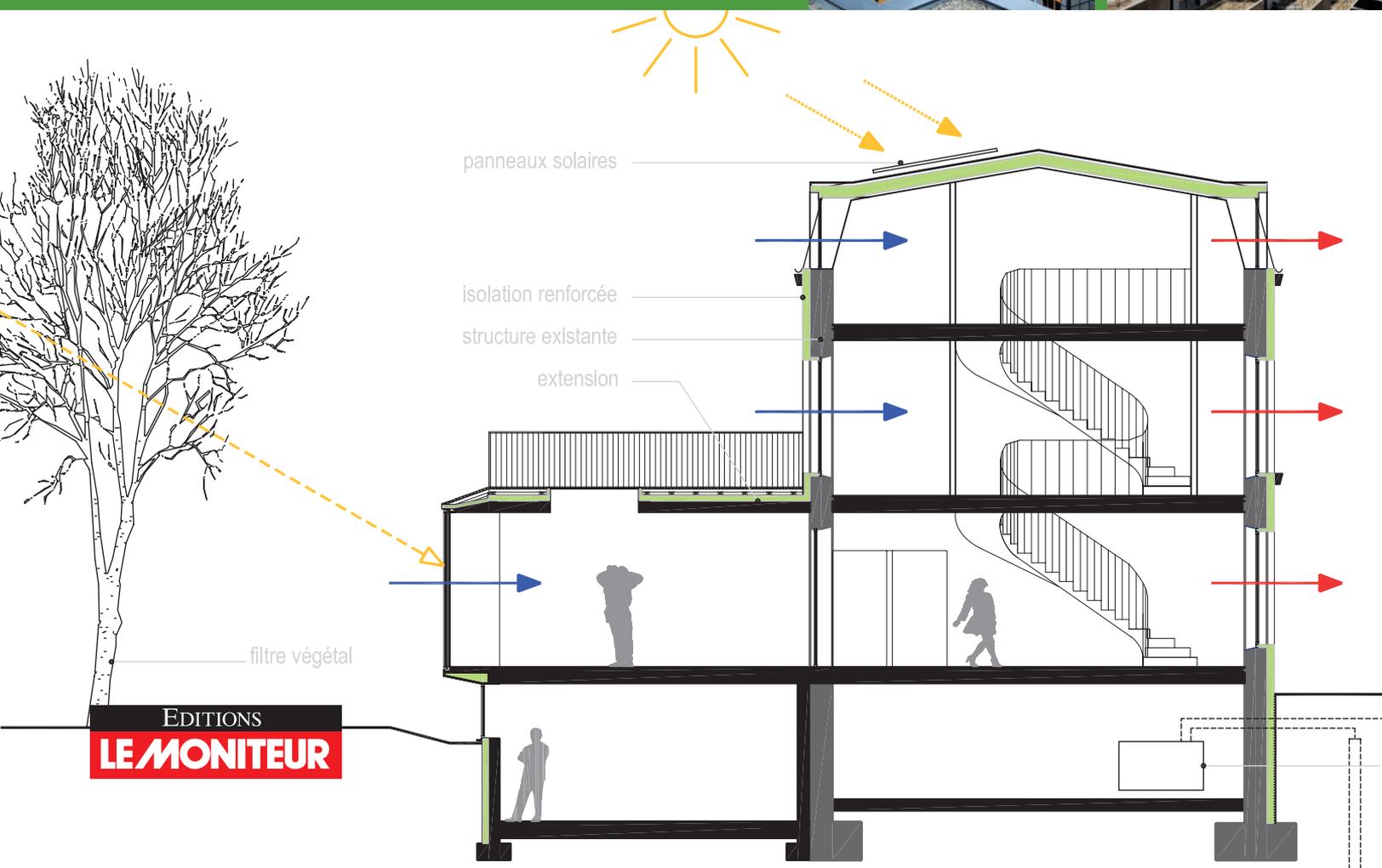


RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE DES LOGEMENTS

Catherine Charlot-Valdieu | Philippe Outrequin
Préface d'Hélène Peskine

2^e édition

- Enjeux et techniques
- Démarches innovantes
- Des opérations exemplaires décryptées



Préface

La France et le monde, au travers de l'accord universel de Paris sur le climat adopté à la COP21 en décembre 2015, se sont engagés dans la transition énergétique. Il s'agit de retrouver un mode de développement en adéquation avec les ressources que notre planète peut offrir, sans interdire aux plus fragiles l'accès au confort et au développement. Pour cela, il faut mobiliser résolument deux leviers : la sobriété énergétique et le recours aux énergies renouvelables.

La transition énergétique est un projet mondial de solidarité. En France comme ailleurs, elle ne peut s'entendre que si le progrès environnemental qu'elle génère – à l'échelle locale comme globale – est porteur de progrès social. Vecteur de développement économique lorsqu'elle réduit les charges des entreprises, source de prospérité durable par les emplois qu'elle crée dans les nouvelles énergies, porteuse de bien-être environnemental par la diminution de la pollution, la transition énergétique peut être également un outil de lutte contre la précarité des personnes et des biens. Les habitants (locataires ou propriétaires) des logements privés doivent être accompagnés dans la dynamique de la rénovation énergétique. Les économies d'énergie (donc de facture) et les gains de confort que procure la rénovation des logements sont les bénéfices collectifs redistribués de la transition énergétique dans le bâtiment. C'est pourquoi les pouvoirs publics ont mis en place depuis plusieurs années des aides financières et des dispositifs d'accompagnement pour les stimuler. Ainsi une augmentation de la fiscalité carbone est apparue socialement acceptable et la France est entrée dans une trajectoire vertueuse de réduction de son empreinte énergétique et climatique, comme le prévoit l'article 1^{er} de la Loi de transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) du 17 août 2015.

Le secteur du bâtiment est clé dans la maîtrise des consommations d'énergies. En France, il est en effet le premier poste de consommation d'énergie (45 %), devant les transports (33 %), l'industrie (19 %) et l'agriculture (3 %). Le chauffage constitue la principale dépense énergétique (65 % de l'énergie finale consommée dans les résidences principales). Renforcer la réglementation sur les constructions neuves (qui se renouvellent au rythme de 1 % du parc chaque année) ne suffit pas à répondre à l'enjeu de réduire cette dépendance, loin s'en faut. Complémentaires et néanmoins prometteurs, le développement rapide des nouvelles technologies intelligentes de gestion active des consommations, l'intégration au bâti d'énergies propres en autoconsommation et bientôt le stockage ne sont pas en mesure d'y répondre non plus, quand l'essentiel du gisement est dans le bâti existant.

Un bâtiment ancien consomme en moyenne 240 kWh/(m². an), principalement pour le chauffage. Un bâtiment neuf aux normes passives en consomme moins de 15. Outre l'incitation financière ou fiscale, la qualité des rénovations énergétiques des logements est donc cruciale pour espérer atteindre l'objectif ambitieux que se fixe la France de disposer en 2050 d'un parc de logements entièrement rénové au niveau bâtiment basse consommation (BBC). C'est tout l'intérêt de cet ouvrage que de présenter les bonnes pratiques de la rénovation énergétique, au bénéfice des particuliers comme des professionnels.

Hélène PESKINE
Secrétaire permanente
du Plan Urbanisme Construction et Architecture (PUCA)

Sommaire

Préface d'Hélène PESKINE Secrétaire permanente du PUCA	5	L'énergie et le logement : une dépense contrainte en expansion	30
Avant-propos	9	L'accès au logement	31
Les difficultés de la réhabilitation énergétique des logements	12	La priorité donnée à la lutte contre la précarité énergétique	31
Les freins à une réhabilitation énergétique massive des logements	12		
Les propositions de l'Ademe pour favoriser la massification de la rénovation énergétique	16		
PARTIE I			
LES ENJEUX ET LES TECHNIQUES DE RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE	20		
1. Un cadre législatif en évolution vers la transition énergétique mais peu mis en avant par les collectivités locales	21	3. Le marché de la rénovation énergétique	37
La loi Grenelle 1 du 3 août 2009	21	Le marché en 2016	37
La loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010 dite loi portant Engagement national pour l'environnement (ENE)	21	Les perspectives	38
La directive européenne sur la performance énergétique des bâtiments ou EPBD (2010–2012)	22	La rénovation énergétique, moteur de la croissance économique	38
La loi de transition énergétique pour la croissance verte et l'accord de Paris (2015)	22	Le coût global comme méthode de mesure des gains de productivité du bâtiment	40
De nouveaux objectifs européens (2016-2017)	22	Les équipements de performance énergétique comme moteur de croissance	41
La stratégie française de rénovation énergétique des bâtiments (avril 2017)	22	Les effets sur la balance commerciale	41
La stratégie nationale bas-carbone (SNBC, 2015)	22	L'impact macroéconomique des modes de financement des travaux	43
La feuille de route du Gouvernement (2017) et le Plan rénovation énergétique des bâtiments (2018)	25	4. Pourquoi réhabiliter ?	45
2. Les enjeux de la réhabilitation énergétique des logements	27	Énergie, confort et sécurité	45
Le parc de logements en France	27	Énergie et santé	45
La consommation d'énergie finale du secteur résidentiel	27	Énergie et réduction des charges	46
Des niveaux de consommation d'énergie très inégaux	28	Énergie et image du bâtiment	47
Un enjeu économique pour les ménages : 49 milliards d'euros dépensés pour l'énergie dans le logement	30	Énergie et insertion du bâtiment dans le quartier	49
		Un besoin de diagnostic global	49
		Quand déclencher des travaux de réhabilitation énergétique	51
		5. Comment réhabiliter ?	55
		Prendre en compte les facteurs techniques prépondérants en réhabilitation	55
		Respecter la réglementation thermique des logements existants	55
		La nécessité d'une approche intégrée	59
		Les principes de base pour tout processus de réhabilitation	60
		6. Améliorer la gestion de l'énergie : sobriété, réduction des coûts et confort	61
		La mesure de la performance énergétique (MPEB) ou le comptage de l'énergie	61

La gestion énergétique du logement ou de l'immeuble	62	11. La rénovation passive et le facteur 10	119
Des gestes verts pour le logement	63	Qu'est-ce qu'un bâtiment passif ?	119
Des économies d'électricité à réaliser dans les parties communes	64	12. Mesurer la performance énergétique	127
7. Repenser la thermique du bâtiment	67	Les outils de calcul disponibles	127
Isoler l'enveloppe et réduire les besoins	67	Contrôler et mesurer la performance énergétique	130
Penser aux apports solaires gratuits et au confort d'été	79	13. Éléments constitutifs d'une stratégie énergétique territoriale	133
Exiger le confort et la santé : renouvellement d'air et qualité de l'air intérieur	84	Des scénarios pour une réhabilitation énergétique durable comme éléments de prospective	133
Améliorer l'efficacité énergétique avec les générateurs de chaleur	86	Les documents d'urbanisme et de planification	134
8. Favoriser le développement des technologies innovantes ou à venir	91	Mieux connaître les enjeux énergétiques locaux	138
Les parois opaques à haute performance énergétique : le manteau technique intelligent	91	Identification des gisements d'économies d'énergie	141
Les parois transparentes à haute performance énergétique	92	L'exemple d'une stratégie territoriale : la CALI	145
Le stockage de la chaleur et les matériaux à changement de phase	92	14. Calculer la rentabilité des investissements	155
Les systèmes compacts (pour les rénovations importantes)	95	L'approche financière	155
Le rafraîchissement basse consommation	96	L'approche macroéconomique ou sociétale	157
La production décentralisée de chaleur à l'échelle du quartier	96	L'optimisation de la réhabilitation énergétique	163
La récupération de la chaleur	98	15. Une feuille de route pour chaque acteur du territoire	169
Le logement connecté	100	Les collectivités territoriales	170
9. Intégrer les énergies renouvelables	103	Les copropriétés	174
La biomasse	103	Les bailleurs sociaux	177
Le solaire (thermique et photovoltaïque)	104	Les acteurs institutionnels	179
La géothermie	109	L'ingénierie technique, économique et architecturale	179
Les éoliennes domestiques	109	Les opérateurs énergétiques	180
		Les entreprises : installateurs, artisans, entreprises de construction, promoteurs	180
		Les partenaires financiers non institutionnels : banques et assurances	181

PARTIE II QUELLES PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES AVEC QUELLES STRATÉGIES ?

10. La rénovation BBC	113
Les niveaux de performance requis	113
Les labels	113
Une étude d'Effinergie portant sur 18 000 logements	113
Le coût des travaux selon une étude du Cerema sur les maisons en Alsace	117

PARTIE III DES OPÉRATIONS DE RÉHABILITATION EXEMPLAIRE

OPEX 1	Deux exemples d'extension et de surélévation en béton de chanvre	185
OPEX 2	Réhabilitation passive d'un pavillon des années 1970	189
OPEX 3	Rehafatur 2 : rénovation à coûts maîtrisés d'un patrimoine classé	198
OPEX 4	Réhabilitation passive d'une maison Art nouveau en Californie	207

▶ OPEX 5 Réhabilitation passive et transformation d'un foyer pour personnes âgées en logements avec une crèche en rez-de chaussée	217	▶ OPEX 11 Une des premières réhabilitations passives de bâtiments résidentiels privés en Europe	265
▶ OPEX 6 Rénovation BBC d'un immeuble de logements sociaux avec création de six logements sur le toit	225	▶ OPEX 12 Réhabilitation passive de 16 bâtiments de logements sociaux des années 1970	272
▶ OPEX 7 Réhabilitation BBC+ de 36 logements sociaux construits en 1974	232	▶ OPEX 13 Transformation avec extension en béton cellulaire d'une friche industrielle en logements et bureaux passifs par un promoteur privé	287
▶ OPEX 8 Transformation d'une maison de maître de 1900 en centre-ville en quatre logements passifs	237	▶ OPEX 14 Une stratégie patrimoniale de réhabilitation gagnant/gagnant : Paris Habitat	295
▶ OPEX 9 Réhabilitation passive de grands ensembles des années 1950-1970 : du fioul et charbon à l'énergie solaire	248	De nombreuses pistes de progrès pour la transition énergétique	311
▶ OPEX 10 Réhabilitation-extension par un promoteur privé d'un immeuble de bureaux en 85 logements et 5 espaces tertiaires passifs	255	Sigles et abréviations	315
		Glossaire	317
		Références bibliographiques	320

Avant-propos

En 2011, nous avons rédigé la première édition de *La réhabilitation énergétique des logements* dans le contexte du Grenelle de l'Environnement. Nous présentions alors les enjeux, les techniques et les stratégies de rénovation énergétique des logements. À l'époque, les actions menées par les collectivités locales, les premiers « Plans Climat » notamment, traitaient davantage de sensibilisation des consommateurs, appelés aussi à devenir des acteurs de la transition énergétique.

Depuis 2011, la loi relative à la transition énergétique pour la croissance verte (LTECV) et la COP 21 ont permis de renforcer les engagements de l'État pour atteindre le facteur 4 : une division par 4 des émissions de CO₂ d'ici 2050 par rapport à celles de 1990. L'évolution des techniques permet désormais de dépasser cet objectif et d'atteindre un facteur 10.

En 2018, la rénovation énergétique des logements est devenue une réalité. Certes les objectifs quantitatifs ne sont pas encore atteints mais la feuille de route de l'État et les engagements de nombreuses collectivités territoriales montrent que l'urgence environnementale (gaz à effet de serre ou GES) et l'urgence économique (précarité énergétique, dépendance énergétique de la France...) s'intègrent de plus en plus dans l'ensemble des politiques publiques. Ces engagements se déclinent dans des opérations de rénovation très performantes associant énergie, confort et qualité d'usage des logements.

Pour cette deuxième édition, nous avons donc décidé de modifier le plan de l'ouvrage et de mettre l'accent sur les opérations de rénovation exemplaire menées par des maîtres d'ouvrage (propriétaires ou gestionnaires de parc) ayant pour objectif énergétique un niveau de performance très élevé, allant parfois jusqu'au facteur 20.

Présenter les choix techniques possibles et surtout les stratégies envisageables à travers des pratiques innovantes a pour but d'aider à la mise en œuvre des politiques locales ou patrimoniales de rénovation énergétique.

Du facteur 4 au facteur 10, montrer que cela est possible dans des conditions économiques et sociales acceptables tout en respectant la qualité d'usage ainsi que la qualité

architecturale et urbaine, tel est l'objectif de cet ouvrage. Nous espérons ainsi contribuer à asseoir encore davantage les bases de la transition énergétique avec, à la fois, des économies pour les ménages, des économies d'énergie pour la balance commerciale et un bénéfice pour la planète (émission de GES).

LE PLAN DE L'OUVRAGE

Après une introduction sur les difficultés de la réhabilitation énergétique des logements¹, l'ouvrage se présente en trois parties :

– La partie I *Les enjeux et les techniques de réhabilitation énergétique* aborde le contexte législatif, les enjeux, le marché, l'origine des travaux (pourquoi réhabiliter ?) et les techniques de réhabilitation.

– La partie II *Quelles performances énergétiques avec quelles stratégies ?* traite des niveaux de performance à atteindre et des outils de mesure et de contrôle de cette performance, de l'élaboration des stratégies territoriales et patrimoniales et enfin de la rentabilité des investissements.

Ces parties I et II sont illustrées de nombreux exemples (cf. tab A.1 ci-après).

– La partie III *Des opérations de réhabilitation exemplaire* (ou OPEX) présente des opérations de réhabilitation exemplaire et des stratégies patrimoniales afin de montrer ce qu'il est possible de faire ou de mettre en œuvre. Une réhabilitation est exemplaire lorsqu'elle concerne à la fois le confort et la qualité d'usage des logements, leur qualité environnementale et sanitaire, leurs performances énergétiques et une minimisation des coûts pour le maître d'ouvrage et l'occupant (charges énergétiques). Dans cette partie nous mettons en avant, parmi ces opérations de réhabilitation exemplaire, celles qui atteignent des performances énergétiques remarquables.

Enfin en conclusion nous revenons sur les pistes de progrès pour la transition énergétique et la ville post-carbone.

Le livre comprend également un glossaire et une bibliographie qui permettront au lecteur de compléter si besoin sa recherche d'informations.

Tab. A.I Exemples d'opération ou d'outil stratégique (en plus des OPEX présentées en partie III)

	Exemples	Principales caractéristiques
Partie I – Les enjeux et les techniques de réhabilitation énergétique		
Chap. 2	Barcelone (Espagne)	Réhabilitation globale d'un bâtiment du patrimoine ancien (1890) dégradé de centre-ville
Chap. 4	RECOBAT et RECORES	Méthodes de diagnostic global (dont la qualité d'usage) d'une copropriété ou d'un bâtiment résidentiel intégrant l'énergie et l'eau dans tout programme de réhabilitation avec application aux résidences sociales d'ADOMA
Chap. 4	Maison de jeunes en Italie	Transformation (avec extension) d'un oratoire paroissial (construit en 1920) en maison de jeunes
Chap. 7	Maison à Vincennes (94)	Réhabilitation - extension avec ITE d'une maison ancienne nécessitant l'accord de l'ABF
Chap. 7	Patrimoine dégradé de centre-ville (Lyon, 69)	Réhabilitation performante de logements anciens dégradés de centre-ville en zone de protection du patrimoine par un bailleur social
Chap. 8	Production décentralisée de chaleur à Gand	Dans le cadre de son projet d'économie circulaire, la ville de Gand (Belgique) favorise les micro-réseaux de chaleur
Chap. 8	Récupération de la chaleur des eaux usées (ICF La Sablière)	Récupération de la chaleur des eaux usées directement dans les bâtiments à l'aide d'un récupérateur de chaleur sur eaux usées et d'une pompe à chaleur eau/eau sur un bâtiment
Chap. 8	Bâtiment 22-26 (Autriche)	Un bâtiment mixte (restaurant et hall d'exposition, bureaux et logements) zéro énergie, sans système de chauffage ni de climatisation ou refroidissement
Chap. 9	Intégration de panneaux PV en façade	Opération GIWOG avec des panneaux de façade préfabriqués intégrant des panneaux photovoltaïques (PV) pour le préchauffage de l'air de la VMC double flux et le préchauffage de l'ECS
Partie II – Quelles performances énergétiques avec quelles stratégies ?		
Chap. 10	Deux opérations BBC Effinergie Rénovation	Une opération soutenue par l'Anah dans le Jura et un bâtiment de Pas-de-Calais Habitat
Chap. 11	Réhabilitation EnerPhit avec extension passive	Réhabilitation d'une maison typique des années 1990 avec extension en ossature bois avec isolation paille industrialisée
Chap. 12	Synergie du PHPP avec la STD	Maison de l'Énergie (House of Energy) à Kaufbeuren et un bâtiment multifonctionnel à Friedrischafen (Allemagne)
Chap. 13	PLU de Paris	Lien avec le PCAET
Chap. 13	PLH de Rennes Métropole	Engagement dans le standard passif (label Passivhaus) et la généralisation de l'analyse en coût global
Chap. 13	PLH du Grand Besançon	Soutien financier à la réhabilitation énergétique
Chap. 13	PCAET d'Est Ensemble – Grand Paris	Élaboration d'un PLUi facteur 4 et participation à la SEM Energies Posit'if
Chap. 13	Préservation du patrimoine ancien à Lyon	Préservation du patrimoine sur un quartier, rue Saint Jean (opération de Grand Lyon Habitat)
Chap. 13	Communauté d'Agglomération du Libournais (CALI)	Stratégie de réhabilitation de logements économiquement et socialement acceptable à l'échelle du territoire
Chap. 13	Modèle CALAQ d'analyse en coût global	Modèle croisant analyse des logements et analyse des occupants pour une stratégie de réhabilitation de logements économiquement et socialement acceptable
Chap. 14	Modèle SEC	Intégration des aides et subventions dans l'analyse en coût global
Chap. 15	Auto-réhabilitation à Bègles	Aide à l'auto-réhabilitation
Chap. 15	SEM Energies Posit'if	Tiers financement pour la réhabilitation énergétique de copropriétés et de logements sociaux en Ile de France
Chap. 15	SPEE de Picardie	Service public de performance énergétique (SPEE)
Chap. 15	Opération Mur-Mur à Grenoble	Action adossée au Plan Climat pour la rénovation énergétique de copropriétés
Chap. 15	Chèque Normandie pour favoriser la massification de la rénovation BBC	Une stratégie territoriale pour la réhabilitation énergétique de maisons individuelles
Chap. 15	Réhabilitation BBC d'une copropriété	Réhabilitation de la Résidence du Parc à Soisy-Sous-Montmorency (95) au niveau BBC grâce au dispositif Energies POSIT'IF

	Exemples	Principales caractéristiques
Partie III – Des opérations de réhabilitation exemplaire		
OPEX 14 Paris Habitat	Résidence Bolivar Chauffourniers Moreau (75019)	Réhabilitation de plusieurs bâtiments HBM totalisant 473 logements
	Résidence Village Emeriau (75015)	Réhabilitation d'un bâtiment R+I3 construit en 1973
	Résidence Kellerman (75013)	Réhabilitation d'un bâtiment construit en 1980
	Résidence Glacière Daviel (7513)	Réhabilitation de 8 bâtiments dont 3 tours totalisant 754 logements et 19 commerces
	Résidence Meaux Armand Carrel (75019)	Réhabilitation de plusieurs bâtiments totalisant 425 logements construits en 1957

À PROPOS DES AUTEURS

Catherine Charlot-Valdieu et Philippe Outrequin sont deux économistes de formation. Ils travaillent ensemble depuis une vingtaine d'années pour élaborer et mettre en pratique des outils d'évaluation et des méthodes d'aide à la décision relatifs au développement durable urbain. Ils travaillent à l'échelle du bâtiment, du quartier (écoquartier ou renouvellement urbain) et de l'aménagement, comme AMO ou dans des projets de recherche.

Travaillant au sein de démarches transversales (avec des partenaires de formation diverses : architectes, ingénieurs, urbanistes, sociologues... et de différentes structures : collectivités locales, bailleurs sociaux, universités, fournisseurs d'énergie...) et abordant ainsi, à la fois, les enjeux et les problématiques techniques, environnementales, sociales et économiques, les auteurs ont été amenés à conduire des recherches-actions sur :

- l'intégration de préoccupations environnementales et de développement durable dans les documents d'urbanisme qui définissent le cadre réglementaire et les objectifs des projets² ;
- l'élaboration de démarches de développement durable structurées sur des objectifs, notamment à l'échelle de ZAC ou de quartier, telle que la démarche HQE²R et ses différents outils opérationnels dont le référentiel INDI pour concevoir et mettre en œuvre des projets d'écoquartier (dans le neuf comme dans la rénovation urbaine)³ ;

- l'élaboration de stratégies territoriales ou patrimoniales de réhabilitation énergétique à partir de l'optimisation des programmes de réhabilitation, en cherchant un compromis entre les objectifs environnementaux (réduction des consommations d'énergie), écologiques (réduction des émissions de gaz à effet de serre) et les contraintes économiques ;

- l'analyse en coût global direct ou élargi (appelé aussi aujourd'hui coût du cycle de vie) de bâtiments et de projets d'aménagement⁴ (avec l'élaboration de différents modèles tels que CoParCo, SEC, OPERA, CG², BURREN, CoGEP, CCVA, etc.) : dans la mesure où les contraintes économiques sont de plus en plus prégnantes.

Cette analyse permet de prendre en compte à la fois la dimension environnementale avec la réduction des émissions de gaz à effet de serre (CO₂) et des consommations d'énergie, en cohérence avec la loi sur la transition énergétique, la dimension sociale avec la réduction des charges, et la dimension économique avec la recherche d'un bon équilibre entre les investissements d'efficacité énergétique d'une part et les économies d'énergie d'autre part, prenant également en compte les coûts de maintenance (et la durée de vie des équipements).

- l'évaluation de projets exemplaires (construction, réhabilitation, écoquartier...) et notamment de bâtiments à énergie positive (Bepos) et de bâtiments passifs⁵ sur le secteur résidentiel et sur le tertiaire.

NOTES

1 Nous utilisons le terme rénovation lorsqu'il s'agit d'une remise à neuf du ou des logements et celui de réhabilitation dans les autres cas (cf. Glossaire).

2 Voir notamment les nombreuses publications aux Éditions du CSTB sur l'intégration des préoccupations environnementales et de développement durable dans le PLU comme sur l'articulation entre le PLU et l'Agenda 21 Local.

3 Voir notamment :

– *Analyse de projets de quartier durable en Europe*, Éditions La Calade, 2004.

– *Développement durable et renouvellement urbain : des outils opérationnels pour améliorer la qualité de vie dans nos quartiers*, Éd. L'Harmattan, 2006.

– *Écoquartier mode d'emploi*, Éd. Eyrolles, 2009.

– *L'urbanisme durable*, Éd. du Moniteur, 2009, réédition 2011.

– *Concevoir et évaluer un projet d'écoquartier*, Éd. du Moniteur, 2012 (le millésime 2012 du référentiel INDI est offert avec l'ouvrage).

– *Conception, réalisation et évaluation d'un quartier bas carbone, L'exemple d'Egedal au Danemark*, Éd. du Moniteur, 2014.

4 *Voir Coût global des bâtiments et des projets d'aménagement, Mode d'emploi* (2^e édition, Éd. du Moniteur), 2018.

5 *Nouvelles architectures écologiques* (Éd. du Moniteur, 2016) et *Bâtiments passifs tertiaires* (Éd. du Moniteur, 2017).



LA RÉHABILITATION ENERPHIT D'UNE MAISON INDIVIDUELLE TYPIQUE DES ANNÉES 1990 AVEC EXTENSION PASSIVE DE 80 M²

Le projet comprend une extension d'une maison individuelle au standard Passivhaus et la rénovation de l'existant pour atteindre le niveau Enerphit sur l'ensemble.

Localisation : Olonne-sur-Mer en Vendée

Maître d'ouvrage et architecte : Aidan Sanderson

Principales caractéristiques techniques : extension en ossature bois avec isolation par l'extérieur en paille, chauffage via la VMC double flux et appoint par chaudière bois à granulés. ECS solaire.

Consommation d'énergie :

- avant travaux : 299 kWhep/(m².an), soit 92 kWh/m² pour le chauffage et 24 kWh/m² pour l'ECS en énergie finale ;
- après travaux (existant + extension) : 26 kWhep/(m².an).

Performance énergétique (PHPP) :

Consommation d'énergie primaire tous usages : 44 kWhep/(m².an)
Puissance de chauffe : 18 W/m²
Étanchéité à l'air : n50 = 0,59 vol/h

Coût : 1 800 €/m²



Photo 11.2 La maison avant puis après travaux

(crédit photos : Aidan Sanderson)

La réhabilitation de l'existant

La maison date de 1992 et a une surface avant travaux de 197 m². Cette maison typique des constructions des années 1990 comprend deux niveaux et un garage intégré dans l'enveloppe qui provoque de très fortes déperditions thermiques.

De ce fait, il a d'abord été décidé de construire un nouveau garage séparé de la maison et d'intégrer l'ancien garage dans l'enveloppe thermique de la maison. La porte du garage a été remplacée par une ouverture en triple vitrage (Internorm HF310). La façade extérieure a été isolée par l'extérieur avec 200 mm de PSE graphité et ce jusqu'à 30 cm sous le niveau de la dalle. Le PSE a été posé avec des chevilles en polypropylène Etanco (la vis est au fond de l'isolant et ne traverse par l'isolant).

La toiture a été isolée en avec 360 mm d'ouate insufflée.

La chape de plancher bas a été démolie et une isolation avec 40 mm de laine de verre entre les lambourdes sous le parquet a été posée.

Les fenêtres de la salle de bains et les portes-fenêtres (notamment grande baie vitrée donnant sur la piscine en bois aluminium, photo 11.2) ont été remplacées par du triple vitrage (Internorm HF310). Les autres fenêtres en double vitrage ont été conservées. Cependant, toutes les grilles d'entrées d'air dans les anciennes fenêtres double vitrage ont été bouchées avec de la mousse polyuréthane et scotchées, après la mise en route de la VMC double flux.

La porte d'entrée a été isolée avec 80 mm de fibres de bois et un enduit RPS, permettant la suppression du pont thermique du seuil de porte (photo 11.3).



Photo 11.3 Remplacement de l'ancienne baie vitrage en double vitrage par une nouvelle porte d'entrée en triple vitrage (Internorm HF310). Isolation extérieure de l'entrée en fibre de bois (8 cm) avant la pose de l'enduit

(crédit photo : Aidan Sanderson)



Photo 11.4 Le système de chauffage solaire combiné
(crédit photos : Aidan Sanderson)

Le chauffage est assuré par une ventilation double flux (REC Temovex) de 80 % de rendement et un chauffage hydraulique intégré piloté par la VMC. Un poêle à granulés hydro apporte l'appoint de chauffage.

Un système solaire combiné (photo 11.4) comprend deux capteurs et 30 tubes sous vide qui ont été installés pour le chauffage du ballon tampon (300 l) – avec une production ECS instantanée par un échangeur en inox de 4,5 m², une solution plus hygiénique et avec une meilleure longévité – et pour le chauffage de la piscine (60 m³).

Ce système solaire chauffe également l'eau du lave-linge et celle du lave-vaisselle par un raccordement qui permet de réduire considérablement les temps de cycles, et il émet la chaleur nécessaire pour sécher le linge en hiver.

Pour améliorer l'étanchéité à l'air, un pare-vapeur a été posé au plafond dans l'entrée (photo 11.5), les espaces situés derrière les prises et les interrupteurs ont été rebouchés, toutes les grilles d'entrée d'air dans les menuiseries double vitrage existantes ont été bouchées.

Enfin le garage existant a été isolé par l'extérieur avec 20 cm de PSE.

L'extension

L'extension de 80 m² comprend un séjour-salon, une cuisine et une buanderie.

Les fondations ont été montées sur pieux (Technopieu) vissés dans le sol (photo 11.6). La dalle est constituée d'une structure en lamellé collé avec une isolation de 360 mm en paille.

Le système installé est le suivant : parquet chêne sur lam-bourdes, protection pare vapeur OSB 9 mm, pare-vapeur, OSB 18 mm, structure lamellé collé, isolation 360 mm paille, OSB 18 mm.

Les murs sont à ossature bois et sont constitués de la façon suivante (photo 11.7) : placoplâtres sur tasseaux, pare-vapeur, OSB 12 mm, ossature bois, isolation paille 360 mm, fibres de bois 40 mm, enduit RPE L'utilisation de panneaux préfabriqués en usine ont permis le montage de la maison (hors d'eau et hors d'air en seulement 1 jour et demi).

La toiture est également à ossature bois avec isolation paille : placoplatre sur tasseaux, pare vapeur, OSB 9 mm, ossature bois, isolation paille 360 mm, OSB 18 mm, liteaux, contre-liteaux et tuiles canal.



Photo 11.5 Pose du pare-vapeur dans l'entrée ; étanchéité à l'air de l'existant au niveau du plâtre intérieur des murs et liaison avec le pare-vapeur par scotch Siga Fentrim 20
(crédit photos : Aidan Sanderson)



Photo 11.6 Une dalle en lamellé collé posée sur pieux Technopieux vissés dans le sol
(crédit photos : Aidan Sanderson)



Photo 11.7 L'isolation est faite de paille (360 mm) et de panneaux en fibres de bois de 40 mm d'épaisseur pour recouvrir les caissons montés en usine
(crédit photos : Isopaille)



Photo 11.8 Les menuiseries sont en triple vitrage
(crédit photo : Aidan Sanderson)

Les menuiseries sont en triple vitrage Internorm HF310 Solar avec un coefficient $U_g = 0,6 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ et un facteur solaire g de 0,6 (photo 11.8).

Pour le confort d'été, des volets sont prévus sur les portes-fenêtres à l'est et sur les fenêtres à l'ouest et des panneaux brise-soleil coulissants seront posés sur la grande baie de 4,80 m orientée plein sud.



Photo 11.9 L'extension de 80 m² comprend un séjour, une cuisine et une buanderie
(crédit photos : Aidan Sanderson)

Caractéristiques thermiques de l'enveloppe du bâtiment

Tab. 11. Caractéristiques thermiques de l'enveloppe du bâtiment (évaluation avec le moteur de calcul PHPP)
(source : Aidan Sanderson)

Éléments d'enveloppe	U (W/(m ² .K))
Murs extérieurs	0,123
Dalle	0,125
Toiture	0,135
Menuiseries extérieures Vitrage	U _w = 0,89 U _g = 0,5 au nord (facteur solaire g = 0,54) U _g = 0,6 au sud (g = 0,60)
Porte d'entrée	U _d = 1

Enseignements de l'opération

Selon Aidan Sanderson, propriétaire de cette maison, « l'impact sur le confort thermique des opérations d'étanchéité à l'air

sur la partie ancienne est impressionnant. Ce n'est plus du tout la même maison. Nous sommes passés d'une maison de 107 m² inconfortable et difficile à chauffer malgré un coût de chauffage et eau chaude de 1 500 euros par an à une maison confortable sans courant d'air de 197 m² pour un coût de chauffage et eau chaude de 420 euros seulement, chauffage de la piscine compris. »

Le projet montre aussi comment profiter d'une extension pour concevoir le bâtiment dans sa globalité avec une performance énergétique globale très élevée.

Remerciements et sources

Aidan Sanderson, conseiller européen Passivhaus (CEPH), Cube France, www.cubefrance.fr

Préfabrication usine Isopaille : <https://extensionpassivepaille.blogspot.fr/2016/10/construction-ossature-bois-isolation.html>

Montage Ossature : <https://extensionpassivepaille.blogspot.fr/2016/10/montage.html>

Solaire thermique : <https://extensionpassivepaille.blogspot.fr/2017/10/solaire-thermique.html>

Le label Minergie® Rénovation

Minergie est une association suisse créée en 1998 dont l'objectif est de contribuer à la réduction des consommations d'énergie dans le bâtiment. Elle propose quatre standards de consommation (tab. 11.2) : Minergie®, Minergie-P®

(label créé en 2003), Minergie-Eco® (et Minergie-P-Eco®) et Minergie-A® (et Minergie-P-A®).

Plusieurs opérations de réhabilitation de logements ont été labellisées en France par Minergie® comme le montre le tableau 11.3.



PARTIE III

Des opérations de réhabilitation exemplaire

La réhabilitation est exemplaire lorsqu'elle concerne à la fois le confort, la qualité d'usage, la qualité environnementale (dont les performances énergétiques) et sanitaire, ainsi qu'une minimisation des coûts pour le maître d'ouvrage et pour l'occupant (charges énergétiques).

	Type de logements	BBC Rénovation	Facteur 4 à 20	Passif	Extension-surélévation	Changement d'usage	Suivi des performances	Patrimoine historique	Matériaux biosourcés	Éléments préfabriqués	Énergies renouvelables	Stratégie patrimoniale et/ou territoriale	
Maisons individuelles (MI)													
▶ OPEX 1	Surélévations en béton de chanvre	2 MI	-	×	-	×	-	-	-	×	-	×	-
▶ OPEX 2	Saint-Cyr au Mont d'Or	MI	-	×	×	-	-	-	-	-	-	×	-
▶ OPEX 3	Réhafutur 2	6 MI représentatives d'un parc de 28 000 maisons	×	-	-	-	-	×	×	×	-	-	×
▶ OPEX 4	Midauri House (Californie)	MI	-	×	×	-	-	×	×	-	-	×	-
Bâtiments de logements collectifs et mixtes (résidentiels/bureaux et/ou commerces)													
▶ OPEX 5	Résidence Voltaire du Toit Vosgien (88)	2 bât., 28 logts sociaux	-	×	×	-	×	-	-	×	-	×	×
▶ OPEX 6	Rue Tlemcen, log. sociaux (Elogie-Siemp, Paris)	1 bât. R+7, 78 logts sociaux	×	-	-	×	-	-	-	×	×	×	-
▶ OPEX 7	Résidence Chateaubriand (Neotoa, Rennes)	1 bât., 36 logts sociaux	×	-	-	-	-	-	-	×	-	-	-
▶ OPEX 8	Luther (Bruxelles)	4 logts	-	×	×	-	-	×	-	-	-	×	-
▶ OPEX 9	Giwog (Autriche)	6 bât., 204 logts sociaux	-	×	×	×	-	-	-	×	×	×	×
▶ OPEX 10	Marcel Thiry (A2M)	1 bât., 85 logts	-	×	×	×	×	-	-	-	-	-	-
▶ OPEX 11	Baaderstrasse (Munich)	3 bât, 13 logts, 6 bureaux, 1 commerce	-	×	×	×	-	-	×	-	-	×	-
▶ OPEX 12	Alingsas (Suède)	16 bât., 299 logts sociaux	-	×	×	-	-	×	×	-	×	×	×
▶ OPEX 13	Zénobe Gramme (Belgique)	17 logts + 450 m ² bureaux	-	×	×	×	×	×	-	×	-	×	×
Stratégie patrimoniale													
▶ OPEX 14	Paris Habitat	Parc de logements sociaux (dont un important patrimoine HBM)	×	-	-	-	-	×	×	-	-	-	×

Rehafutur 2 : rénovation à coûts maîtrisés d'un patrimoine classé

Programme : programme expérimental sur six maisons représentatives des 68 000 logements du bassin minier classés au patrimoine mondial de l'Unesco.

Localisation : communes du bassin minier du Pas-de-Calais, Lens-Liévin et Loos-en-Gohelle
Livraison fin 2018

Maître d'ouvrage : Maisons & Cités

Maîtres d'œuvre : agence Houyez (lot 1), Olivier Goudeseune (lot 2) et agence Leclercq Ellipsis (lot 3).

Matériaux : murs en briques isolés avec des matériaux biosourcés : blocs de chanvre, laine de bois et laine de mouton¹.

Chauffage et ECS : chaudière gaz à condensation 26 kW

Ventilation : VMV hygro A ou hygro B (lot 2)

Performance énergétique : BBC rénovation (104 kWh/m².an)

Coût : 601 883 € soit 1 119 €/m²

Programme lauréat d'un projet européen



Photo 3.1 Les maisons du bassin minier classées au patrimoine mondial de l'Unesco
(crédit photo : Impact Conseils & Ingénierie)

LE CONTEXTE ET LES OBJECTIFS POURSUIVIS

Six maisons vacantes et fortement dégradées du Pas-de-Calais de la période industrielle minière² du Pas-de-Calais ont été retenues pour cette expérimentation (20 000 maisons étant identiques à celles-ci). Elles illustrent le patrimoine architectural local et sont inscrites sur la liste du Patrimoine mondial de l'Unesco au titre de « Paysages culturels évolutifs ».

Comment rénover thermiquement, à coûts maîtrisés, tout en préservant un patrimoine classé ?

C'est à ce triple enjeu que Réhafutur 2 tente de répondre, avec trois objectifs :

- atteindre des performances de Rénovation Basse Consommation (104 kWh/(m².an)) ;
- recourir à des matériaux biosourcés ;
- prendre en compte le coût global qui garantira la reproductibilité de l'opération.

Ce modèle vise à monter un modèle technique et économique reproductible à l'ensemble du parc localitatif présent dans ce secteur³.

LA STRATÉGIE DU CD2E ET LE CAHIER DES CHARGES DU PROJET RÉHAFUTUR

Initié par le Cd2e⁴ en lien avec les partenaires du projet européen CAP'EM sur les éco-matériaux et avec le bailleur social Maisons & Cités⁵, le projet Réhafutur comprend deux volets :

- Réhafutur 1 : réhabilitation énergétique d'une maison d'ingénieur (projet livré en juin 2015)⁶ ;
- Réhafutur 2 : réhabilitation de six maisons minières représentatives de 90 % du parc minier régional qui totalise plus de 68 000 logements.

Ces rénovations ont vocation à être des vitrines des savoir-faire régionaux mettant à disposition des outils pédagogiques pour accompagner les professionnels de la filière du bâtiment.



Photo 3.2 La maison située 8 rue Davy dans la Cité I4 Ouest à Lens avant travaux
(crédit photo : Impact Conseils & Ingénierie)

Ekvation, maître d'ouvrage délégué ayant pour mission de promouvoir et soutenir les groupements d'entreprises, a lancé un **concours de maîtrise d'œuvre pour des groupements d'entreprises** pour la réhabilitation au standard Basse Consommation avec des éco-matériaux de maisons minières. Les entreprises devaient répondre en co-traitance (groupement conjoint avec mandataire solidaire) et chaque entreprise ne pouvait se positionner que sur trois domaines métiers (trois lots). Les contraintes du programme (cahier des charges) étaient :

- une réhabilitation technique et non fonctionnelle par souci d'homogénéité du parc locatif ;
- l'objectif du niveau de performance « Effinergie rénovation », soit un besoin en énergie primaire inférieur à 104 kWh/(m².an) ;
- une épaisseur d'isolant intérieur maximale de 10 cm ;
- une isolation de la toiture ou des combles et de la dalle basse ;

- l'intégration de matériaux biosourcés pour l'isolation ;
- un $U_{wmax} \leq 1,4 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ (fenêtres) ;
- le traitement des ponts thermiques ;
- une formation étanchéité à l'air (prise en charge par la maîtrise d'ouvrage avant le démarrage des travaux) ;
- la mise en place d'une chaudière à condensation pour le chauffage et l'ECS.

■ LOT N° 1 : DEUX MAISONS DES CITÉS I4 OUEST ET JEANNE D'ARC À LENS

Le premier lot concerne deux maisons situées dans deux cités distinctes :

- **La Cité pavillonnaire Jeanne d'Arc** fut construite entre 1923 et 1924 par la Société de Lens. Cette cité offre de multiples types de volumétries. Les haies végétales clôturant les jardins des pavillons, les rues bordées d'arbres à hautes tiges et les espaces publics arborés confèrent à la cité de bonnes qualités paysagères. La partie supérieure des façades est la plus travaillée, avec des remplissages de briques rouges ponctués en partie supérieure par de faux colombages en briques peintes en blanc. Certains pavillons bénéficient d'un traitement de façades particulier et sont recouverts d'un enduit « à la tyrolienne » composé de petits gravillons mélangés au mortier.
- **La Cité I4 Ouest** n'a pas de caractère patrimonial particulier. Les maisons sont en parpaings de schistes.

Le groupement de conception-réalisation lauréat a pour maître d'œuvre l'agence Houyez (Architecte DPLG) et pour BET Thermique Comete Ingénierie⁷.

La spécificité de ce programme est de comporter des fenêtres pariétodynamiques.

Le principe de la fenêtre pariétodynamique est de faire circuler l'air entrant par la grille de ventilation puis à l'intérieur du triple vitrage de la fenêtre avant qu'il n'entre dans le bâtiment. Cela permet de réchauffer l'air avant qu'il ne rentre dans le bâtiment grâce à deux phénomènes : la récupération d'énergie sur la déperdition thermique de la fenêtre et l'effet de serre grâce au soleil qui réchauffe l'air circulant entre les verres.

Cela augmente les apports solaires dans le bâtiment. Ainsi, la consommation de chauffage est réduite par rapport à l'utilisation de fenêtres classiques double et triple vitrage grâce à l'amélioration de la transmission thermique (U_w) et des apports solaires (S_w).

Caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments

	Exigences du programme	Projet de réhabilitation
Surface utile Cité 14 Ouest Cité Jeanne d'Arc	État initial 95 m ² 105 m ²	90 m² 100 m²
Caractéristiques thermiques		
Ubât Cité 14 Ouest Cité Jeanne d'Arc	–	U = 0,318 U = 0,352
Besoin en énergie primaire Cité 14 Ouest Cité Jeanne d'Arc	< 104 kWh/(m ² .an)	89 kWh/(m ² .an) 95 kWh/(m ² .an)
Murs en contact avec l'extérieur	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,4 – 50 %)	Fibre de bois 10 cm U = 0,275 W/(m ² .K)
Rampants de toiture avec pente > 60°	0,2 W/(m ² .K) (0,4 – 50 %)	Fibre de bois 20 cm U = 0,388 W/(m ² .K)
Murs en contact avec un volume non chauffé	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,4 – 50 %)	Fibre de bois 10 cm U = 0,246 W/(m ² .K)
Planchers de combles perdus	U = 0,25 W/(m ² .K) (0,5 – 50 %)	Ouate de cellulose 40 cm U = 0,149 W/(m ² .K)
Rampants de toiture avec pente < 60°	0,165 W/(m ² .K) (0,22 – 25 %)	Fibre de bois 20 cm U = 0,305 W/(m ² .K)
Planchers bas donnant sur vide sanitaire ou volume non chauffé	0,2 W/(m ² .K) (0,25 – 20 %)	Liège 10 cm U = 0,269 W/(m ² .K)
Planchers bas donnant sur extérieur	0,2 W/(m ² .K) (0,5 – 60 %)	Liège 10 cm U = 0,2 W/(m ² .K)
Étanchéité à l'air	Mesure obligatoire – pas de valeur limite	Q ₄ < 1,7 m ³ /(h.m ²)
Menuiseries extérieures	U _w ≤ 1,4 W/(m ² .K)	Fenêtres parietodynamiques PVC, U _w = 0,3

Équipements thermiques

	Exigences du programme	Projet de réhabilitation
Ventilation	Simple flux hygroréglable	VMC hygro A
Production de chaleur et ECS	–	Chaudière à condensation

■ LOT N°2 : DEUX MAISONS DE LA CITÉ SAINT ALBERT À LIÉVIN

Le lot 2 porte sur la cité pavillonnaire n° 16 dite Cité Albert. Attachée à la fosse n° 16 sur les communes de Liévin et Loos-en-Gohelle, cette cité fait partie des éléments remarquables du bassin minier. Construite entre 1921 et 1925, elle poursuit la Cité n° 11 avec laquelle elle forme un continuum urbain. La Cité est structurée par une voirie orthogonale et propose majoritairement des regroupements par deux habitations et quelques barres de logements sur ses bordures. La majorité des façades est entièrement composée de briques rouges avec, en parties supérieures, des faux-colombages ou des quadrillages en briques peintes en blanc. Les façades de certains pavillons sont en pierres meulières à joints rubanés.

Caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments

	Exigences du programme	Projet de réhabilitation
Surface utile	État initial 97 m²	88 m²
Caractéristiques thermiques		
Ubât	–	U = 0,47 W/(m ² .K)
Besoin en énergie primaire	< 104 kWh/(m ² .an)	83,57 kWh/(m ² .an)
Murs en contact avec l'extérieur	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,4 – 50 %)	Bloc de chanvre enduit 10 cm + isolant liège 3 cm U = 0,6 W/(m ² .K)
Rampants de toiture avec pente > 60°	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,4 – 50 %)	Fibre de bois 28 cm U = 0,14 W/(m ² .K)
Murs en contact avec un volume non chauffé	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,4 – 50 %)	Liège expansé 8 cm U = 0,46 W/(m ² .K)
Planchers de combles perdus	U = 0,25 W/(m ² .K) (0,5 – 50%)	Fibre de bois 28 cm U = 0,14 W/(m ² .K)
Rampants de toiture avec pente < 60°	U = 0,165 W/(m ² .K) (0,22 – 25%)	Fibre de bois 28 cm U = 0,14 W/(m ² .K)
Planchers bas donnant sur vide sanitaire ou volume non chauffé	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,25 – 20 %)	Polystyrène expansé 12 cm U = 0,22 W/(m ² .K)
Planchers bas donnant sur terre-plein	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,5 – 60 %)	Polystyrène expansé 12 cm U = 0,22 W/(m ² .K)
Étanchéité à l'air	Mesure obligatoire – pas de valeur limite	Q ₄ < 1 m ³ /(h.m ²)
Menuiseries extérieures	U _w ≤ 1,4 W/(m ² .K)	U _w = 1,3 W/(m ² .K)



Photo 3.3 La maison située 2 rue Marivaux (94 m²) avant travaux puis après travaux
(crédit photos : Impact Conseils & Ingénierie)

Équipements thermiques

	Exigences du programme	Projet de réhabilitation
Ventilation	Simple flux hygroréglable	VMC hygro B
Production de chaleur et ECS	–	Chaudière à condensation 26 kW

Le groupement de conception-réalisation lauréat a pour maître d'œuvre Olivier Goudeseune (architecte DPLG) et pour BET Thermique Cohérence Énergie⁸.

La spécificité de ce programme est l'isolation par l'intérieur avec des blocs de chanvre.

Le béton de chanvre en bloc de 10 cm sur les murs a été choisi pour son caractère écologique car constitué à 100 % de chènevotte (paille de chanvre) et de chaux hydraulique.

Il est issu de la culture du chanvre qui présente de nombreux avantages. Le chanvre couvre très rapidement le sol et étouffe les mauvaises herbes. Actuellement, il ne connaît pas de ravageurs et sa culture nécessite peu d'intrants et surtout ne nécessite pas d'insecticide. En France et en fonction des régions, ses besoins en eau sont satisfaits par les seules précipitations (photo 3.5).

Afin de rattraper la planéité du mur, l'interstice variable entre bloc et murs a été comblé par un mélange de billes de liège (entre 1 et 4 cm).

Enfin, il est recouvert d'un enduit minéral à la chaux permettant de conserver les capacités perspirantes du bloc.

Afin d'isoler le plancher bas de la maison, une isolation de 12 cm de PSE a été mise en place.

Au total, avec isolant + chape et carrelage, le plancher est rehaussé de 19 cm afin de rattraper le niveau de la première marche de l'escalier.



Photo 3.4 Isolation par l'intérieur à l'aide de blocs de chanvre
L'interstice entre le mur et le chanvre est comblé par un mélange de billes de liège
 (crédit photos : IMPACT Conseils & Ingénierie)

■ LOT N°3 : CORON MIRABEAU À LOOS-EN-GOHELLE

Le lot n° 3 concerne la Cité Mirabeau, aussi appelée « les 52 ». Celle-ci a été construite au plus près des sites d'extraction par les houillères pour loger les mineurs. Quand les fosses ont fermé, mairie et bailleur ont rénové cette cité et ses espaces communs typiques de la vie de coron. Sur la rue Roger Salengro, une vingtaine de maisons en bande restent encore à rénover. Seules deux maisons restent occupées, les autres sont vides de leurs habitants. Le groupement de conception-réalisation lauréat a pour maître d'œuvre l'agence Leclercq Ellipsis (architecte DPLG) et pour BET Thermique Climat Énergie⁹.

La laine de bois pour l'isolation sous rampant des combles et en isolation des murs extérieurs

Les laines de bois (photo 3.5) sont obtenues à partir du défilage de chutes de bois résineux. Il s'agit de panneaux isolants compressibles et flexibles qui présentent de hautes performances isolantes en hiver et un meilleur déphasage thermique en été. Ouvert à la diffusion de vapeur d'eau, régulateur hygrothermique, ressource renouvelable disponible en très grande quantité, la laine de bois est aussi recyclable, écologique et respectueuse de l'environnement (les laines de bois peuvent aussi être compostées).

Son impact sur la santé est neutre car il n'y a pas de dégagement toxique lors de leur utilisation et pas de gaz toxique en cas d'incendie.



Photo 3.5 Coupe et pose de la laine de bois
(crédit photos : Impact Conseils & Ingénierie)

Caractéristiques thermiques de l'enveloppe des bâtiments

	Exigences du programme	Projet de réhabilitation
Surface utile	État initial 108,77 m ²	85,90 m ²
Caractéristiques thermiques		
Ubât		U = 0,45 W/(m ² .K)
Besoin en énergie primaire	< 104 kWh/(m ² .an)	81,36 kWh/(m ² .an)
Murs en contact avec l'extérieur	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,4 – 50 %)	Laine de mouton 10 cm U = 0,325 W/(m ² .K)
Rampants de toiture avec pente > 60°	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,4 – 50 %)	Laine de bois 40 cm U = 0,13 W/(m ² .K)
Murs en contact avec un volume non chauffé	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,4 – 50 %)	Laine de mouton 10 cm U = 0,325 W/(m ² .K)
Planchers de combles perdus	U = 0,25 W/(m ² .K) (0,5 – 50 %)	Laine de bois 40 cm U = 0,13 W/(m ² .K)
Rampants de toiture avec pente < 60°	U = 0,165 W/(m ² .K) (0,22 – 25 %)	Laine de bois 40 cm U = 0,13 W/(m ² .K)
Planchers bas donnant sur vide sanitaire ou volume non chauffé	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,25 – 20 %)	PUR 5,6 cm U = 0,35 W/(m ² .K)
Planchers bas donnant sur terre-plein	U = 0,2 W/(m ² .K) (0,5 – 60%)	PUR 5,6 cm U = 0,35 W/(m ² .K)
Étanchéité à l'air	Mesure obligatoire – pas de valeur limite	Q ₄ < 1 m ³ /(h.m ²)
Menuiseries extérieures	U _w ≤ 1,4 W/(m ² .K)	Bois capoté alu, U _w = 1,2 et 1,3 W/(m ² .K)



Photo 3.6 Les deux maisons situées 74 et 76 rue Roger Salengro à Loos-en-Gohelle avant travaux
(crédit photo : Cd2e)

La spécificité du programme de rénovation de ce lot 3 est l'isolation par l'intérieur avec de la laine de mouton

Le choix des éco-matériaux a été guidé par la nature du bâtiment existant. En effet, les briques anciennes non enduites n'offrent pas la certitude d'une étanchéité à l'eau efficace. Il apparaît donc un risque de migration importante d'eau vers l'isolant intérieur. Le choix de l'équipe s'est donc porté sur la laine de mouton pour l'isolation des murs extérieurs. La laine de mouton présente le fort avantage d'être insensible à l'eau et fortement hygroscopique. Ainsi cet isolant permet de s'affranchir de toute dégradation vis-à-vis de la migration d'eau et participe à la régulation de l'humidité ambiante.

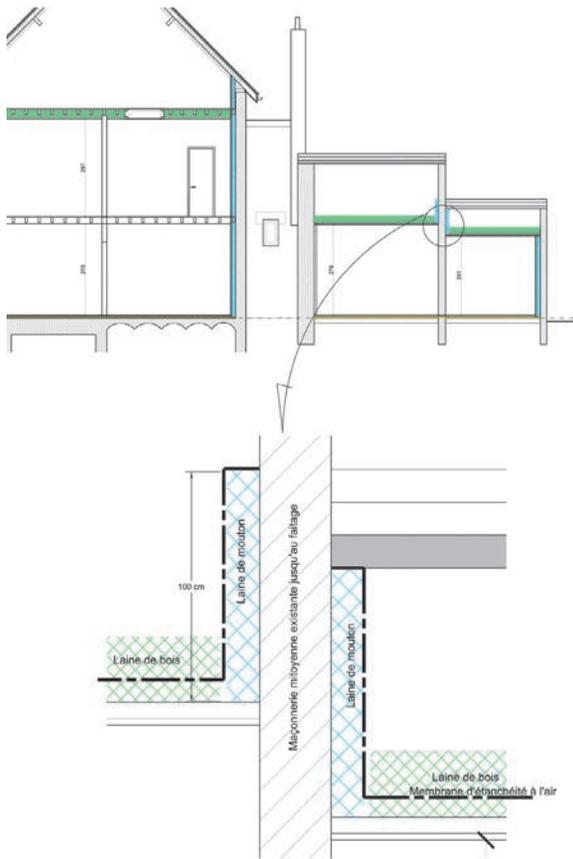


Fig. 3.1 Schéma de détail sur la pose de la laine de bois et de la laine de mouton
(source : DCE Réhafatur)



Photo 3.7 L'isolation par l'intérieur en laine de mouton : pose du frein-vapeur hydrovariable
(crédit photos : IMPACT Conseils & Ingénierie)

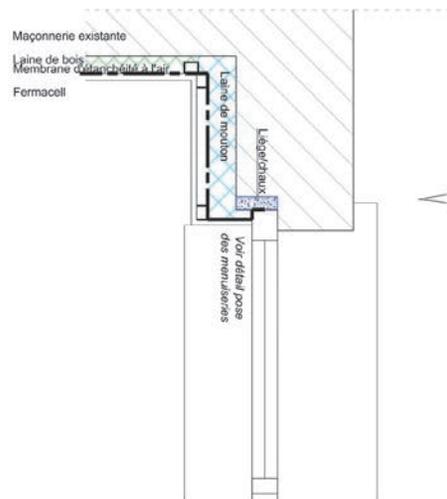
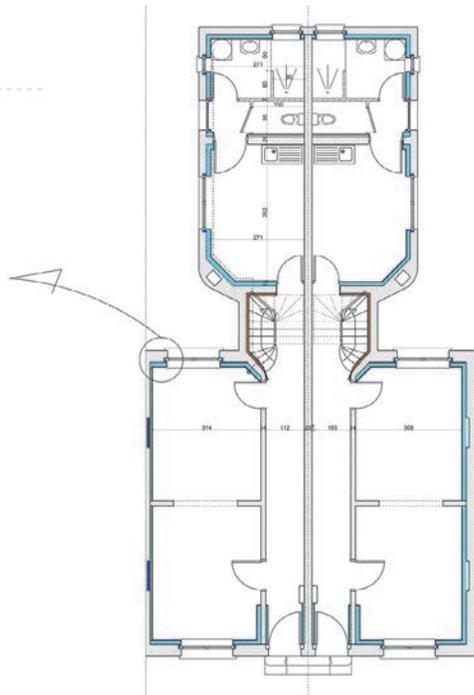


Fig. 3.2 Schéma de détail sur la pose de la laine de mouton
(source : DCE Réhafatur)



Pour l'isolation des plafonds sous combles, comme pour le lot 2, c'est la laine de bois qui a été retenue (photo 3.4). Le principal argument est sa capacité de déphasage. En effet, elle sera placée sous des combles non isolés qui présenteront une inertie très faible. Ainsi, grâce à sa capacité d'accumulation de chaleur, la laine de bois participera à la maîtrise des surchauffes estivales. De plus, elle offre une excellente stabilité et une facilité de mise en œuvre dans cette application.

L'isolation sous chape s'est imposée en raison des planchers sur terre-plein. En base, l'isolant sera de type PUR pour des raisons économiques. Encapsulé sous la chape, le PUR ne risque pas d'émettre de polluants dans l'air ambiant.

Un test intermédiaire d'étanchéité à l'air a été réalisé au 2 rue Marivaux à Liévin.

Il a permis de repérer des fuites de la structure maçonnée existante qui seront corrigées par application d'enduit.

La cheminée a été bouchée avec un isolant liège et de la mousse spéciale pour l'étanchéité à l'air afin d'épouser les boisseaux en brique.

Équipements thermiques

	Exigences du programme	Projet de réhabilitation
Ventilation	Simple flux hygroréglable	VMC hygro A
Production de chaleur et ECS	–	Chaudière à condensation 26 kW

■ L'INSTRUMENTATION

L'implication du laboratoire de Génie Civil et géo-Environnement de l'Université d'Artois (LGCgE) au niveau du projet Réhafutur 2 consiste à analyser et à suivre les performances énergétiques des six maisons rénovées. Ces maisons sont des prototypes mettant en œuvre différentes solutions qui ont pour vocation d'être reproductibles et applicables à la rénovation du parc de l'habitat minier. Il est donc nécessaire de les instrumenter avec différents types de capteurs afin de pouvoir pratiquer des comparaisons sur des bases métrologiques identiques.

Le LGCgE intervient dès la phase de rénovation afin de mettre en place les différents capteurs aux emplacements adéquats et aux moments opportuns. Des mesures sont effectuées en permanence dans chacune de ces maisons et l'ensemble des données récoltées sera analysé par les chercheurs du LGCgE.

Les objectifs de l'instrumentation visent plus particulièrement à mettre en exergue :

- le suivi des transferts hygrothermiques au niveau de l'enveloppe du bâtiment ;
- la caractérisation du confort intérieur du bâtiment (suivi de la température de l'air, hygrométrie, CO₂) ;
- le suivi des systèmes de ventilations (efficacité de la VMC).

Chacune des maisons fera l'objet d'une instrumentation poussée en vue de capitaliser et de communiquer sur les performances de rénovation atteintes. Cette instrumentation permettra d'évaluer plusieurs indicateurs liés aux performances hygrothermiques et de confort de ce bâtiment après rénovation. Pour faire le lien entre performance du bâti et responsabilité de l'usage, un livret d'accueil de gestes éco-responsables sera mis à disposition des futurs usagers.

■ LA SENSIBILISATION ET LA FORMATION DES PROFESSIONNELS

La formation intégrée au travail (FIT) a été mise en place sur le projet Réhafutur 2 sur la thématique de l'étanchéité à l'air afin de :

- toucher les personnels du BTP par la formation sur « leur » terrain ;
- offrir une formation contextualisée à la production du chantier ;
- fédérer les publics en formation autour d'un objectif commun ;
- confronter la conception aux retours du terrain ;
- traiter des écueils de la co-activité avec l'étanchéité à l'air comme fil rouge ;
- doter la maîtrise d'œuvre d'un outil de médiation pour le traitement de l'étanchéité à l'air.

■ COÛT DES OPÉRATIONS

Lot 1	181 398 €
Lot 2	229 980 €
Lot 3	190 505 €
Aléas pour imprévus	48 150 €
Coût total du projet	601 883 € (soit 1 119 €/m ²)

Maisons & Cité sur fonds propres : 420 000 €.

Partenaires financiers : conseil Régional Hauts-de-France 50 % du complément et fonds national d'aménagement et de développement du territoire (FNADT) 50 % du complément.

■ LES PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS DE CES OPÉRATIONS

Le travail en groupement facilite le bien « travailler ensemble ». Le fait que les entreprises se connaissent et ont l'habitude de travailler ensemble permet de palier plus facilement les difficultés lors du chantier ; qualité et performance de l'enveloppe, étanchéité à l'air globale du projet. La formation intégrée au travail (FIT) est un vecteur d'interopérabilité des corps d'état sur la question de l'enveloppe. Pour le menuisier Fabien Greisser, de Coin Frères, « la formation a été l'élément clé pour souder les compagnons sur le chantier. Puis le dialogue sur les détails techniques entre entreprises et avec la maîtrise d'œuvre nous a permis de sortir par le haut de toutes les difficultés. » (La Chronique du BTP, n° 5143, mars 2015, p. 18)



Photo 3.8 La maison du 76 rue Roger Salengro après travaux

(crédit photo : Impact Conseils & Ingénierie)

REMERCIEMENTS ET SOURCES

Isabelle Cari, Cd2e, www.cd2e.com.

François Leroy, Impact Conseils et Ingénierie.

www.ekwation.fr

www.rehafutur.fr

NOTES

1 Voir notamment le Guide des matériaux utilisés pour l'isolation, rédigé à l'issue du projet Réhafutur 1 et téléchargeable sur le site de Réhafutur, www.rehafutur.fr.

2 Le patrimoine du bassin minier comprend aujourd'hui 68 099 logements dont 26 424 logements inscrits au patrimoine mondial de l'Unesco. Pour attirer la main-d'œuvre des milieux ruraux et la fixer, les compagnies minières ont construit, jusqu'en 1939, plus de 90 000 logements. Ce parc de logements des cités minières est aujourd'hui encore occupé à 33 % par des ayants droit du statut du mineur. Les caractéristiques de ce parc de logements varient selon la période durant laquelle ils ont été construits. Les plus connus sont les corons, de longues constructions en bandes datant d'avant 1900. À partir de 1910, l'habitat pavillonnaire se développe, les cités jardins constituant l'aspect le plus évolué de ce type d'habitat.

3 Aucun outil d'analyse en coût global n'a cependant été élaboré dans le cadre de ce projet.

4 Le Cd2e, pôle d'excellence régional sur les éco-activités, accompagne depuis 15 ans les entreprises, les collectivités et les filières économiques de la région Hauts-de-France vers l'éco-transition (transition écologique, énergétique et économique). Il agit dans les domaines du bâtiment durable, des énergies renouvelables et de l'économie circulaire (analyse en cycle de vie, éco-conception, recyclage).

5 Le groupe Maisons & Cités s'est constitué à partir de la création en 2002 de l'Épinorpa, établissement public rattaché à la Région Nord-Pas-de-Calais, pour assurer la gestion du patrimoine de logements miniers et réaliser des opérations d'habitat social et de renouvellement urbain.

6 Opération présentée dans Nouvelles Architectures Ecologiques, Éd. du Moniteur, 2016, op. cit.

7 Les autres membres de l'équipe sont : gros œuvre : ARTEBAT ; couverture : ASM COUVERTURE ; enduits extérieurs : DHEDINPARC & JARDIN ; plâtrerie/isolation/menuiseries extérieures : Philippe Gobert ; peinture : LM PEINTURE ; électricité / VMC : COMPTOIR JB ; chauffage/plomberie : LOGISTA MONTAGE ; carrelage/sols souples : WOJCIK.

8 Les autres membres de l'équipe sont : coopérative d'artisans : AEH ; gros œuvre : Nature et construction ; charpente bois/couverture/menuiseries/plâtrerie/isolation : SARL FLORET Frères ; Carrelage/peinture : HOME RENOV ; chauffage/plomberie/électricité/instrumentation : CAP VENT ; Test Blower door : société ADELE.

9 Les autres membres de l'équipe sont : Gros-Œuvre : ETS Marquant ; Couverture : Toit pour Toit ; Menuiseries extérieures : Coin Frères ; Plâtrerie / Isolation : SME ; Electricité : ACCART ; Chauffage / Plomberie : Baudens ; Carrelage / Sols souples : Debrulle ; Désamiantage : Demolaf.

RÉHABILITATION ÉNERGÉTIQUE DES LOGEMENTS

2^e édition

Aujourd'hui, la rénovation énergétique des logements, collectifs ou individuels, est devenue une priorité. Certes, les objectifs quantitatifs ne sont pas encore atteints mais l'engagement de l'État et des nombreuses collectivités territoriales montre que l'urgence environnementale (gaz à effet de serre) et économique (précarité et dépendance énergétiques de la France...) est de plus en plus souvent intégrée dans les politiques publiques locales.

Cette deuxième édition, entièrement refondue, met l'accent sur les **bonnes pratiques** – y compris en matière de stratégie de réhabilitation d'un parc ou d'un territoire – et sur les **retours d'expérience** en analysant des opérations de réhabilitation menées par des maîtres d'ouvrage ayant atteint un niveau de performance énergétique élevé, allant parfois jusqu'au facteur 10 (réduction de la consommation d'énergie par 10).

L'ouvrage décrit les **actions à mettre en œuvre** ainsi que les obstacles dont il faut s'affranchir pour atteindre cet objectif, dans des conditions économiques et sociales acceptables tout en respectant la qualité d'usage et la qualité architecturale et urbaine. Ainsi, après avoir décrit les difficultés techniques de la réhabilitation énergétique des logements, il propose successivement :

- une analyse des **enjeux financiers, sociaux et environnementaux** de la rénovation énergétique des logements ainsi qu'une présentation des techniques et solutions permettant de réaliser des gains de performance énergétique ;
- un descriptif des **outils de mesure** de la performance énergétique et des labels ;
- la présentation illustrée des éléments constitutifs d'une **stratégie énergétique territoriale ou patrimoniale** ;
- les différentes façons de calculer la **rentabilité des investissements** : approche financière pour les maîtres d'ouvrage privés et approche macroéconomique ou sociétale pour les maîtres d'ouvrage publics ainsi que l'optimisation de la réhabilitation énergétique ;
- le décryptage de **réalisations exemplaires** qui ont su tenir compte à la fois du confort, de la qualité d'usage des logements, de la qualité environnementale et sanitaire, associés à une minimisation des coûts pour le maître d'ouvrage et l'occupant (charges énergétiques).

Cet **ouvrage de référence** s'adresse à tous ceux qui sont associés à une opération de réhabilitation : propriétaire, bailleur, syndic de copropriété, conseil syndical, directeur de collectivité locale ou territoriale (ville, agglomération, communauté de communes, département, région), architecte, promoteur, aménageur, maître d'œuvre, bureau d'études...

Catherine Charlot-Valdieu
et **Philippe Outrequin**

Économistes de formation (docteurs en économie), ils travaillent ensemble depuis une vingtaine d'années pour élaborer et mettre en pratique des outils d'évaluation et des méthodes d'aide à la décision relatifs au développement durable urbain. Ils travaillent à l'échelle du bâtiment, du quartier (écoquartier ou renouvellement urbain) et de l'aménagement, comme AMO ou dans des projets de recherche. Les deux auteurs ont publié ensemble une douzaine d'ouvrages, les derniers traitent des bâtiments passifs dans le secteur tertiaire (2017) et du coût global dans les bâtiments et projets d'aménagement (2018).

Préface d'**Hélène Peskine**
Secrétaire permanente du Plan Urbanisme
Construction et Architecture (PUCA)

➤ Sommaire

Les enjeux et les techniques de réhabilitation énergétique. Les enjeux, le marché, les effets sur la balance commerciale et l'impact macroéconomique des modes de financement. Pourquoi, quand et comment réhabiliter ? Améliorer la gestion de l'énergie. Repenser la thermique du bâtiment. Favoriser le développement des technologies innovantes ou à venir. Intégrer les énergies renouvelables.

Quelles performances énergétiques avec quelles stratégies ? Rénovation BBC. Réhabilitation au standard passif (facteur 10). Mesurer la performance énergétique (MPEB). Éléments d'une stratégie de réhabilitation territoriale ou patrimoniale. Calculer la rentabilité des investissements. Une feuille de route pour chaque acteur du territoire.

Des opérations de réhabilitation exemplaire. Extension et surélévation en béton de chanvre. Réhabilitation passive d'un pavillon des années 1970. Rénovation à coûts maîtrisés d'un patrimoine classé. Transformation d'une maison de maître de centre-ville en logements passifs. Réhabilitation passive de grands ensembles des années 1950-1970. Réhabilitation passive de bâtiments de logements sociaux. Réhabilitation-extension de bâtiments de bureaux en 85 logements et 5 commerces passifs. Transformation avec extension en béton cellulaire d'une friche industrielle en logements et bureaux passifs. Stratégie patrimoniale de réhabilitation gagnant/gagnant.

ISBN : 978-2-281-14196-2



9 782281 141962

EDITIONS

LE MONITEUR