

Titre du chapitre

3.2.4.CV.0

Matériau à changement de phase

Présentation du produit et contexte d'utilisation

Les matériaux à changement de phase (MCP) ont pour propriété d'absorber ou de libérer une grande quantité de chaleur latente au cours de leur changement de phase du liquide au solide ou vice versa. Ce changement de phase se fait au-delà d'une certaine température caractéristique de chaque type de matériau.

3 types de matériaux sont utilisés pour les MCP solide-liquide : la paraffine (organique), les acides gras (organique) et les hydrates salins (inorganique).

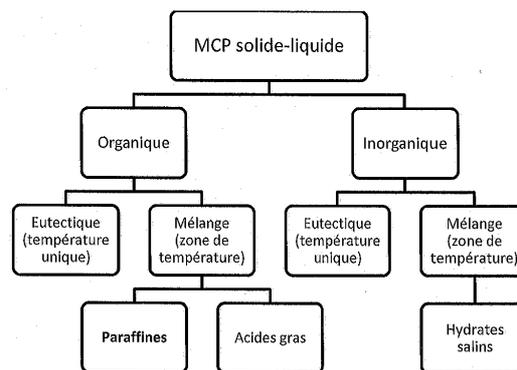


Figure 1 : Familles de matériaux de MCP

L'utilisation de la paraffine est la plus courante, les hydrates salins étant délaissés du fait de leur toxicité, de leur mauvaise transition de phase et de leur propension à la surfusion.

L'élaboration relativement récente des encapsulants pour les MCP a permis des applications innovantes de ces matériaux comme masse thermique interactive dans un bâtiment. Intégrés dans les murs, dalles du sol et plafonds, ils augmentent l'inertie thermique du bâtiment dans un encombrement minimal et en complément de l'isolation thermique. Leur utilisation est spécialement intéressante dans les bâtiments avec structures très légères, ou dans les projets de rénovation de bâtiments de faible inertie, spécialement lors d'isolation par l'intérieur. Dans les pièces équipées de MCP, il est alors possible d'écarter de 3° C à 5° C les températures extrêmes. Cela a pour conséquence l'amélioration du confort, et la limitation d'utilisation d'un système de rafraîchissement. Un système de ventilation nocturne associé permet de régénérer plus efficacement les MCP (relargage des calories).

Au-delà de cette utilisation passive, les MCP peuvent être également utilisés de manière active, par exemple : chauffe-eaux solaire individuels (amélioration de la stratification), chauffage sous plancher solaire-MCP, climatisation passive, intégration aux textiles (régulation thermique corporelle). Il est aussi possible de mettre en œuvre les MCP dans les bâtiments en couplant ce système avec une lame d'air ventilée, ce qui permettrait de contrôler le changement de phase. Actuellement, ce procédé n'est qu'en phase recherche.

Par la suite, les MCP ne sont décrits que dans le cadre de leur utilisation passive dans le bâtiment.

Fabricant et type

BASF : *Micronal® PCM* : paraffine dans des microcapsules de polymère incorporées dans des enduits (*Maxit Clima* développé par Maxit Deutschland GmbH), plaques de plâtre (*Micronal® PCM SmartBoard™* BASF de Knauf Gips KG) ou béton (*maxit CelBloc Plus®* de H+H Deutschland GmbH)

Dupont de Nemours : *Dupont Energain®* : composite paraffine/polyéthylène encapsulé dans des plaques. 2^{ème} génération de ce produit en cours de finalisation début 2009.

Caractéristiques physiques

Procédé de fabrication

Aucune communication de la part des industriels.

Composition (de l'intérieur vers l'extérieur)

A base de paraffine, d'acide gras ou d'hydrate salins (ce dernier composant étant aujourd'hui délaissé).

Peuvent être incorporés dans les pores d'un matériau porteur (imprégnation) ou conditionnés dans des billes de polymères microscopiques (microencapsulation) incorporées dans des matériaux, tels que plaque de plâtre, enduit, béton cellulaire, panneau sandwich, etc. De nombreux autres types de matériaux et de mises en forme sont à l'étude. On sait maintenant imprégner les MCP dans le plâtre, le béton, certains plastiques, et même dans une matrice de graphite, qui a l'avantage d'avoir une excellente conductivité thermique, mais qui est très friable (d'où des problèmes pour l'utilisation dans les bâtiments). Les MCP à transition solide/solide sont une seconde innovation à l'étude : ce sont des polymères hyperramifiés qui passent d'une phase solide à une autre en emmagasinant plus de chaleur que les solide/liquide. Le fait d'être toujours solides les rend très intéressants dans la construction, puisqu'ils sont beaucoup plus facilement conditionnables et utilisables tel quel.

- *Dupont Energain®* :

Mélange de polymère à base d'éthylène (40%) et de paraffine (60%), chimiquement stable, laminé de chaque côté par deux feuilles d'aluminium de 130 µm. Pour la 2^{ème} génération de produit, la teneur en paraffine sera de 80 % pour la même épaisseur.

Caractéristiques fonctionnelles

Avis Solidité / Structure

- *Dupont Energain®* :

Plaque de : 1 m x 1,2 m x 5,3 mm

Poids : 5,4 kg

Masse surfacique : 4,5 kg/m²

Épaisseur de l'aluminium (feuille) : 130 µm

Épaisseur de l'aluminium (bords) : 75 µm

Résistance des feuilles d'aluminium à la délamination : > 20 N/cm

Le copolymère retient la cire de paraffine même lorsque celle-ci a entièrement fondu. Il n'y a donc aucun risque que la cire de paraffine coule en raison d'une abrasion. Le revêtement en aluminium sert de support structurel pour le panneau.

- *Micronal® PCM SmartBoard™ BASF* :

Plaques de 2 m x 1,25 m x 15 mm

Poids : 11,5 kg/m²

Masse surfacique : 11,5 kg +/- 0,5 kg/m²

Charge de rupture transversale/parallèle : >=400 N / >=300 N

Flèche transversale/parallèle : <=2,5 mm / <=2,8 mm

Les capsules sont stables, trop petites pour être dégradées lors de coupure, perçage. Elles permettent également à la paraffine de conserver ses propriétés. Les changements d'états de la paraffine entraînent une variation de volume pouvant atteindre 10% pour la paraffine, d'où des contraintes au sein du polymère.

- *Généralement pour tous les MCP* :

Ils peuvent être certifiés ACERMI si la micro-encapsulation est effectuée à l'intérieur de familles d'isolants déjà certifiés ACERMI.

Avis Mise en œuvre

- *Dupont Energain®* :

Comparable à celle d'une plaque de plâtre classique, l'installation peut être effectuée sans problème par deux personnes, et requiert les outils généralement utilisés pour les panneaux de revêtement : instruments de découpe, marteaux, tournevis, pistolet à agrafes et double mètre.

Avant d'installer les panneaux sur le mur, chaque bord découpé (à l'aide de tout instrument coupant, l'utilisation de la scie électrique n'étant pas recommandée) ou abrasion sur la surface en aluminium doit être recouvert de ruban adhésif en aluminium, afin que le composant interne en copolymère et en paraffine soit entièrement protégé.

Se pose sur les murs, les plafonds intérieurs d'un bâtiment, les ossatures (en bois, en aluminium ou en acier) entre l'isolant et la plaque de plâtre.

Utiliser des gants pour éviter les coupures (aluminium)

Pour les applications qui ne servent pas également au pare-vapeur, il n'est pas nécessaire de coller les joints entre les panneaux.

Si l'utilisation se fait en lieu et place du pare-vapeur, le panneau doit être installé avec les mêmes précautions qu'un pare-vapeur, notamment en appliquant du ruban adhésif spécial en aluminium sur les joints pour raccorder les panneaux adjacents.

Il est important de laisser une distance de 40 cm minimum entre les panneaux et tout dispositif de chauffage. Une distance de 10 cm est recommandée pour les prises électriques et le luminaire.

Lorsqu'il n'est pas possible d'installer un panneau (derrière un radiateur par exemple), l'endroit pourra être recouvert d'un panneau en bois, en composite ou similaire, ou d'une latte de 5 mm d'épaisseur afin de pouvoir poser la plaque de plâtre au même niveau. Il peut être installé par toute température, hiver comme été. Un stockage permanent à plus de 40 °C est à éviter.

Avis Réglementation / Sécurité / Incendie / ERP

- Dupont Energain® : la feuille et le ruban d'aluminium font office de barrière au feu.

Test à l'aide d'une source de flamme unique EN 11925-2 : Classe E

Test de propagation de la flamme sur la surface BS476 part7 : classe 1

BS476 part 7 & BS476 part 6 (derrière la plaque de plâtre) Building Regulations (AD B) : Classe 0

- Micronal® PCM SmartBoard™ BASF : Euroclasse E correspondant à B2 d'après DIN 4102 partie 1

Confort et Energie

Thermique

Utilisation de la chaleur latente plutôt que de la chaleur sensible car contenu énergétique élevé par unité de masse nécessitant ainsi un volume de stockage plus réduit. L'avantage est que l'effet a lieu de manière concentrée quand la température devient trop importante. Ainsi, le MCP apporte une réponse intéressante par rapport aux matériaux de matériaux conventionnels, qui se réchauffe linéairement lorsque la température augmente.

En principe, les MCP peuvent être fabriqués pour n'importe quel température de changement de phase, à savoir :

- 21,5°C si acide gras
- 25 °C si paraffine
- 27°C si hydrate salin.

Propriété thermiques :

- Dupont Energain® :

Chaleur latente > 70 kJ/kg

Chaleur totale (Température entre 14 et 30 °C) > 170 kJ/kg

Stockage de chaleur latente : 315 kJ/m²

Température de fusion : 21,7 °C (mais en réalité il faut considérer qu'il y a un intervalle de fusion autour de ce point)

Conductivité solide : 0,18 W/(m.K)

Conductivité liquide : 0,14 W/(m.K)

Point d'inflammabilité (paraffine) : 148 °C

Masse thermique équivalente à celle d'une couche de briques de 15 cm d'épaisseur

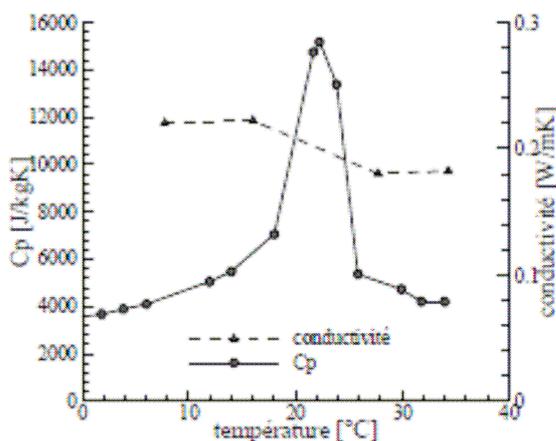


Figure 2 : Evolution de la conductivité et du Cp d'Energain® en fonction de la température

- Micronal® PCM :

La capacité d'absorption d'un enduit classique contenant un tiers de Micronal® PCM est égale à celle d'un mur de briques creuses de 23 cm d'épaisseur.

Dénomination	Type de produit	T° fusion	Utilisation	Domaine d'intégration	Capacité de stockage totale	Chaleur latente	Part matériaux solides	Densité	Masse vol.	Viscosité
DS 5000	Dispersion	26 °C	Protection contre surchauffes estivales	10-30 °C	59 kJ/kg	45 kJ/kg	ca. 42 %	ca. 0,98		ca. 200-600 mPas
DS 5007	Dispersion	23 °C	Stabilisation de la température ambiante dans le domaine de confort ; Utilisation active et passive	10-30 °C	55 kJ/kg	41 kJ/kg	ca. 42 %	ca. 0,98		ca. 200-600 mPas
DS 5030	Dispersion	21 °C	Système frigorifique	10-30 °C	51 kJ/kg	37 kJ/kg	ca. 42 %	ca. 0,98		ca. 200-600 mPas
DS 5001	Pulvér	26 °C	Protection contre surchauffes estivales	10-30 °C	145 kJ/kg	110 kJ/kg	pulverförmig		ca. 250-350 kg/m³	
DS 5008	Pulvér	23 °C	Stabilisation de la température ambiante dans le domaine de confort ; Utilisation active et passive	10-30 °C	135 kJ/kg	100 kJ/kg	pulverförmig		ca. 250-350 kg/m³	
DS 5029	Pulvér	21 °C	Système frigorifique	10-30 °C	125 kJ/kg	90 kJ/kg	pulverförmig		ca. 250-350 kg/m³	

Figure 3 : Tableau descriptif des différents produits Micronal® PCM

- **Micronal® PCM SmartBoard™ BASF :**

Panneaux 23 / panneau 26 : température de fusion 23°C / 26°C

Capacité de chaleur latente : environ 330 kJ/m² soit la capacité thermique équivalente d'un mur de briques avec un épaisseur de 12 cm ou de 9 cm de béton.

Capacité thermique spécifique : environ 1,2 kJ/(kg.K)

Lambda : environ 0,18 W/(mK)

- **Maxit Clima :**

Une couche de 3 cm de l'enduit maxit clima correspond à la capacité thermique de 8 cm de béton, de 13 cm de plâtre ordinaire ou de 29 cm de briques creuses.

Amélioration du confort :

Les effets sur le confort sont :

- une réduction de la température maximale de l'air
- une augmentation du confort thermique du à une température de surface du mur plus basse.

L'utilisation d'un matériaux à changement de phase doit être couplée à :

- une surventilation nocturne, afin de décharger le matériaux la nuit de la chaleur emmagasinée le jour.
- une régulation précise afin de ne pas atteindre en hiver la température de changement de phase
- une bonne isolation.

- **Dupont Energain® :**

Améliore le confort surtout l'été : permet de gagner 4 à 7 ° C lors d'un pic de température par rapport à la même pièce sans inertie et sans Energain®.

Une analyse plus fine des gains passe par une simulation thermique dynamique avec le logiciel CODYBA du CETHIL de Lyon.

Résultats expérimentaux avec Energain® :

a) Cloisons ou partitions chargées de MCP - Évaluation du comportement énergétique d'un bureau selon la norme CEN/TC89/WG6 N.225 rev. Expérimentation : bâtiment HELIO Lyon : MCP dans parois (derrière plâtre) et dans faux plafond. Résultat des simulations et du suivi : amélioration du confort (notamment l'été), diminution des besoins de chauffage (-10%) et de rafraîchissement (-20%)

b) MINIBAT : les murs composite MCP permettent l'amélioration du confort en été, avec diminution de la température maximale de 4°C et le minimum augmente de 1°C. Un autre effet est l'amélioration de la convection naturelle permettant d'avoir un mixage de l'air de la pièce et une diminution de la stratification thermique.

c) Test ETNA : Baisse maximale de la température de 5,4 °C.

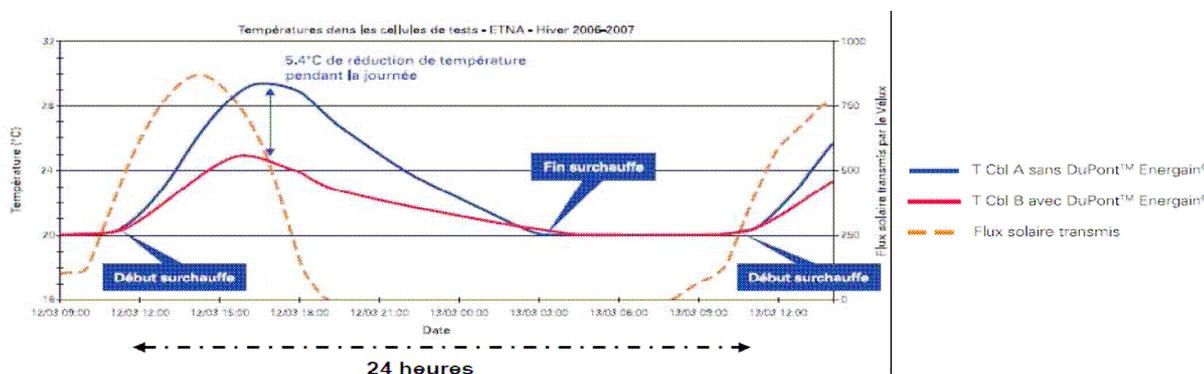


Figure 3 : Résultat test ETNA mars 2007 - évolution de la température dans les cellules de test avec et sans

Vieillisement :

Globalement, très peu de changement avec le vieillissement (très faible déplacement du point de fusion).

- *Micronal® PCM* :

Après 10 000 cycles, pas de changement observé : microcapsules imperméables et MCP ont la même chaleur latente qu'au début du test. En considérant 300 changements de phase par an, ces 10 000 cycles correspondent à une durée de vie minimale attendue de plus de 30 ans.

- *Dupont Energain®* :

Baisse de l'efficacité du produit de 2% après 2 000 utilisations.

Acoustique

- *Dupont Energain®* : Améliore l'indice d'affaiblissement acoustique basse fréquence (<250 Hz) de 28% en moyenne, haute fréquence (> 250 Hz), de 9% en moyenne

Visuel

- *Dupont Energain®* : n'est pas visible car mis en place derrière une plaque de plâtre.

Olfactif

La paraffine n'a pas d'odeur alors que les acides gras en ont une.

Approche financière

Investissement (prix avec référence de lieu et de date)

Environ 50 € / m² (source CSTB, 2007).

Mise en œuvre (compétences particulières)

Pas de compétence particulière (faciles à mettre en œuvre dans le neuf comme en réhabilitation).

Traitement

Aucun.

Entretien

Aucun.

Présentation graphique

- **Energain® de Dupont de Nemours :**



Figure 4 : Energain® de Dupont de Nemours

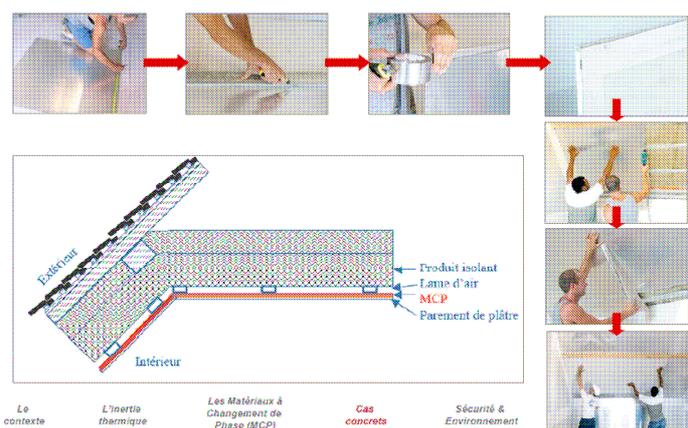


Figure 5 : Mise en œuvre d'un panneau Energain® sous les combles

- **BASF : Micronal® PCM :**

■ Microencapsulated PCMs are not affected by this problem.

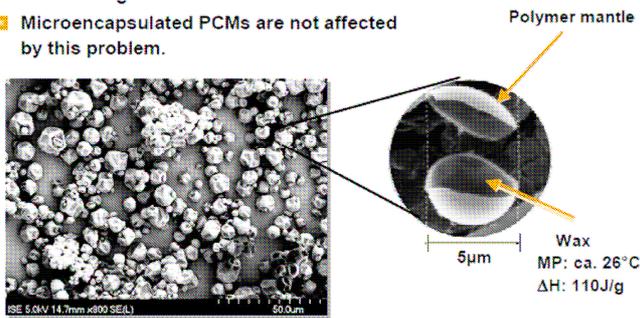


Figure 7 : Micro-encapsulation : Micronal® PCM



Figure 6 : Micronal® PCM en phase liquide ou solide (poudre)



Figure 10 : Micronal® PCM SmartBoard™ BASF



Figure 9 : CelBloc Plus : Micronal® PCM incorporé dans les blocs de construction



Figure 8 : maxit clima : enduit de plâtre avec Micronal incorporé

Caractéristiques environnementales

Origine des produits (naturelle, synthétique, recyclage)

A partir de dérivés du pétrole.

Caractéristiques sanitaires et santé (micro-organisme, émission COV, radioactivité, fibres...)

Les impacts sur la santé (dont en particulier les émissions de COV) ne sont pas connus.

- **Dupont Energain®** : Le produit ne présente pas de risque pour la santé. Ils sont sûrs d'utilisation et ne contiennent aucune substance toxique. Matériaux inertes. Les contacts avec la peau, pendant l'installation par exemple, ne présentent aucun danger, quelle que soit la température¹.

Éléments d'ACV (contexte local, recyclage)

Pas d'éléments d'ACV connus à ce jour.

- **Dupont Energain®** : Recyclable à 100% : en production : 100%, en fin de vie : 100% (réutilisation après tri, matière première ou valorisation énergétique)².

Nuisances (emballage, déconstruction, déchets, types de déchets)

Pas d'éléments connus à ce jour.

Entretien Maintenance

Pas d'entretien - maintenance particulier.

¹ Informations fabricant

² Informations fabricant

Conclusions, Synthèse, avantages/désavantages

Les avantages sont les suivants :

- Ses propriétés thermiques intéressantes :
 - Apport d'inertie à un bâtiment avec faible encombrement (ce qui peut être particulièrement intéressant lors de réhabilitation)
 - Amélioration du confort due à :
 - une réduction de la température maximale de l'air
 - une augmentation du confort thermique due à une température de surface du mur plus basse.
- L'amélioration du confort n'est réalisable que sous condition que l'utilisation de MCP soit couplée à une surventilation nocturne, une régulation précise et une bonne isolation.
- Ses formes diverses : microcapsules intégrés dans des enduits, des plaques de plâtre, du béton ou mélange de polymère laminé de chaque côté par deux feuilles d'aluminium.
- Manipulation aisée des plaques.

Les inconvénient sont les suivants :

- Du point de vue de la maturation du produit : leur diffusion dans les bâtiments est encore limitée ce qui limite le retour d'expérience. De plus, peu de produits existent sur le marché. L'intégration dans les outils de simulation permettra leur essor.
- Du point de vue technique : alors que, pour une utilisation dans les bâtiment, les matériaux avec température de changement de phase autour de 25° sont à privilégier (température de confort), les produits changent actuellement de phase plutôt autour de 22°C. De plus, il faudrait un produit spécifique en fonction du lieu géographique et du bâtiment. Ainsi, il est encore nécessaire d'approfondir le comportement des MCP en situation réelle et d'optimiser leur mise en œuvre en fonction :
 - du climat, de l'orientation
 - de l'épaisseur, du type de MCP
 - de leur conditionnement.

De plus, l'utilisation passive dans les bâtiments ne permet pas de contrôler le changement de phase.

- Du point de vue réglementaire : ils ne disposent pas d'avis technique.
- Du point de vue sanitaire et environnemental : aucune ACV n'est connue à ce jour et quelques points particuliers doivent encore faire l'objet d'améliorations et de recherches spécifiques comme la caractérisation des produits secondaires éventuellement émis (nocivité potentielle) en particulier concernant les COV et le conditionnement.

Bibliographie

Articles :

Note de veille technique : nouveaux isolants thermiques, 2006, CNIDEP

Construction et réhabilitation de bâtiments pour les services urbains du Grand Lyon – solutions passives et matériaux à changement de phase (MCP), GRAND LYON

Dossier de presse Batimat 2007 - Plate-forme d'échange et d'information sur la performance des bâtiments et sur l'innovation, 2007, CSTB, BATIMAT

Effect of MCP in Internal Temperature : Experiments in the Test Room MINIBAT, CETHIL, INSA Lyon, UCBL

Site web :

<http://energain.fr> : site du produit DuPont™ Energain®

<http://www.basf.fr/> : site du fabricant BASF

Autres :

Entretien avec Frédéric Kuznik, maître de conférences, département Génie Civil & Urbanisme de l'INSA Lyon, CETHIL

Forum de professionnels d'EnviroBAT Méditerranée

Travaux de recherches terminés ou en cours en France

Les projets du CSTB (avec autres partenaires) :

Projet ADEME –MCP (2004- 2007) : évaluer l'impact de paroi contenant du MCP sur la température intérieure : petites cellules de 1m3 (paramètre : quantité de recouvrement des parois par des MCP).

Projet MCP ENVHY (enveloppe hybride) (2006-2008): cellule avec structure bois et enveloppe entièrement ventilée avec collecteur solaire à air en façade sud et MCP à l'intérieur (environ 12 m² de 2,5 cm). Importante isolation : 2 cm de VIP et 2 cm de PU (polyuréthane). Objectif : augmenter le confort des habitants en réduisant les variations de température dans le bâtiment grâce au transport de l'air dans l'enveloppe ventilée.

ETNA (Essais Thermiques en climat Naturel ou Artificiel) : DuPont™ Energain® - Test grandeur réelle Région parisienne / août 2006 - avril 2007 – DuPont.

IMCPBAT (Intégration des MCP dans les bâtiments) (2006 - 2008). Partenariat avec Dupont De Nemours. Projet MINIBAT : évaluation de l'impact du produit Energain® sur 2 sites pilotes (près de Lyon) : une réhabilitation d'un bâtiment de bureaux en structure légère avec un bureau pilote (Helios) et un bâtiment neuf. Développement de l'outil CODYBA.

RENOKIT (Kit de rénovation) Partenariat avec l'ADEME (et CTBA,...) : réhabilitation d'un bureau avec un kit de rénovation prêt à être posé.

INERTRANS (2008-2011) : développement d'un mur avec brique de verre remplie de MCP et d'un isolant translucide.