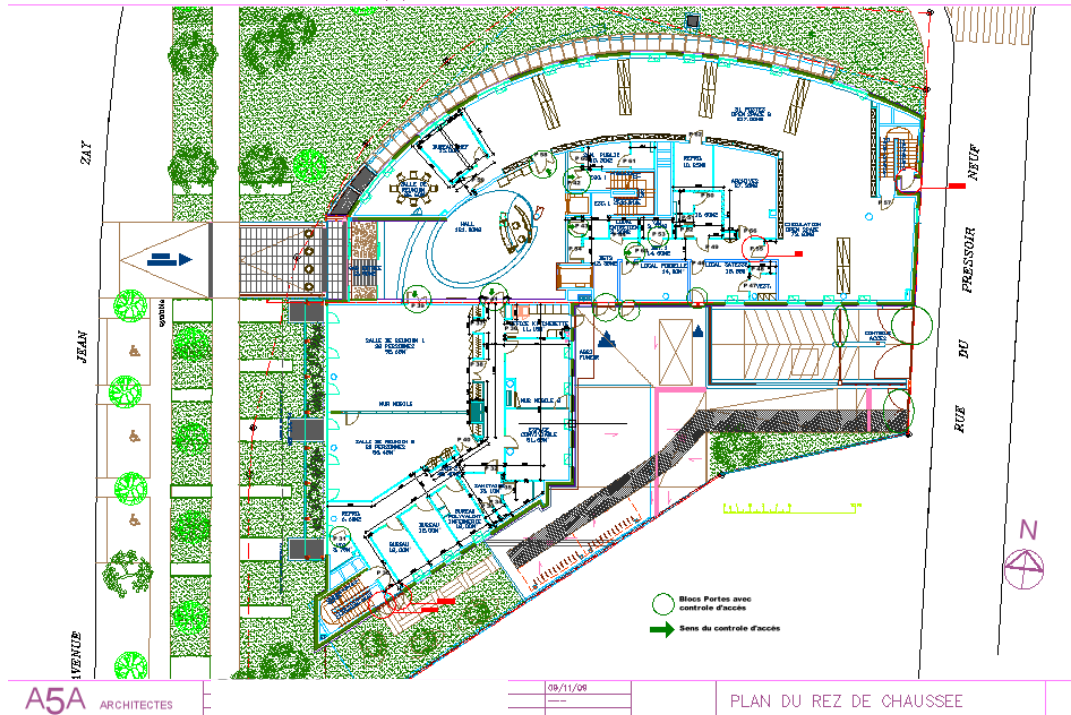
L'Energain[®] fait nettement baisser le taux d'inconfort l'été, mais ne l'abaisse pas à un niveau acceptable. Il faut alors le combiner à d'autres solutions techniques.

Malgré tout l'Energain[®] semble être un matériau innovant qui peut être utilisé dans la construction de bâtiments à basse consommation d'énergie BBC.

ANNEXES

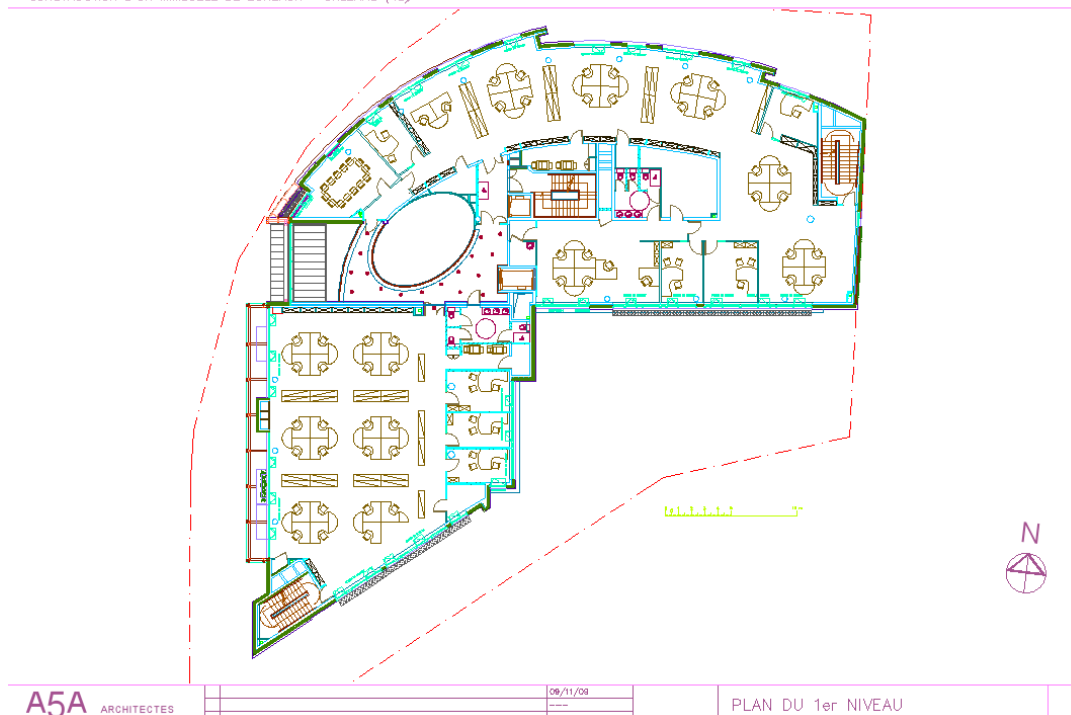
• Plan du Rez de Chaussée

CONSTRUCTION D'UN IMMEUBLE DE BUREAUX ORLEANS (45)



• Plan du niveau 1

CONSTRUCTION D'UN IMMEUBLE DE BUREAUX ORLEANS (45)



• Plan du niveau 2

CONSTRUCTION D'UN IMMEUBLE DE BUREAUX ORLEANS (45)



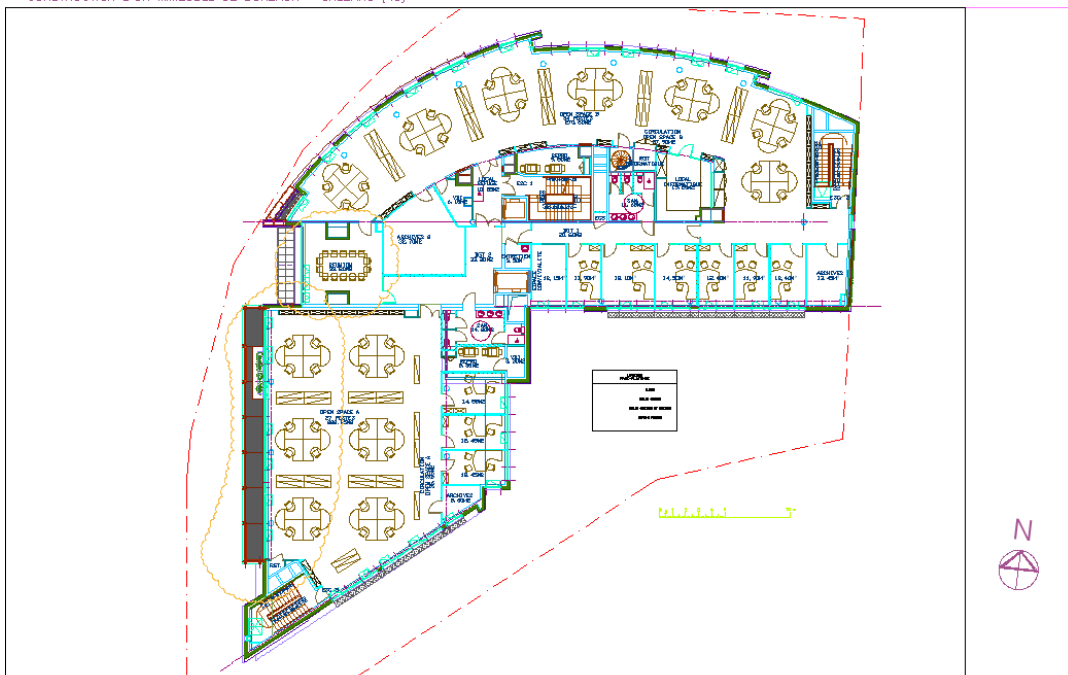
A5A ARCHITECTES

09/11/08

PLAN DU 2ème NIVEAU

• Plan du niveau 3

CONSTRUCTION D'UN IMMEUBLE DE BUREAUX ORLEANS (45)



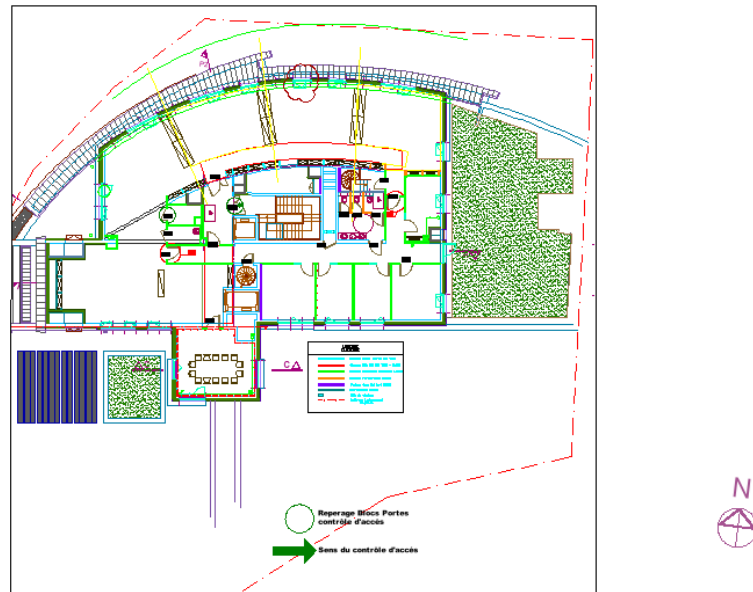
A5A ARCHITECTES

09/11/08

PLAN DU 3ème NIVEAU

- **Plan du niveau 4**

CONSTRUCTION D'UN IMMEUBLE DE BUREAUX ORLEANS (45)



A5A ARCHITECTES

06/05/09

PLAN DU 4ème NIVEAU

- **Webographie**

Site internet : Dupont Energain http://energain.fr/Energain/fr_FR/index.html