



HAL
open science

CSTB - Elodie 2.0 : bilan à 3 ans, rapport de synthèse

Alexandra Lebert, Jacques Chevalier, Sébastien Lasvaux, Nicoleta Schiopu, Francis Granec, G. Sibiude, B. Bosdevigie, E. Hoxha, M. Bazzana, Pierre Ravel, et al.

► **To cite this version:**

Alexandra Lebert, Jacques Chevalier, Sébastien Lasvaux, Nicoleta Schiopu, Francis Granec, et al..
CSTB - Elodie 2.0 : bilan à 3 ans, rapport de synthèse. CSTB - Centre scientifique et technique du bâtiment. 2013. hal-01026392

HAL Id: hal-01026392

<https://cstb.hal.science/hal-01026392>

Submitted on 21 Jul 2014

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Bâtiment durable

ELODIE 2.0

Bilan à 3 ans

Rapport de synthèse

LEBERT A. (Coord.), CHEVALIER J., LASVAUX S., SCHIOPU N., GRANNEC F., SIBIUDE G., BOSDEVIGIE B., HOXHA E., BAZZANA M. RAVEL P, FOUQUET M., HANS J., LUPSEA M. , GUIGOU C., BAILHACHE S., ROUGIER C., CARRE S., PERRAUDEAU M., MAUPETIT F., BELAÏD F. , CATARINA O., VIDEAU J.-B., GUIOT T., LAKEL A., BULTEAU G. HUMEAU P.

Université Paris-Est, Centre scientifique et technique du bâtiment

Novembre 2013

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT

SIÈGE SOCIAL > 84 AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2

TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX. (33) 01 60 05 70 37 | SIRET 775 688 229 000 27 | www.cstb.fr

ÉTABLISSEMENT PUBLIC À CARACTÈRE INDUSTRIEL ET COMMERCIAL | RCS MEAUX 775 688 229 | TVA FR 70 775 688 229

MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS

© 2014 CSTB



Ce texte est distribué sous les termes de la licence Creative Commons Attribution 3.0 non transposé **(CC BY 3.0)**

Le texte complet de la licence est disponible à l'adresse suivante :
<http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>

Résumé des droits et conditions de la licence :

⇒ **Vous êtes libre de :**

- partager (reproduire, distribuer et communiquer) l'œuvre ;
- remixer, adapter l'œuvre ;
- d'utiliser cette œuvre à des fins commerciales.

⇒ **Selon les conditions suivantes :**

- Attribution (paternité, crédit) : vous devez attribuer l'œuvre de la manière indiquée par l'auteur de l'œuvre ou le titulaire des droits (mais pas d'une manière qui suggérerait qu'ils vous approuvent, vous ou votre utilisation de l'œuvre).

Toute citation d'extraits, reproduction ou utilisation doit obligatoirement faire apparaître la référence de ce document sous la forme : **LEBERT A. (Coord.). Elodie 2.0 : bilan à 3 ans, rapport de synthèse, CSTB, novembre 2013, 37 p.**

⇒ **Comprenant bien que**

- les droits suivants ne sont en aucune manière affectés par la licence :
 - Vos prérogatives issues des exceptions et limitations aux droits exclusifs ou *fair use* ;
 - Les droits moraux de l'auteur que rien dans ce contrat ne diminue ou ne restreint.
- A chaque réutilisation ou distribution de cette œuvre, vous devez faire apparaître clairement au public la licence selon laquelle elle est mise à disposition. La meilleure manière de l'indiquer est un lien vers cette page web : <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/deed.fr>.

Résumé

Le projet *Elodie 2.0* a contribué à mettre à la disposition du secteur de la construction des méthodes et des outils pour concevoir et évaluer les bâtiments dans une approche performancielle. Pour donner à chacun des acteurs une vision globale sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment, le projet *Elodie 2.0* s'est intéressé aux outils « métier », ainsi qu'aux chaînes de valeurs aboutissant à des critères globaux à l'échelle du bâtiment. Le tableau de bord en construction intègre donc les aspects énergétiques et environnementaux (approche Analyse de cycle de vie autour de l'outil logiciel Elodie), mais également les aspects de confort (outils Acoubat et Phanie), de santé (qualité de l'air intérieur) et de coût global.

Mots clés : conception, évaluation, méthodes et outils, performance environnementale, performance énergétique, confort acoustique et visuel, qualité de l'air intérieur, coût global

Abstract

The *Elodie 2.0* project has contributed to provide to the construction sector methods and tools for designing and evaluating buildings, in a performance approach. To give each stakeholder an overall vision of the entire life cycle of the building, the *Elodie 2.0* project considered expert's tools, as well as value chains leading to comprehensive and wide criteria, at the building scale. The building project scoreboard includes energy and environmental aspects (life cycle assessment through Elodie software tool), but also aspects of comfort (Acoubat Phanie), health (indoor air quality) and overall cost.

Keywords: design, evaluation, methods and tools, environmental performance, energy performance, acoustic and visual comfort, indoor air quality, overall cost

Table des matières

1. ENJEUX.....	5
1.1 enjeux pour le secteur de la construction	5
1.1.1 Enjeux spécifiques aux aspects environnementaux	7
1.1.2 Enjeux spécifiques aux aspects énergétiques	8
1.1.3 Enjeux spécifiques aux aspects hydriques	8
1.1.4 Enjeux spécifiques au confort et à la santé	9
1.1.4.1 Confort acoustique	9
1.1.4.2 Confort visuel	9
1.1.4.3 Qualité de l'air intérieur	10
1.1.5 aspects économiques.....	11
1.2 enjeux a l'échelle urbaine	11
2. RÉSULTATS DU PROJET.....	13
2.1 Résultats scientifiques.....	13
2.1.1 Performances environnementales.....	14
2.1.1.1 A l'échelle des bâtiments.....	14
2.1.1.2 Performances environnementales à l'échelle urbaine	17
2.1.2 Performances énergétiques des bâtiments.....	18
2.1.3 Le confort au travers des indicateurs de performance	19
2.1.3.1 Performances en termes de confort thermique.....	19
2.1.3.2 Performances acoustiques des bâtiments	19
2.1.3.3 Performances des bâtiments en termes de confort visuel	20
2.1.3.4 La santé au travers d'indicateur de qualité de l'air intérieur	21
2.1.4 Performances économiques des bâtiments	22
2.1.5 Travaux de mise en cohérence.....	22
2.1.6 Vers un tableau de bord homogène et commun	23
2.2 Valorisation des travaux	24
2.2.1 Soutien aux politiques publiques	24
2.2.2 Acteurs socioéconomiques.....	25
2.2.3 Développement logiciel	26
3. PERSPECTIVES DU PROJET	28
3.1 Perspectives en termes de recherche et développement	28
3.1.1 La performance environnementale	28
3.1.2 Performance énergétique	29
3.1.3 Confort et santé.....	29
3.1.4 Travaux de mise en cohérence.....	30
3.2 Stratégies de valorisation	30
LISTE DES RÉFÉRENCES.....	32

1. ENJEUX

1.1 ENJEUX POUR LE SECTEUR DE LA CONSTRUCTION

En application des principes généraux du développement durable¹, **le secteur de la construction amorce le passage à l'approche performancielle.**

Le contexte politique, économique, environnemental et social est caractérisé par :

- **des engagements politiques quantifiés** sur l'environnement. La France s'est engagée sur un calendrier et des objectifs chiffrés visant la diminution de ses émissions de gaz à effet de serre (moins 40 % en 2030 puis 60 % en 2040)². Elle assume également des politiques volontaristes en matière de ressources énergétiques épuisables ou sur le volume des déchets éliminés se traduisant ensuite par des exigences réglementaires : engagement pour une réglementation énergétique et environnementale à l'horizon 2020 inscrite dans la loi « Grenelle II » pour la mise en place d'une « Réglementation Bâtiments Responsables 2020 », contrainte réglementaire de déclaration des « Bilan carbone » des entreprises de plus de 500 salariés dont les majors de la construction ;
- une demande des acteurs économiques (par exemple, foncières, entreprises de construction, etc.) pour une approche performancielle et une valorisation économique de la « valeur verte » des bâtiments. Cette demande se traduit notamment par le **développement de systèmes de reporting** (orientés tant pour une communication externe que pour une gestion interne d'un parc), d'évaluation, de certification ou labellisation des bâtiments s'orientant vers des exigences performancielles (lancement de HQE Performance, travaux de la Sustainable Building Alliance sur le *core set of indicators*, etc.) ;
- **une demande** émergente des citoyens **d'informations explicites et fiables** sur les aspects de confort et de santé, en particulier pour les nouveaux bâtiments très performants énergétiquement et, plus largement, une forte attente sur la qualité environnementale des produits et biens achetés.

Les priorités, en termes d'enjeux **évoluent, notamment** :

- L'amélioration graduelle des performances énergétiques des bâtiments depuis les premières réglementations thermiques conduit les acteurs à non seulement remettre en question leurs pratiques (que ce soit pour concevoir, réaliser, exploiter ou habiter), mais également à **élargir le champ d'observation**. Les bâtiments neufs consomment aujourd'hui peut-être 7 fois moins d'énergie que ceux construits il y a 40 ans. Ainsi, si l'on examine le bilan énergétique complet d'une maison sur 50 ans, en considérant l'énergie directe (l'énergie nécessaire à son exploitation) et que l'énergie indirecte (celle utilisée pour sa construction, son entretien et

¹ Ces principes font notamment l'objet de la norme ISO 15392

² Rappel des objectifs défendus par la France en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre, cf. Lettre de cadrage pour la transition écologique pour l'année 2013, adressée par le premier ministre à monsieur le ministre des Affaires étrangères.le 23 janvier 2013

sa démolition), on s'aperçoit que **l'énergie relative aux postes réglementaires pèse 30 % du bilan**. Les 70 % restant correspondent aux consommations d'énergie relatives à l'activité des occupants, à celles ayant permis la mise à disposition des matériaux, etc.

- A l'échelle nationale, en 2009, le secteur résidentiel-tertiaire représentait 24% des émissions³ de gaz à effet de serre (émissions qui ont globalement diminué de 19 % en 40 ans grâce à la diminution du contenu carbone des énergies utilisées) alors que les matériaux de construction en représentaient environ 6 %. Les enjeux sont différents lorsque l'on restreint le champ d'observation au parc neuf. Aujourd'hui, si l'on regarde le bilan en gaz à effet de serre d'une maison sur 50 ans, la mise à disposition du bâtiment représente 60 % des émissions et les postes réglementaires 20 %⁴.

Ainsi, pour :

- piloter de manière éclairée, objective et transparente ;
- que la démarche engagée n'éclipse pas les résultats effectifs ;
- appréhender les enjeux dans leur globalité et non pas traiter une somme de singularités ;
- éviter les effets rebonds orthogonaux aux objectifs globaux ;

Le secteur doit construire une approche globale et performancielle sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.

Cette démarche performancielle, pour influencer de manière sensible sur les performances d'un bâtiment, doit être déployée et pensée dans les différentes phases de conception du bâtiment, notamment lors de la programmation. Les phases amonts de conception, sont les étapes clefs pour les choix essentiels. L'évaluation vient trop souvent trop en aval de ces décisions.

La démarche d'évaluation des performances d'un bâtiment, engagée depuis près de 20 ans par les acteurs du secteur de la construction vit ainsi une importante phase de transition. Elle connaît un changement de paradigme en s'orientant vers :

- une évaluation de plus en plus performancielle,
- **multicritère** (c.-à-d. non plus seulement énergétique) et
- basée sur le cycle de vie complet du bâtiment (et non plus seulement sur la phase d'exploitation du bâtiment).

Le secteur, pour pouvoir s'adapter, doit disposer de méthodes cohérentes entre elles et d'outils opérationnels pour différentes approches métiers, c'est-à-dire pour les **aspects énergie, environnement, eau, santé, confort, économique et social**.

Pour permettre cette (r)évolution vers une approche performancielle, les méthodes, modèles et outils ne doivent plus être les prérogatives exclusives des seuls experts mais devenir accessibles au plus grand nombre. Les acteurs de la maîtrise d'ouvrage, de la conception, de la

³ Source : Citepa

⁴ Source : CSTB. Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance : analyses statistiques, octobre 2013

réalisation et de l'exploitation des bâtiments notamment doivent appréhender globalement leurs projets.

Face à ces évolutions en termes d'approche et face à l'avènement de bâtiments très performants énergétiquement (voire à énergie positive), les systèmes d'évaluation (orientés pour la conception et/ou l'évaluation) doivent être repensés. Les problématiques ayant muté (soulignons par exemple l'émergence des problématiques telles que le changement climatique), les modèles doivent être réorientés pour ne pas passer à côté d'enjeux émergents. Les indicateurs globaux doivent être construits au regard des (nouveaux) besoins des acteurs du secteur. **Ainsi, le secteur de la construction reconstruit tout un système d'évaluation adapté à cette transformation : méthodologies de calcul, outils de calcul, échelles de référence, système(s) d'aide à la décision associé(s). Et c'est l'objectif porté par le projet *Elodie 2.0*.**

Le projet *Elodie 2.0*, portant essentiellement sur les projets de bâtiments neufs, doit permettre la construction de ces chaînes de valeurs pour les aspects énergétiques et environnementaux, mais également pour les aspects de confort et de santé, en s'appuyant sur les travaux menés dans le cadre de la priorité scientifique et technique "Usages-santé-confort" du programme de recherche du CSTB.

1.1.1 ENJEUX SPÉCIFIQUES AUX ASPECTS ENVIRONNEMENTAUX

Pour les aspects environnementaux, la démarche d'évaluation des performances d'un bâtiment, s'appuie de plus en plus souvent sur une approche d'analyse de cycle de vie (ACV)⁵. Cette approche, retenue et promue par les pouvoirs publics irriguera les outils d'évaluation, de pilotage et de prise de décisions stratégiques, qu'il s'agisse :

- de politiques publiques et de réglementation : c'est le cas en France pour la base de données réglementaire sur les déclarations environnementales de produits de construction, et ce sera très vraisemblablement le cas pour la réglementation bâtiment à l'horizon 2015-2020,
- de certification et de labellisation d'ouvrages : dans la logique du déploiement du référentiel HQE Performance en France (mais aussi LEED v4, référentiel du DGNB, BREEM ...),

Mais **l'ACV reste un outil essentiellement utilisé par un public d'experts** : chercheurs, experts en environnement et quelques acteurs très avertis de la maîtrise d'œuvre. Les acteurs sont confrontés à la **complexité des études**, au **manque de reproductibilité** de celles-ci, à la sensibilité des résultats aux hypothèses effectuées et à la difficulté d'appréhender un **résultat multicritère**. Enfin, au regard du temps nécessaire pour réaliser une étude, celle-ci représente un luxe difficile à transférer dans la pratique courante.

⁵ L'analyse de cycle de vie est une approche visant à quantifier les impacts environnementaux d'un produit (ou service) tout au long de son cycle de vie, de l'extraction des matières premières jusqu'à la gestion de sa fin de vie (centre de stockage, recyclage...). L'ACV est une démarche normalisée qui suit une procédure décrite dans la série des normes ISO 14040.

Cette approche fait donc l'objet de critiques sévères et le CSTB s'est attaqué aux verrous scientifiques et techniques pour fiabiliser et crédibiliser les ACV de bâtiments et les rendre opérationnelles.

L'ACV ne permettant pas d'appréhender tous les enjeux environnementaux, d'autres méthodes doivent être conçues et déployées pour permettre aux acteurs de se saisir, notamment, des enjeux relatifs à la biodiversité et d'utilisation des sols.

1.1.2 ENJEUX SPÉCIFIQUES AUX ASPECTS ÉNERGÉTIQUES

Pour les aspects énergétiques, l'évolution des réglementations thermiques successives a permis la création, le développement et la diffusion de plusieurs indicateurs relatifs à la performance thermique du bâti (enveloppe, inertie, perméabilité), à la performance énergétique des équipements et du bâtiment, à l'insertion du bâtiment dans un contexte énergétique global et au confort d'été.

Par ailleurs, le CSTB est mandaté par la Direction de l'habitat, de l'urbanisme et des paysages⁶ (DHUP) et l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (Ademe) pour développer et maintenir le cœur de calcul permettant les calculs réglementaires relatifs à l'énergie. Ce cœur de calcul est ensuite intégré dans les logiciels diffusés auprès des professionnels par des éditeurs de logiciels.

Sur la base de cette expérience, le CSTB poursuit ses travaux pour les **phases amont au calcul réglementaire** ce qui induit des travaux visant :

- une **connaissance approfondie de toutes les consommations** d'énergie du bâtiment (postes réglementaires, usages liés - ascenseurs, volets roulants motorisés, etc.- ou non - électroménager, système d'information, etc.), ainsi que le développement de modèles pour chacun de ces postes de consommation ;
- une connaissance approfondie **des systèmes** producteurs d'énergie (système photovoltaïque, etc.) ;
- une **mise en cohérence** des modèles retenus pour le calcul énergétique avec ceux utilisés par les outils métiers du CSTB: outils de confort visuel (par exemple, modèle pour calculer les consommations d'éclairage), de consommations d'eau (par exemple, récupération de calories sur eaux grises, volume d'eau chaude sanitaire), d'impacts environnementaux (énergies renouvelables et non renouvelables), etc.

1.1.3 ENJEUX SPÉCIFIQUES AUX ASPECTS HYDRIQUES

Pour les aspects liés au cycle de l'eau (traités en synergie avec le projet *Cycle de l'eau*), le CSTB se positionne aujourd'hui dans une approche globale en développant des méthodes et des outils permettant **d'estimer les consommations d'eau** d'un bâtiment, les impacts environnementaux induits, ainsi que le potentiel en eau de pluie d'un bâtiment et de sa parcelle. Cet objectif nécessite une connaissance affinée des process amont (potabilisation,

⁶ Il s'agit de l'une des sous-directions de la Direction générale de l'aménagement, du logement et de la nature, placée alors sous la double égide du ministère du Logement et de la ville et du ministère de l'Écologie, de l'énergie, du développement durable et de l'aménagement du territoire.

distribution, etc.) et aval (collecte et assainissement). Par ailleurs, le CSTB poursuit son accompagnement à l'innovation en élargissant les modèles de consommation d'eau et d'énergie aux processus nouveaux (par exemple, usage des eaux de pluie dans le bâtiment ou récupération de calories sur eaux grises).

1.1.4 ENJEUX SPÉCIFIQUES AU CONFORT ET À LA SANTÉ

L'objet bâtiment est étudié au travers des fonctions qu'il offre (il s'agit de son équivalent fonctionnel). Sa principale fonction est d'abriter (de rendre possible) une activité, généralement humaine. **La relation à l'occupant**, est donc primordiale dans cette approche performancielle, qui s'intéresse alors aux diverses composantes du confort de l'occupant (confort acoustique, thermique, visuel) et à la préservation de sa santé (prise en compte de la qualité de l'air intérieur).

Ce n'est pas au sein du projet *Elodie 2.0* que les modèles relatifs à l'acoustique, à l'éclairage ou aux émissions de polluants sont construits. Mais *Elodie 2.0* se nourrit des travaux réalisés dans le cadre de la priorité scientifique et technique "Santé-Confort" du programme de recherche du CSTB. Le projet *Elodie 2.0* s'intéresse à **l'agrégation de l'information à l'échelle du bâtiment** dans l'objectif de fournir à l'équipe de conception une information globale, synthétique et cohérente lui permettant de faire des choix éclairés ou de faire réaliser des études plus sophistiquées complémentaires.

1.1.4.1 Confort acoustique

Pour les aspects relatifs au confort acoustique, le CSTB dispose depuis plus de 15 ans, d'un logiciel de prédiction des performances acoustique d'un ouvrage : Acoubat⁷. Cet outil logiciel permet pour un ouvrage, à partir des performances de différents produits, composants et équipements choisis (base de données contenant plus de 2000 produits dont les performances ont été mesurées dans des laboratoires accrédités) et d'une modélisation de sa géométrie, de **prédire ses performances acoustiques**. Celles-ci sont exprimées **pour les différentes parois ou les différents locaux modélisés**. Or, nous assistons à l'émergence du **besoin des acteurs d'obtenir des indicateurs globaux à l'échelle de l'ouvrage représentatifs du confort acoustique du bâtiment**. Le CSTB a donc entrepris de faire évoluer ses méthodes et outils de conception pour calculer des indicateurs à l'échelle de l'ouvrage (neuf ou existant) et positionner celui-ci sur une échelle de référence.

1.1.4.2 Confort visuel

Pour les aspects relatifs au confort visuel, le CSTB développe l'outil Phanie, qui permet de **définir en chaque point d'un bâtiment et pour chaque pas de**

⁷ ACOUBAT Sound V6.0 : logiciel développé par le CSTB permettant de prédire les performances acoustiques d'un ouvrage à partir des performances de produits/composants et en modélisant une géométrie.

temps, des indicateurs de confort visuel. A partir de données météorologiques, de la géométrie du bâtiment, des masques existants et de la définition du positionnement de l'occupant, Phanie propose une évaluation de l'éclairage, de la luminance maximale et des indices d'éblouissement. Cet **outil de conception fin**, utilisé essentiellement par des experts du CSTB pour de l'expertise, est confronté à une demande multiple d'évolution, notamment, vers des méthodes globales d'évaluation à l'échelle du bâtiment, à des besoins de mise en cohérence avec d'autres outils métiers et au développement de méthodes adaptées à des acteurs moins experts du confort visuel. **Les différents acteurs de la conception**, avant de travailler de manière fine sur chacune des zones d'un bâtiment, **ont besoin d'une estimation globale du confort visuel du bâtiment.** Il s'agit alors de concilier précision des évaluations, complexité des calculs (pour évaluer en chaque pas de temps, de manière complète, le confort) et besoin d'agrégation des informations à l'échelle du bâtiment et de l'année.

Ensuite, dans la perspective d'une co-simulation énergie/éclairage complète (dans le cadre du projet *Simbio* de la Priorité scientifique et technique « Simulation et outils numériques »), il est nécessaire de mettre en cohérence les méthodes implémentées sous Phanie et les méthodes plus simplifiées intégrées dans les calculs énergétiques portés dans Cometh (visant à calculer les besoins en éclairage, donc en énergie).

1.1.4.3 Qualité de l'air intérieur

La qualité de l'air intérieur (QAI) est une préoccupation sanitaire grandissante depuis plusieurs années en France, tant pour les bâtiments recevant des publics considérés comme sensibles (par exemple, crèches, écoles maternelles) que pour les logements et les bureaux. Le CSTB, en tant que coordinateur scientifique de l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur (OQAI) engage des campagnes nationales de caractérisation de la QAI dans le parc des bâtiments existants (par exemple, campagnes en cours dans les écoles et dans les bureaux) et capitalise ainsi des informations relatives aux bâtiments en exploitation.

Par ailleurs, le CSTB a une forte activité d'essais de caractérisation des polluants volatils émis par les produits et matériaux de construction ainsi que par les éléments d'ameublement du bâtiment. Cette information n'est ni capitalisée par le CSTB ni facilement disponible pour le public (études privées). Toutefois, les fabricants de produits et matériaux de construction se sont engagés depuis 2004 dans la mise à disposition (volontaire) de fiches de déclarations environnementales et sanitaires (FDES) sur leurs produits, rassemblées dans la base de données INIES⁸. Le volet sanitaire de ces FDES inclut des informations qualitatives ou quantitatives sur les polluants émis par ces produits. Enfin, depuis le 1^{er} septembre 2013, l'étiquetage des émissions de polluants volatils par la plupart des produits de construction et de décoration est devenu obligatoire.

Reste un verrou scientifique majeur dans cette problématique : la prédiction de la qualité de l'air intérieur pour permettre des choix éclairés

⁸ INIES est une base de données française sur les impacts environnementaux et sanitaires des produits, équipements et services pour l'évaluation de la performance des ouvrages.

en phase conception. Des travaux de recherche ont été engagés au CSTB sur cette problématique, cherchant à modéliser la QAI comme la résultante d'un ensemble de sources de pollutions extérieures et intérieures, de leurs interactions et du renouvellement d'air du bâtiment (ventilation). Ces travaux se poursuivent mais n'aboutiront que dans quelques années. En parallèle, **le CSTB, dans le cadre du projet Elodie 2.0, a entrepris de mettre au point une méthode de calcul simplifiée**, permettant, dans un premier temps, de sensibiliser les acteurs de la construction à cette problématique tout en exploitant les données d'ores et déjà disponibles.

1.1.5 ASPECTS ÉCONOMIQUES

La dimension économique de chaque choix de conception est incontournable et c'est bien souvent ce critère qui prévaut sur les autres. Le CSTB dans sa volonté de promouvoir une approche **cycle de vie**, a souhaité proposer des approches en coût global, liées à l'approche ACV. Ce n'est pas au sein du projet *Elodie 2.0* que les données ou méthodes sont développées, mais ce projet se place en assembleur et propose de juxtaposer l'approche coût global à l'approche Analyse de Cycle de Vie pour en coupler certains aspects.

Ainsi, le CSTB s'est fixé comme objectifs de :

1. Disposer en 2020 d'un outil d'évaluation et d'aide à la conception qui intègre les aspects énergie, environnement, santé, confort, économique et social ;
2. Proposer un outil adapté aux besoins de chaque type d'acteurs.

Le projet *Elodie 2.0* a contribué à cet objectif en levant un certain nombre de verrous scientifiques et techniques, en mettant en place des méthodes et des modèles dont la pertinence a été (ou sera) validée par des expérimentations.

1.2 ENJEUX A L'ÉCHELLE URBAINE

A l'échelle urbaine, la demande politique - tant au niveau national que des collectivités locales - est très forte pour porter des éco-quartiers. Cécile Duflot, alors ministre du Logement, a officiellement lancé le label national ÉcoQuartier en décembre 2012. Si la conception et l'évaluation de l'aménagement durable utilise aujourd'hui des approches orientées "moyens" essentiellement, les approches orientées "performances" émergent. Les démarches de reconnaissances existantes comme HQE-Aménagement et Label EcoQuartier proposent la mesure d'indicateurs.

Au CSTB, le projet *EvaluP* (EVALUation de Projets urbains, priorité scientifique et technique « Du quartier à la ville durable ») porte une approche globale,

multicritère, sur les aspects énergétiques, environnementaux, de confort, sociologiques. EvaluP s'interroge notamment sur l'objet et l'objectif de l'évaluation face à la multiplicité et à la diversité des acteurs concernés.

Le projet *QBC* (Quartier Bas Carbone, priorité scientifique et technique « Du quartier à la ville durable ») propose pour sa part d'outiller les acteurs pour l'évaluation de stratégies (technologiques, architecturales) visant à rationaliser l'usage de l'énergie à cette échelle.

Le projet *Elodie 2.0*, interagit et alimente ces deux projets, en s'intéressant uniquement au segment des performances environnementales, vues au travers d'une approche cycle de vie. Il s'intéresse donc aux questions suivantes :

- Comment évaluer la performance environnementale de ce système complexe qu'est un territoire ?
⇒ Notamment, comment prendre en compte la mise à disposition et le fonctionnement des objets techniques le constituant (réseau de chaleur, éclairage public, bâtiments) ?
- Comment gérer les différentes temporalités des objets constitutifs du système complexe évalué ? (Car si l'on peut imaginer traiter l'objet bâtiment sur son cycle de vie complet, comment appréhender les évolutions d'un quartier ou d'un territoire sans vouloir préjuger de l'existence et de l'unicité d'un « instant initial » et d'un « instant final » ?)

2. RÉSULTATS DU PROJET

Le projet *Elodie*, structuré à l'origine autour du logiciel d'analyse du cycle de vie bâtiment conçu et diffusé par le CSTB, a été initié en 2007 par l'équipe environnement⁹ du CSTB. Celui-ci a pris une nouvelle dimension en 2010 avec l'avènement de ce projet de recherche éponyme, tant par les problématiques placées au cœur des travaux que par les ressources affectées au projet. A début 2013, ce n'étaient pas moins de 25 ingénieurs de recherche, techniciens et doctorants (à différents niveaux d'implication) et 3 développeurs informatiques, faisant partie de 9 équipes opérationnelles¹⁰ différentes, qui étaient impliqués directement dans le projet de recherche *Elodie 2.0*. Ce projet aura rassemblé les directions Energie-environnement (EE), Santé-confort (SC), CAPE (Climatologie-aérodynamique-pollution-épuration (CAPE) et Economie et sciences humaines (ESH) du CSTB. *Elodie 2.0*, de par ses objectifs, est un projet de recherche avec une composante développement et diffusion (notamment logicielle).

Le bilan de ce projet porte sur deux facettes de celui-ci : les résultats scientifiques des travaux de recherche et de développement ainsi que sur les résultats en termes de diffusion et de valorisation.

En effet, selon les sujets, les actions ont été de l'ordre de :

- travaux amont de construction des modèles (et des outils pour les appliquer) ;
- mise en cohérence des méthodes entre elles (issues de différents métiers) ;
- travaux de simplification :
 - o en amont : simplification des méthodes (par exemple en vue d'une réduction des temps de calcul et de modélisation),
 - o en aval : simplification des interfaces (en vue de les rendre plus opérationnelles).
- travaux de recherche appliquée en réponse à des besoins opérationnels ;
- définition et validation d'un prototype (par exemple, *Elodie*) ou validation des méthodes et modèles sur des cas théoriques et réels (cas d'étude ou expérimentation à plus grande échelle);
- enrichissement des méthodes par retour d'expérience.

L'ambition était de porter tous les sujets au bon niveau de maturité, afin que le CSTB puisse proposer des méthodes adaptées à l'ensemble des acteurs de la construction.

2.1 RÉSULTATS SCIENTIFIQUES

Les résultats présentés ici sont en priorité ceux relatifs à la recherche menée grâce à la subvention pour charge de service public que reçoit le CSTB. Pour les aspects environnementaux, il s'agit également des résultats issus des projets de

⁹ A présent EICV : environnement et ingénierie du cycle de vie

¹⁰ Divisions Environnement et ingénierie du cycle de Vie, Performances énergétiques des bâtiments, Energies renouvelables et Développement informatique et méthodes numériques pour la Direction EE ; Divisions Acoustique et vibrations des bâtiments, Laboratoire d'essais acoustiques, Physico-chimie : sources et transferts de polluants, et Eclairage et électromagnétisme pour la Direction SC ainsi que les équipes des directions CAPE et ESH.

recherche collaborative et partenariale dont les feuilles de route sont imbriquées dans celle d'Elodie 2.0.

2.1.1 PERFORMANCES ENVIRONNEMENTALES

2.1.1.1 A l'échelle des bâtiments

La performance environnementale, évaluée sur le cycle de vie du bâtiment est considérée comme la somme des impacts de différents contributeurs :

- les produits de construction et équipements ;
- les consommations d'énergie ;
- les consommations d'eau ;
- la phase chantier ;
- les déplacements des occupants du bâtiment.

Sur la période 2010-2013, le CSTB aura permis à l'analyse de cycle de vie appliquée au bâtiment d'effectuer un tournant majeur et de faire de cet outil d'experts un outil opérationnel. Le CSTB a orienté ses travaux vers la **fiabilisation, la simplification et l'adaptation des méthodes d'ACV aux acteurs.**

La **structuration d'une méthodologie évolutive selon les objectifs et les contextes** d'étude a été développée dans le cadre du projet européen FP7 EeB Guide¹¹. Les méthodologies propres à chaque contributeur ont été définies dans le cadre de l'ANR Benefis ainsi que dans le cadre du partenariat avec Bouygues Construction. Une part importante des efforts a été consacrée au contributeur produits et équipements, dont les impacts sont conséquents et dont l'étude était particulièrement chronophage jusqu'alors.

Plusieurs stratégies d'adaptation ou de simplification ont été engagées :

- Des liens avec des outils amont opérationnels : lien avec la **maquette numérique** grâce à l'outil eve-BIM Elodie (module permettant de visualiser une maquette et de l'enrichir de données environnementales avant d'envoyer les résultats sous Elodie), liens avec des **outils de chiffrages** économique propres à des acteurs (par exemple, Bouygues Construction, foncière Nacarat) ;
- Une capitalisation des études précédentes, une observation fine des besoins des acteurs et des partenariats (par exemple Bouygues Construction et Cerqual): cette stratégie a permis la création dans Elodie de modes d'évaluation simplifiés basés sur des données statistiques ou de données agrégées.
- Des modèles de simulation pré-remplis pour des structurations homogènes (format HQE Performance).

Cette logique consistant à aborder les simulations de manière détaillée ou simplifiée pour s'adapter aux acteurs, à leurs besoins et à l'avancement du projet se décline pour tous les contributeurs, notamment énergie, eau, chantier.

¹¹ B. Wittstock, J. Gantner, S. Lasvaux, T. Saunders, P. Fullana-i-Palmer, J-A Mundy, C. Sjöström et al. EeBGuide guidance document "Operational guidance for Life Cycle Assessment of the Energy-Efficient buildings initiative", Project report, 2012 [Available online (InfoHub): www.eebguide.eu]

La validation de ces stratégies est réalisée dans le cadre d'expérimentations internes et externes (ANR Benefis qui s'achèvera en 2014).

Le CSTB a également mis en place une **base de données génériques**. Jusqu'à présent les calculs effectués avec Elodie s'effectuaient essentiellement à l'aide des FDES de la base INIES, propres à un produit (voire à une référence commerciale) en particulier. Or cet ensemble de données ne permettait pas de modéliser de manière cohérente un bâtiment en phase amont de conception, lorsque la nature précise des produits était inconnue. De même, certains acteurs ne souhaitent pas choisir les données environnementales eux-mêmes ; ils souhaitent uniquement s'en tenir à la description des composants ce qui implique au niveau de l'outil un « pré-câblage » automatique entre des composants types et des données génériques. Enfin, la base de données INIES n'intègre pas de données de process pour les consommations d'énergie ou d'eau, essentielles pour un calcul complet.

Pour répondre à ces besoins, ont été produits :

- **Environ 160 données génériques à l'échelle produit ou matériaux**, qui sont elles-mêmes à la base d'environ 50 macro-composants ;
- Un set de données de durées de vie par défaut ;
- Un set de données pour les process énergie, eau, déchet et transport.

Cette base de données a été définie pour permettre des modélisations ACV de bâtiment complètes avec un minimum de données. Ces données constituent une base cohérente pour la construction de macro-composants et permettent ainsi d'améliorer la reproductibilité des calculs environnementaux en proposant une base de données vérifiée et homogène. Cette base de données, constituée par le CSTB est le fruit de divers partenariats avec des organismes tels que l'Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux (IFSTTAR) ou

l'École des Ponts ParisTech (ENPC). Celle-ci est à présent mise à disposition des utilisateurs de l'outil Elodie.

La **reproductibilité des modélisations ACV** est un sujet clef pour crédibiliser l'ACV comme outil de conception et d'évaluation. Le CSTB s'est donc attaché à décrire les paramètres à considérer pour assurer cette reproductibilité. Celle-ci s'entend

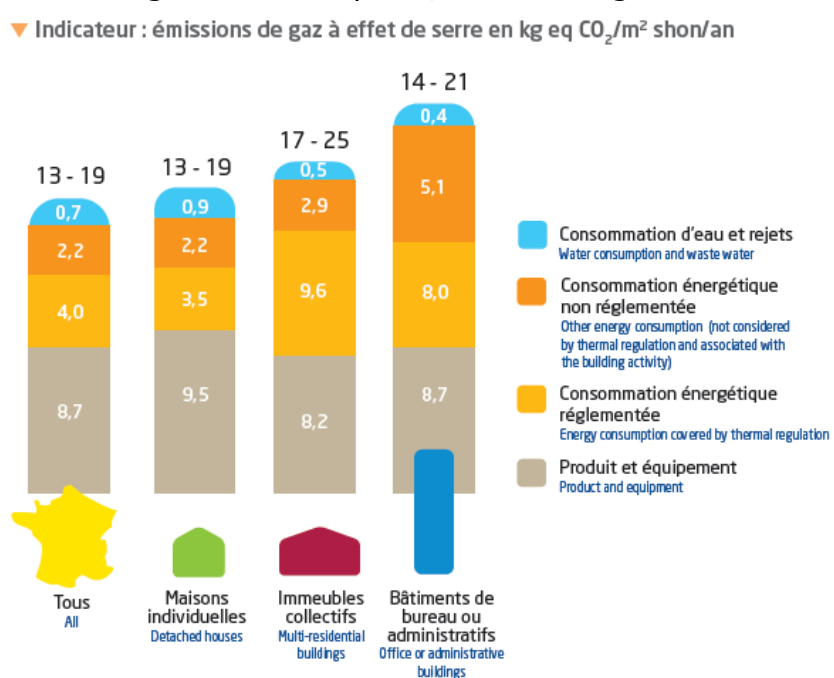


Figure 1: Extrait de la brochure HQE Performance, les premières tendances pour les bâtiments neufs. 2011. 32 pages.

comme la reproductibilité des résultats et des conclusions¹² entre différents utilisateurs d'outils d'ACV et différents outils eux-mêmes.

Les calculs doivent pouvoir être vérifiés et doivent être documentés (hypothèses, données d'entrée, règles de calcul). Dans le cadre des travaux des projets HQE Performance ou ANR Benefis, les questions de reproductibilité entre utilisateurs et entre outils ont été étudiées et des recommandations avancées.

Durant ces trois dernières années, le CSTB a également avancé sur les questions **d'analyse et d'interprétation des résultats** d'ACV.

L'un des axes de travail a été la mise à disposition d'échelles de référence pour l'évaluation globale du bâtiment. Les deux volets successifs de **l'expérimentation HQE Performance**, placés sous l'égide de la DHUP, l'Ademe et l'Association HQE, auront nécessité l'engagement de nombreux acteurs (des centres de ressource régionaux, des syndicats professionnels, des certificateurs, des maîtres d'œuvre, des bureaux d'étude, le Réseau Scientifique et Technique de l'Etat, ...).

Le résultat est la définition de premières échelles de référence, en particulier sur le contributeur produits et équipements, mises à disposition des acteurs de la construction. En outre, les expérimentations HQE Performance auront permis de vérifier l'opérationnalité de la démarche et la mise en place de documents cadre.

Des travaux de thèse nous permettent également d'avancer sur la **compréhension des incertitudes** sur les résultats d'ACV. Des travaux sont menés en particulier sur les incertitudes liées aux données utilisées pour le contributeur produits et équipements. Une méthode a été proposée, afin d'identifier les éléments prioritaires permettant de diminuer cette incertitude.

Enfin, le CSTB continue et approfondit ses travaux sur la **fiabilisation des données d'entrée**. Plusieurs partenariats ont été engagés en 2012 avec l'École polytechnique fédérale de Zurich (**ETH**) et le centre **Ecoinvent** dans le cadre de deux projets CARNOT. L'objectif est de s'appuyer sur des compétences internationalement reconnues en matière d'Analyse de Cycle de Vie (base de données Ecoinvent notamment) pour améliorer la fiabilité des données environnementales françaises (par exemple les données génériques de la base Elodie). De la même manière, le projet ACV de la **chaire Bouygues « Bâtir Durable et Innover »** permet de consolider les données et les méthodologies de calcul de l'ACV bâtiment (proposition d'indicateurs de qualité de données, sondage sur les pratiques de revue critique pour améliorer les grilles de vérification actuelles sous Elodie, prise en compte des incertitudes, diagnostic des acteurs du processus de conception d'un bâtiment sur leurs besoins en matière d'ACV etc.).

Par ailleurs, le CSTB aura fortement contribué à la mise en place d'une **méthodologie pour calculer les impacts des déplacements des occupants** liés à la localisation du bâtiment. Cette méthodologie permet d'estimer les

¹² Par exemple dans le cadre d'une comparaison de variantes.

distances parcourues par les occupants d'un bâtiment et les modes de transports utilisés et d'en déduire les impacts environnementaux des déplacements liés à la localisation du projet. Initiée dans le projet de recherche précédent *Elodie 2.0* (2007-2009), elle a été consolidée dans le cadre d'une convention de partenariat rassemblant l'association Effinergie, la Caisse des Dépôts et Consignation et le CSTB. Un outil (Effinergie-Ecomobilité)¹³ a été développé et mis à disposition du grand public comme outil pédagogique.

Ces travaux sur la performance environnementale à l'échelle des bâtiments ont essentiellement portés sur les bâtiments neufs. Des premières avancées méthodologiques ayant trait aux opérations de réhabilitation ont été réalisées (ANR Effinov) mais leur consolidation devra se faire dans la suite de ces travaux.

2.1.1.2 Performances environnementales à l'échelle urbaine

La problématique de l'évaluation des performances environnementales aura avancé entre 2010 et 2013 par le biais de trois projets de recherche : *Evaluation des projets urbains* (EvalUP), *Quartier Bas Carbone* (QBC) et *Elodie 2.0*.

A partir des verrous identifiés (par exemple, une seule méthodologie d'évaluation n'est pas suffisante pour l'évaluation d'un système complexe, certains indicateurs souvent peu ou pas considérés à l'échelle d'un produit ou d'un bâtiment sont essentiels lors des évaluations à l'échelle d'un territoire, etc.), il est proposé une nouvelle méthodologie d'évaluation, appelée « **méthodologie hybride d'évaluation environnementale à l'échelle d'un territoire anthropisé** ». Cette méthodologie hybride, à la fois modulaire et systémique, basée sur le concept de cycle de vie et sur l'analyse multicritère, vise l'atteinte d'une synergie entre les différentes méthodologies existantes, dont notamment :

- l'Analyse de cycle de vie (attributionnelle, dynamique, conséquentielle) ;
- le Métabolisme urbain (par exemple, analyse des interactions entre un territoire et son environnement sur le plan des flux de matière) ;
- l'Évaluation des risques environnementaux.

Certaines composantes (objets et flux) d'un territoire anthropisé (approche modulaire) ont notamment été identifiées et pré-analysées :

- l'objet « bâtiment » ;
- l'objet « infrastructure transport » (chaussées, ponts et tunnels) ;
- le flux eau – avec l'analyse détaillée de la filière d'assainissement non collectif majoritaire en France ;
- et le flux déchets du BTP

Les travaux sur l'occupation des sols ont donné lieu à une première publication¹⁴ et ont vocation à être poursuivis.

Les premiers développements sur l'indicateur Biodiversité ont permis d'entamer une collaboration avec le LEHNA (Laboratoire d'écologie des hydrosystèmes naturels et anthropisés), Bouygues Construction et sa filiale Elan.

¹³ <http://www.effinergie-ecomobilite.fr/>

¹⁴ HÄKKINEN, T., HELIN, T., ANTUÑA, C., SUPPER, S., SCHIOPU, N., NIBEL, S. Land Use as an Aspect of Sustainable Building. International Journal of Sustainable Land Use and Urban Planning, 2013, 1 (1), p. 21-41

L'approche systémique a été peu intégrée dans cette première étape de développement méthodologique ; cela est prévu dans les perspectives à court terme. Les avancées méthodologiques sont encore trop timides pour donner lieu à des cas d'études concrets et donc leur validation par l'exemple. Le CSTB opère un large ressourcement amont sur ces problématiques, se constitue un réseau (partenaires du projet Efficacity, École nationale des travaux publics de l'État ENTPE, LENHA, Association HQE, Orée, Bouygues Construction, Institut national des sciences appliquées de Toulouse, l'université du Havre, Henry Tudor – Luxembourg, etc.) pour porter une réflexion collective et s'engage dans le montage de projets propres à porter ces thématiques.

2.1.2 PERFORMANCES ÉNERGÉTIQUES DES BÂTIMENTS

Les travaux (menés au sein du projet *Elodie 2.0*, mais également ceux qui concernent plus spécifiquement la réglementation thermique 2012 et ceux inhérents à consolidation de l'outil de simulation Cometh) visent principalement à :

- faciliter l'émergence de bâtiments très performants et de bâtiments producteurs d'énergie (par le développement de projets démonstrateurs, tel que Comepos, présenté dans le cadre de l'appel à manifestations d'intérêt « Bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum ») ;
- mettre en cohérence les méthodes de calcul Energie/Environnement (voir description des résultats sur les travaux transversaux) ;
- décliner aux outils Energie-Confort d'été les stratégies d'adaptation ou de simplification des données d'entrée établies pour l'ACV.

Ces travaux préparent également les générations d'outils multiphysiques (projet *Simbio*) par l'identification et l'amélioration des interactions entre outils, à différentes phases de la conception (cohérence entre le calcul des consommations d'énergie dans Cometh et le calcul des consommations d'eau dans le contributeur Eau d'Elodie, récupération des consommations et production d'énergies dans Cometh pour alimenter le contributeur Energie d'Elodie, etc.).

Ce projet aura permis d'initier des travaux proposant des **indicateurs de consommation et de production d'énergie**. Orientés conception, ceux-ci sont pertinents au regard des enjeux traités et complémentaires à la mesure de la performance environnementale. Ce jeu doit comporter des indicateurs de performance mais également des indicateurs « de compréhension » qui ont pour vocation l'accompagnement des équipes de conception dans leurs choix techniques et architecturaux.

L'évaluation énergétique (bilans thermiques et études énergétiques) des bâtiments se voit à présent déclinée en **un jeu d'outils adaptés aux objectifs** de l'étude : conception ou évaluation, étude rapide ou détaillée.

2.1.3 LE CONFORT AU TRAVERS DES INDICATEURS DE PERFORMANCE

2.1.3.1 Performances en termes de confort thermique

Des premières réflexions ont permis de proposer des indicateurs de confort thermique globaux en s'appuyant sur une approche intégrée : l'indicateur prendra en compte la durée et l'intensité de l'inconfort des occupants et sera calculé par Cometh.

2.1.3.2 Performances acoustiques des bâtiments

Pour répondre au besoin des acteurs d'obtenir des indicateurs globaux à l'échelle de l'ouvrage représentatifs du confort acoustique du bâtiment, **une méthode de classification acoustique relative au confort a été proposée pour les bâtiments résidentiels individuels et collectifs et tertiaires.**

Cette méthode de cotation et d'agrégation, donnant une information prédictive de la performance acoustique à l'échelle d'un bâtiment s'appuie sur les éléments réglementaires et normatifs en vigueur et **est fondée** :

- **soit sur les performances acoustiques** individuelles des composants et la méthode européenne **de prédiction** (l'outil Acoubat permet ce cheminement) ;
- **soit sur des mesures** acoustiques (bâtiment en exploitation).

La réglementation acoustique actuelle (avec une modification concernant le niveau de bruit de choc et le traitement acoustique des parties communes pour une nouvelle construction) représente dans cette méthode le niveau minimum de confort acoustique. De plus, il est fait l'hypothèse que ces niveaux réglementaires avec les modifications évoquées permettent un équilibre sonore des différentes sources de bruit intérieures ou extérieures au bâtiment. En effet un isolement de façade important (gêne associée aux sources de bruit extérieures au bâtiment limitée à l'intérieur du bâtiment) peut générer des problématiques par rapport aux sources de bruit intérieures (équipements, bruit des voisins, etc.) qui émergent alors plus nettement dans l'ambiance sonore intérieure.

Ainsi **les classes s'étendent de A** (la plus performante du point de vue acoustique) **à F** (la moins performante) avec la classe

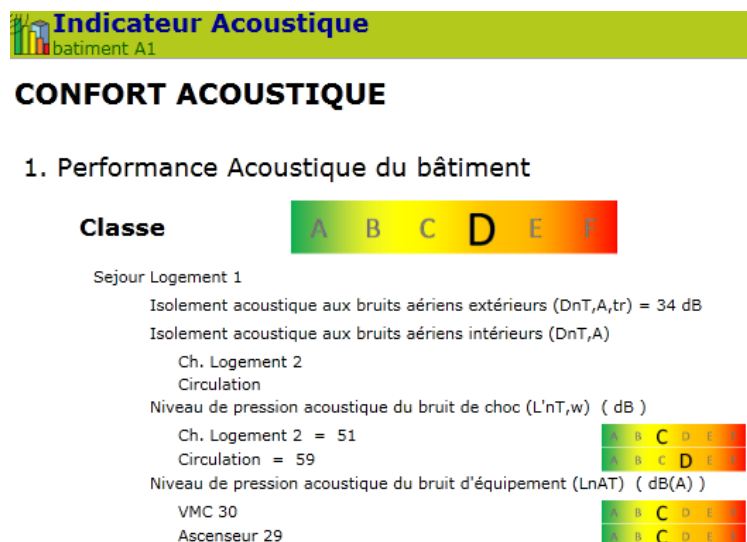


Figure 2: Capture d'écran du logiciel Elodie, après chargement d'un fichier de sortie d'Acoubat

de confort médiane C correspondant à la réglementation acoustique légèrement modifiée. Sachant que, de manière générale, une différence de 3 dB est un seuil perceptible par une majorité de personnes, un incrément de 5 dB des indicateurs est globalement pris en compte entre les différentes classes. Les classes A et B incluent de plus des contraintes sur la performance acoustique entre les pièces de sommeil et les pièces de jour (séjour, cuisine et salle d'eau) ce qui n'est pas du tout pris en compte dans la réglementation acoustique actuelle. L'agrégation proposée se fait par le bas : à chaque niveau d'agrégation la plus mauvaise classe obtenue est retenue.

Cette méthode de classement, a donné lieu à un **rapport de recherche** interne, puis a été portée à la connaissance du Groupement de l'Ingénierie Acoustique (**GIAc**) et a fait l'objet d'une **publication** lors du congrès Acoustics 2012 à Nantes¹⁵.

Sur le même principe, la méthode de classement a ensuite été étendue à d'autres types de bâtiments soumis à une réglementation acoustique (établissements de santé, d'enseignement et hôtels) ainsi que pour les bâtiments de bureaux sur la base de la norme française NF S31-080¹⁶. Cette extension fait partie d'un rapport de recherche interne et a de plus fait l'objet d'une publication invitée du congrès international Internoise 2013¹⁷.

Une proposition de **classification des ambiances extérieures** a également été faite afin de qualifier le contexte autour du bâtiment, de donner une information sur le confort acoustique possible lors de l'utilisation d'espaces extérieurs comme une terrasse ou un jardin, mais aussi lors de l'ouverture des fenêtres d'un bâtiment. En effet, les contraintes acoustiques extérieures au bâtiment, traitées conventionnellement jusqu'ici, sont des paramètres essentiels pour définir le niveau d'isolement acoustique réglementaire à respecter par rapport aux bruits extérieurs (isolement de façade). L'évaluation de l'environnement acoustique du bâtiment peut être traitée de l'arrêté de juillet 2013¹⁸ et sur la base des classements de voies de transports terrestres et des zones de bruits associées au transport aérien, et peut aussi se baser sur les résultats de cartographie du bruit.

2.1.3.3 Performances des bâtiments en termes de confort visuel

Sur la problématique de l'appréhension du confort visuel, les travaux menés dans le cadre d'Elodie 2.0 ont débuté avec le choix des critères à considérer, c'est-à-dire, les critères les plus pertinents et les plus compatibles avec l'approche performancielle et globale:

- le niveau d'éclairement sur le plan de travail ;
- la luminance maximale dans le champ visuel ;

¹⁵ Guigou-Carter C.; Wetta R.; Foret R. ; Chene J.-B. Elements for an acoustic classification of dwellings and apartment buildings in France, Acoustics 2012,2 Proceedings of the Nantes Conference, April 23-27, 2012, Nantes, FRA [<http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/81/06/42/PDF/hal-00810642.pdf>]

¹⁶ Norme NF S31-080, Acoustique – Bureaux et espaces associés – Niveaux et critères de performances acoustiques par type d'espace, janvier 2006

¹⁷ Bailhache S., Guigou-Carter C., Rougier C., Schmich I. Elements for an acoustic classification of buildings in France, Internoise 2013, 42nd International congress and exposition on Noise control engineering, September 15-18, 2013, Innsbruck, AUT

¹⁸ Arrêté du 23 juillet 2013 modifiant l'arrêté du 30 mai 1996 relatif aux modalités de classement des infrastructures de transports terrestres et à l'isolement acoustique des bâtiments d'habitation dans les secteurs affectés par le bruit (JO n° 177 du 1 août 2013)

- et l'indice d'éblouissement DGI (Daylight Glare Index) ou DGP (Daylight Glare Probability).

La luminance et d'indice d'éblouissement étant dépendants de la position et de la direction du regard de l'occupant, il faut que celles-ci soient préalablement définies. Quant au risque d'éblouissement, dépendant de la situation lumineuse extérieure, son analyse doit être faite sur l'ensemble de la période d'occupation du local concerné.

L'un des principaux verrous pour extrapoler la prédiction des indicateurs de confort visuel d'un point particulier à l'ensemble du bâtiment est la complexité et la lourdeur des calculs engagés. Un calcul horaire n'étant pas envisageable, la solution passe alors par des calculs sur la base d'un ciel paramétrique, allégeant ainsi les données d'entrée du calcul. Les modèles de ciel paramétrique développés par le CSTB, pour les calculs d'éclairage dans un premier temps, ont été intégrés dans le module du logiciel de photo-simulation Phanie¹⁹ calculant les indices d'éblouissement. On peut ainsi estimer le risque d'éblouissement sur une longue période avec un temps de calcul raisonnable. Au-delà, les réflexions ont été engagées sur la manière d'apporter des informations globales à l'échelle du bâtiment mais les travaux doivent se poursuivre pour permettre de tester et de consolider les propositions actuelles de méthodologies.

2.1.3.4 La santé au travers d'indicateur de qualité de l'air intérieur

A partir de l'analyse du volet sanitaire des fiches de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) par les fabricants de produits et matériaux (environ 1150 FDES en ligne dans Inies²⁰ en juillet 2013), le CSTB a entrepris :

- d'identifier les principales caractéristiques sanitaires renseignées dans les FDES ;
- de paramétrer les principales informations sanitaires relatives à la qualité de l'air intérieur identifiées en traduisant les informations renseignées en niveaux de performance ;
- de créer une base de données miroir à la base INIES.

Le volet sanitaire de ces FDES inclut des informations qualitatives ou quantitatives sur les polluants émis par ces produits, traduites en classes.

A l'échelle du bâtiment, il s'agit d'obtenir une vision globale des produits installés (avons-nous des produits performants, c'est-à-dire à faibles émissions dans l'air intérieur, ou au contraire l'absence d'information doit-elle nous inciter à interroger les fabricants ?), pour limiter les sources potentielles de pollution intérieure. Cela permet de valoriser les FDES et d'obtenir une première information à l'échelle du bâtiment, ne demandant aucun effort supplémentaire pour un acteur réalisant une analyse de cycle de vie du bâtiment exploitant déjà ces FDES.

¹⁹ Phanie : logiciel de simulation physique de l'éclairage développé par le CSTB

²⁰ <http://www.base-inies.fr>

2.1.4 PERFORMANCES ÉCONOMIQUES DES BÂTIMENTS

Née du constat que l'environnement n'était souvent que l'un des derniers critères de choix des produits et équipements du bâtiment, l'idée de coupler étude économique et étude environnementale permet un enrichissement mutuel. Un module de coût global a donc été conçu sur la structure existante d'Elodie. Fondé sur les normes ISO 15686-5 et PR NF EN 16627, le module s'intéresse au coût global élémentaire. Sa valorisation sous le logiciel Elodie est très récente. Le CSTB a pris sur cet objectif un retard certain et propose un outil qui doit être enrichi par les acteurs eux-mêmes avant de pouvoir être utilisé dans des études (la base de données de coûts reste vide pour le moment). La validation de l'opérationnalité de ce module n'a pas encore eu lieu.

2.1.5 TRAVAUX DE MISE EN COHÉRENCE

Au sein du projet *Elodie 2.0*, la préoccupation est centrée sur l'unicité de l'objet étudié, qui doit être le même au travers des différentes perspectives d'évaluations (cohérence des méthodes et modèles de calcul). Durant ces trois années, quatre groupes de travail bi- ou tri-thématiques (énergie et environnement, énergie - acoustique, énergie - éclairage, énergie - eau - environnement) se sont attelés à la mise en cohérence des approches et des modèles utilisés de part et d'autre dans les outils (Elodie, Cometh, Acoubat, Phanie). Ces travaux font évidemment échos à ceux menés dans le cadre du projet *Simbio* dont l'objectif est d'aller au-delà, en proposant des co-simulations à partir d'un même jeu de données d'entrée.

⇒ Groupe de travail énergie - environnement

Depuis 3 ans, les équipes énergie et environnement échangent et avancent sur les problématiques de cohérence entre leurs approches. Auront été ainsi abordés les questions relatives :

- Aux indicateurs utilisés de part et d'autre (quels indicateurs pour exprimer quelle information, avec quelle unité ?)
- Aux frontières d'études (les bilans thermiques, énergétiques, environnementaux considèrent-ils les mêmes systèmes ?)
- Aux conventions de calculs (les conventions figées pour un calcul réglementaire le sont-elle également pour les calculs ACV ?)

Enfin, en vue d'outiller les analyses environnementales à l'échelle bâtiments et à l'échelle quartier, le CSTB a fabriqué un prototype d'outil de calcul de l'impact environnemental du *mix* électrique français. La forte volatilité de l'usage de l'électricité par bâtiment trouve une traduction dans la forte volatilité du *mix* électrique français et donc dans l'impact environnemental des bâtiments (*sujet traité conjointement par les projets Elodie 2.0 et QBC, dont le bilan à 3 ans explicite plus en détail les résultats de cette action*). Les travaux sur ce sujet devront être consolidés et élargis dans les actions à venir.

⇒ **Groupe de travail énergie - eau - environnement**

L'outil Elodie représente un outil de calcul de consommation d'eau à vocation pédagogique, conçu initialement par l'équipe Environnement du CSTB. Celui-ci a fait l'objet :

- d'une expérimentation pour caler finement les modèles utilisés ;
- d'une validation par les experts de CAPE ;
- d'une validation de son opérationnalité dans le cadre de l'expérimentation HQE Performance ;
- et de travaux de convergence avec les certificateurs (CertivéA).

Par ailleurs, les travaux de convergence énergie - eau - environnement ont permis la réponse conjointe à des appels à projets nationaux (Arose, soumis à l'ANR en 2013 et resoumis 2014, DyPLCA soumis également à l'ANR en 2013 et retenu) et internationaux (Wisdom, retenu dans le cadre du FP7).

Enfin, les travaux ont permis la mise en place d'une première méthodologie de calcul adaptée aux procédés de récupération de calories sur les eaux grises (sujet traité conjointement par les projets *Elodie 2.0* et *Cycle de l'eau*)

⇒ **Echanges énergie - acoustique**

Les interactions entre un calcul de consommation énergétique du bâtiment et le calcul de ses performances acoustiques concernent essentiellement la géométrie du bâtiment, car les deux outils Acoubat et Cometh ont des domaines d'application différents.

Les données liées à la description du bâti, et surtout celles des baies et des parois opaques, peuvent être communes aux deux outils bien que le niveau de détails attendu ne soit pas le même (description par local dans Acoubat, par zone dans Cometh).

⇒ **Echanges énergie - éclairage**

L'éclairage fait partie des postes de consommations réglementaires. A ce titre, la contribution de l'éclairage naturel puis la consommation d'éclairage artificiel sont évaluées dans l'outil Cometh, développé par les énergéticiens. Phanie, outil du confort visuel, calcule l'exposition lumineuse annuelle d'une scène (locaux, bâtiment dans son environnement, etc.), le bilan annuel du confort visuel sur la base des différents critères existants (luminance, contrastes, indice d'éblouissement...), ainsi que la consommation énergétique de l'éclairage artificiel.

En analysant les modèles de bâti (géométrie, masques...), les modèles d'occupant (gestion des protections mobiles, allumage-extinction des luminaires...), les modèles d'environnement extérieur (ciel, luminosité...) et les modèles d'équipements (type d'éclairage...) sous le double aspect paramètres/modèles physiques, l'étude a posé les principes d'une convergence des modèles énergie-éclairage dans un outil commun.

2.1.6 VERS UN TABLEAU DE BORD HOMOGENE ET COMMUN

Enfin, le dernier volet des travaux engagés dans le cadre de ce projet concernait l'affichage des performances en tant que tel. Les résultats sont exprimés sous la forme d'un **tableau de bord** sous le logiciel Elodie, qui intègre à ce jour :

- des indicateurs environnementaux ;

- des informations sur la qualité de l'air intérieur ;
- des indicateurs acoustiques ;
- ainsi que des informations sur le coût global.

2.2 VALORISATION DES TRAVAUX

Le projet *Elodie 2.0* avait une vocation de démonstrateur et visait à montrer qu'il était possible d'avoir une approche performancielle englobant tous les aspects du développement durable. Le logiciel *Elodie* a été conçu comme un laboratoire et un *hub* permettant, à terme, de synthétiser les résultats de mesure, de calcul ou d'évaluation provenant d'autres outils métiers (en particulier ceux du CSTB : Acoubat, Phanie, Cometh). Mais le projet *Elodie 2.0* avait aussi vocation à apporter des solutions pragmatiques en matière de conception et d'évaluation des bâtiments durables, notamment en mettant à disposition des acteurs de la construction des outils opérationnels.

2.2.1 SOUTIEN AUX POLITIQUES PUBLIQUES

Le projet *Elodie 2.0* s'inscrit parfaitement dans la feuille de route des **pouvoirs publics**. Ses objectifs sont en ligne avec les politiques publiques en émergence, comme en témoignent les éléments de cadrage²¹ donnés à la ministre de l'Égalité des territoires et du logement ainsi qu'à la ministre de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie. La feuille de route de l'**Ademe**²² ou les recommandations du **Plan Bâtiment Grenelle**²³ valident les orientations prises par le CSTB il y a trois ans et confortent la feuille de route pour les années suivantes.

Un point clef de ce partage des priorités concerne les questions de convergence énergie/environnement : à ce sujet, un groupe de travail s'est mis en place fin 2012, réunissant la DHUP, l'Ademe et le CSTB.

Suite à la publication de l'arrêté d'application du 27 novembre 2012, le décret du 30 mai 2011 portant sur l'obligation faite au maître d'ouvrage de fournir à l'administration une « attestation de prise en compte de la réglementation acoustique » entre en vigueur pour tous les permis de construire déposés après le 1er Janvier 2013 pour des bâtiments d'habitation (collectif ou non) concernés par la réglementation acoustique objet de l'arrêté du 30 juin 1999. L'obligation est ainsi faite au maître d'ouvrage de **justifier de la prise en compte de la réglementation acoustique en phase conception**, chantier ainsi que par des essais *in-situ* en fin de chantier pour toute opération de plus de 10 logements. Ce nouveau changement va obliger les concepteurs de bâtiments et l'acousticien à

²¹ Lettre du 23 janvier 2013 de J.M. Ayrault, premier ministre à madame la ministre de l'Égalité des territoires et du logement., Lettre de cadrage pour la transition écologique pour l'année 2013, 4 p.

²¹ Lettre du 23 janvier 2013 de J.M. Ayrault, premier ministre à madame la ministre de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie, Lettre de cadrage pour la transition écologique pour l'année 2013, 4 p.

²² Ademe. Feuille de route sur les bâtiments et îlots à énergie positive et à bilan carbone minimum, août 2010, 28 p.

²³ Groupe de travail Réglementation Bâtiment Responsable 2020 (RBR 2020). Synthèse des travaux de la journée d'étude du 9 juillet 2012 et rapport d'étape : socle de réflexions pour une société sobre et décarbonée ... désirable et durable, juillet 2012, 17 p.

se rapprocher le plus en amont possible, renforçant ainsi l'intérêt d'outils multi-métier dans la lignée des orientations d'*Elodie 2.0* et de *Simbio*.

2.2.2 ACTEURS SOCIOÉCONOMIQUES

Le CSTB a joué un rôle central dans la construction du cadre de référence HQE Performance. Il a animé le groupe de travail (sous l'égide de la DHUP et de l'**Association HQE**) responsable de la construction du cadre d'évaluation et a été chargé de la capitalisation et de l'analyse des résultats. Le CSTB a également participé au groupe de travail de l'Association HQE sur les indicateurs acoustiques et y a présenté l'avancement de ses travaux (mars 2012).

Le CSTB a également œuvré aux côtés d'**Effinergie** et de ses partenaires (Caisse des Dépôts et Consignation, Qualitel) pour le développement d'un outil nommé Ecomobilité qui permettra très prochainement la mesure des impacts des déplacements des personnes en fonction de la localisation d'un bâtiment.

Le CSTB et les certificateurs (notamment **CertivéA**, **Céquami** et **Cerqual**) portent également des feuilles de route aux interactions multiples (le projet *Elodie 2.0* permettra de traiter de manière performancielle les cibles HQE 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 13 a minima) et misent sur la construction de partenariats formels (cf. § Partenariats) pour avancer de manière cohérente. Par ailleurs, la valorisation des méthodes et outils, une fois opérationnels, à travers les référentiels de certification, habitat et tertiaire, est un mode de valorisation et de déploiement efficace auprès de ces acteurs

La diffusion des résultats opérationnels construits et /ou consolidés dans le cadre du projet *Elodie 2.0* se fait au travers de l'action de **formation du CSTB** et de ses ventes de logiciel.

Construire le projet Elodie 2.0 avec des partenariats

Le CSTB a la capacité d'initier et de porter des projets d'envergure, notamment en utilisant une construction partenariale.

Ces **collaborations opérationnelles** permettent :

- la mutualisation des moyens et donc la démultiplication des ressources affectées à une feuille de route commune (*convention de collaboration avec **Bouygues Construction**, convention de collaboration au titre de la R&D avec **Eiffage***) ;
- de faciliter la valorisation des actions dans la certification (*par exemple, détachement d'un agent CSTB à 40% chez **Certivéa***) ;
- de réunir de nouvelles compétences afin
 - o d'enrichir et d'adapter les travaux engagés (*par exemple, contrat avec la **SNI** en complément d'une démarche partenariale*),

- au besoin d'élargir ces travaux (*par exemple, accord de partenariat de recherche et développement en négociation avec **CODDE – Bureau Veritas***) ;
- d'identifier les besoins du secteur (*contrat avec **Qualitel** et **Cequami** en complément d'une démarche partenariale*) et de prioriser les actions par rapport aux besoins des acteurs de terrain.

Ces partenariats peuvent aussi se traduire par le montage conjoint de projets ANR (*par exemple, Benefis-BVD 2011, élaboré avec **Armines, Izuba, Bouygues, Maisons de Qualité***), ou de réponse à des appels à manifestation d'intérêt (*par exemple pour le projet Asuret*).

Enfin, cette démarche permet d'amplifier la diffusion des résultats obtenus en misant sur le rassemblement des acteurs et leurs réseaux de diffusion respectifs.

Ces partenariats assurent également le **ressourcement amont** du projet avec les acteurs de la recherche. Par exemple, dans le cadre du groupe de travail ACV de la Chaire Bouygues « Bâtir durable et innover », une collaboration est menée avec l'**ECP** et l'**ENPC**. La collaboration avec l'**IFSTTAR** a également été renforcée en 2012 (co-organisation conjointe de la conférence internationale « LCA & Construction: Civil Engineering and Buildings », 10-12 July 2012, Nantes).

A l'échelle européenne, le CSTB collabore également avec l'**université technique de Prague** et l'**université technique de Lisbonne** (accueil de chercheurs et doctorants de ces instituts au CSTB de Grenoble en 2012 et publications communes).

Les projets européens assurent également ce ressourcement essentiel (par exemple, projet EeB Guide avec : **Fraunhofer-IBP, PE International, BRE, ESCI** ; le projet Superbuildings en partenariat avec le **VTT, le KIT, le CSTC...**).

Enfin, le CSTB collabore également avec des organismes à l'international (par exemple, IPT Sao Paulo, Brésil) et participe aux travaux de la **Sustainable Building Alliance** (SBA) dont il a coordonné le projet "Piloting SBA **Common Metrics**".

2.2.3 DÉVELOPPEMENT LOGICIEL

Ces travaux de recherche trouvent un écho dans le développement logiciel de plusieurs outils. Ceux-ci sont à la fois un laboratoire pour les travaux menés (ils permettent de tester, d'avoir des retours d'expérience, de se confronter au besoin d'opérationnalité) et une vitrine de ceux-ci.

Le logiciel **Elodie** correspond à l'une des faces visibles et opérationnelle - pour les acteurs de la construction - des travaux menés par le projet *Elodie 2.0*.

L'**outil Elodie** aura notamment été augmenté des fonctionnalités ou modules suivants :

- création d'une base de données harmonisée et consolidée ;
- espace de travail multi-bâtiments ;

- mode de description du bâtiment adapté au langage des concepteurs, prescripteurs et entreprises, en référence à la structure des cahiers des clauses techniques particulières (CCTP) ;
- prise en compte de la phase chantier ;
- amélioration de l'interprétation des résultats avec des valeurs de référence;
- lien avec la maquette numérique (création du module eve-BIM Elodie)...

Les travaux menés dans le cadre du projet *Elodie 2.0* ont aussi permis des évolutions du logiciel **Acoubat** mises en œuvre dans la version 7.0.

La nouvelle version du **logiciel Acoubat** intègre ainsi :

- la sélection du type de bâtiment et la définition du type de pièce pour une comparaison des indicateurs par rapport à la réglementation correspondante ;
- un module sur l'évaluation de l'isolement de façade minimum ;
- une sortie au format XML exploitable par Elodie permet l'affichage des classes de confort acoustique (de façon agrégée et détaillée) sur la base des calculs effectués sous Acoubat.

Sous Cometh, les consommations d'énergie par poste et par type d'énergie sont à présents disponibles, ce qui permet de relier ses sorties au contributeur énergie d'Elodie.

La réflexion sur la simplification des données d'entrée est en cours mais elle conduira à un prototype d'outil capable de s'intégrer dans une plateforme multi-métier.

Quant aux développements réalisés pour **Phanie** dans le cadre d'Elodie 2.0, ils sont directement exploitables pour la réalisation d'expertises. Ces expertises peuvent ainsi s'appuyer sur des indicateurs moins communs tels que ceux liés aux risques d'éblouissement par l'éclairage naturel.

3. PERSPECTIVES DU PROJET

L'essentiel des sujets portés par le projet *Elodie 2.0* pour la période 2011-2013, trouveront une suite dans la feuille de route du projet *Performance globale* du programme de recherche 2014-2017 du CSTB. Les perspectives présentées ici esquissent la feuille de route du projet *Performance globale* pour ces sujets.

3.1 PERSPECTIVES EN TERMES DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT

3.1.1 LA PERFORMANCE ENVIRONNEMENTALE

Le CSTB dispose à présent d'une reconnaissance au niveau national et international de ses compétences sur le domaine ACV produit et ACV bâtiments. Toutefois, il reste des verrous méthodologiques à lever pour fiabiliser les ACV et pour faciliter leur opérationnalité. De plus, la commande extérieure (maîtrise d'ouvrage, maîtrise d'œuvre, certificateurs) est claire : l'analyse de cycle de vie pour pouvoir être utilisée comme un outil de conception, doit s'adapter aux pratiques des acteurs. Il s'agit de poursuivre la déclinaison des méthodes ACV aux différentes phases d'un projet et aux différents acteurs. Enfin, le CSTB doit monter en compétence sur les ACV dynamiques et conséquentielles, pour mieux prendre en compte certains phénomènes primordiaux à l'échelle du bâtiment (par exemple, temporalité des impacts de l'électricité).

En soutien au projet *Gestion et rénovation du parc*, l'ACV des opérations de réhabilitation devra être un sujet clef du projet. L'analyse de cycle de vie des opérations de réhabilitation doit pouvoir être effectuée avec un degré de confiance à minima comparable aux évaluations actuelles des constructions neuves.

Le CSTB pourra également s'interroger sur l'élargissement des frontières considérées pour l'étude du bâtiment, notamment sur l'intégration des questions de mobilité (mobilité contrainte liée à la localisation du bâtiment).

L'ACV n'étant pas la seule approche pertinente pour l'évaluation des performances environnementale, le CSTB aura soin d'introduire dans ses réflexions la biodiversité et la gestion des ressources locales comme sujets, en partenariat avec les acteurs compétents.

Sur la performance environnementale, il s'agit également de poursuivre les réflexions à l'échelle **urbaine**. Celle-ci montera en puissance en lien avec le projet Efficacy (appel à projet 2011 du Grand emprunt) qui constituera l'un des axes structurants à moyen terme de cette problématique. La spécificité de la performance environnementale à l'échelle urbaine est le manque de méthodologies permettant de répondre de manière fiable à l'objectif majeur qui est de mettre à disposition des acteurs de la construction la boîte à outils indispensable pour l'évaluation et la conception des projets performants. Un fort développement méthodologique est nécessaire avant de pouvoir passer à l'étape permettant de fournir des critères d'appréciation et de positionnement des

résultats obtenus lors de l'évaluation, et répondre ainsi à la question "le projet évalué est-il bon ?".

3.1.2 PERFORMANCE ÉNERGÉTIQUE

Le CSTB est aujourd'hui mandaté par l'Etat pour mettre à disposition la méthode de calcul réglementaire, permettant de faire le bilan énergétique du bâtiment – en phase évaluation - sur des frontières identifiées.

Dans le cadre de son programme de recherche, l'objectif pour le CSTB est de disposer d'une méthode (et d'un outil) permettant de faire un bilan énergétique exhaustif à l'échelle de la parcelle et de l'exprimer. Il s'agit donc de travailler sur :

- les indicateurs de performance du bâtiment (qui pourront être différents de ceux proposés par les outils règlementaires) ;
- sur les indicateurs de confort thermique et hygrothermique ;
- des méthodes de calcul du bilan énergétiques orientés conception et donc départies des conventions prises pour l'évaluation ;
- des méthodes de calculs sur les autres postes de consommation (liés et non liés au bâti) avec un degré de finesse *a minima* comparable aux postes réglementaires.

3.1.3 CONFORT ET SANTÉ

Nous assistons à l'émergence du besoin des acteurs d'obtenir des indicateurs globaux à l'échelle de l'ouvrage représentatifs du **confort acoustique du bâtiment**. Le CSTB a entrepris de faire évoluer ses méthodes et outils de conception et a proposé une méthode de classification acoustique relative au confort. Celle-ci doit être à présent confrontée au retour des acteurs via des cas d'études et expérimentations afin de pouvoir être validée et portée plus largement auprès du secteur de la construction.

Pour le **confort visuel**, les travaux ont permis de définir une première méthode d'échantillonnage à partir de laquelle l'extrapolation au local est possible. Il s'agit à présent de valider celle-ci pour tous types de locaux. Il va falloir aller plus loin dans la démarche pour définir :

- les caractéristiques de la grille de points répartis dans le local ;
- la valeur seuil de l'indice d'éblouissement à prendre en compte ;
- le pourcentage de couples position/regard de la grille de points à partir duquel l'instant est considéré comme à risque ou sans risque.

Enfin, l'objectif à terme est toujours de disposer d'une méthode d'agrégation et de classification à l'échelle des bâtiments.

La qualité de l'air intérieur (QAI) est une préoccupation sanitaire grandissante depuis plusieurs années en France. Toutefois, un verrou majeur dans cette problématique est la prédiction de la qualité de l'air intérieur pour permettre des choix éclairés en phase conception. Des travaux de recherche amont ont été engagés sur cette problématique, cherchant à modéliser la QAI comme la résultante d'un ensemble de sources de pollutions intérieures, de leurs

interactions et du renouvellement d'air du bâtiment (ventilation)²⁴. En première approche, les informations relatives à la QAI renseignées dans le volet sanitaire des FDES ont été traduites en classes de performances dans une base de données miroir, permettant ainsi une première évaluation de la qualité de l'information sur les produits de construction choisis à l'échelle de l'ouvrage. Dans un second temps, il est prévu, pour un nombre de polluants limités (par exemple, formaldéhyde, COVT) de traduire ces classes de performance en niveaux d'émission afin de calculer la concentration résultant de ces polluants dans un volume représentatif de l'ouvrage. Le projet *Performance globale* s'intéresse à une démarche simplifiée et didactique. Ces travaux constituent sont en ligne avec le plan d'actions sur la qualité de l'air intérieur²⁵.

3.1.4 TRAVAUX DE MISE EN COHÉRENCE

Seront reconduits et approfondis les travaux visant les mises en cohérence sur les thématiques :

- énergie/environnement (une thèse avec le Locie a débuté fin 2012 sur ce sujet) ;
- énergie/eau/environnement (l'équipe CAPE est directement impliquée dans le projet *Performance globale* et un post-doctorat sur financement Carnot est attendu pour la période 2014-2015, en soutien à ces travaux) ;
- confort/santé : harmonisation de l'évaluation des critères (échantillonnage des locaux, classes d'évaluation, échelles de référence, évaluation de chaque local et passage à l'évaluation à l'échelle bâtiment).

3.2 STRATÉGIES DE VALORISATION

L'avancée de ce projet en termes de recherche pourra être évaluée au travers de la formalisation de ces travaux via des publications ou communications, voire l'organisation d'évènements majeurs dans ce domaine.

Maintenir et développer une R&D partenariale

De nombreux partenariats ont été initiés autour de moteur de calcul environnemental d'Elodie : grandes entreprises, centres de recherches, foncières, certificateurs, etc. Ce ressourcement amont et opérationnel est indispensable pour ancrer scientifiquement nos travaux et les adapter aux besoins des acteurs. Ce fonctionnement doit être pérennisé pour les aspects environnementaux et engagé pour les autres sujets.

Poursuivre l'accompagnement aux pouvoirs publics et leaders d'opinion

Les équipes engagées dans le projet *Elodie 2.0* (et à l'avenir dans *Performance Globale*) accompagnent par ailleurs des acteurs tels que **l'Association HQE** dans la définition de leur feuille de route et sont impliquées dans les différents GT mis

²⁴ Cf. travaux menés dans le cadre de la priorité scientifique et technique "Usages-santé Confort"

²⁵ Ce plan d'action, publié en octobre 2013 aura vocation à intégrer le PNSE3 (http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Plan_QAI_23_10_2013.pdf)

en place pour construire **HQE Performance** (par exemple, groupe de travail sur les indicateurs environnementaux, l'acoustique, la biodiversité).

Pour la période 2013-2014, les équipes traitant les questions d'énergie et d'environnement au CSTB vont être très fortement impliquées dans les travaux engagés par la **DHUP** visant la mise en place d'un **label de performance énergétique et environnemental**, préfigurant un futur label pour les BEPOS²⁶. Par ailleurs, les travaux sur le calcul d'un nouvel indicateur de confort thermique dans la RT2012 (la DIES : durée d'inconfort en été statistique) ont été réalisés au sein d'un groupe applicateur (contrat cadre DHUP-Ademe).

Si la feuille de route du gouvernement garde le cap de la mise en place à l'horizon 2020 d'une « Réglementation Bâtiments Responsables 2020 » (RBR 2020)²⁷, le CSTB, de par les travaux menés en son sein devrait se positionner naturellement en soutien aux pouvoirs publics sur ces sujets.

La valorisation des travaux de recherche (méthodes, outils et BDD) dans les **référentiels de certification** est également un axe fort, notamment pour éviter le risque de confusion sur le marché entre des démarches différentes. Des synergies entre les travaux CSTB et ceux des Certificateurs seront recherchées.

S'assurer de la cohérence des travaux menés au niveau européen et international

Les travaux menés à l'échelle nationale doivent être portés et consolidés à l'échelle européenne et internationale. Le CSTB est notamment impliqué dans la Sustainable Building Alliance (SBA) dont il coordonne le projet de recherche « Piloting SBA Common Metrics ». Il est également partenaire du projet de recherche Holistec (FP7, 2013-2017).

Enfin, la veille sur les travaux de normalisation (CEN TC350 notamment) avec une participation active du CSTB est souhaitée pour constituer un véritable support scientifique et technique aux travaux de recherche, comme complément à son action de support aux pouvoirs publics.

Développement logiciel

Un facteur de réussite de ce projet sera que les logiciels Elodie, Acoubat, Cometh et Phanie

- soient reconnus comme des outils d'évaluation **et** des outils de conception ;
- présentent chacun des critères de performance ;
- soient interconnectés pour présenter un tableau de bord complet et homogène du projet considéré.

Pour atteindre cet objectif, il est indispensable de consolider les interactions entre le projet *Performance globale* et les autres projets du CSTB (*Simbio*, *Information urbaine*, etc.).

²⁶ Lettre du 23 janvier 2013 de J.M. Ayrault, premier ministre à madame la ministre de l'Égalité des territoires et du logement, Lettre de cadrage pour la transition écologique pour l'année 2013, 4 p.

²⁷ GT Réglementation Bâtiment Responsable 2020 (RBR 2020). Synthèse des travaux de la journée d'étude du 9 juillet 2012 et rapport d'étape. Socle de réflexions pour une société sobre et décarbonée, ...désirable et durable. 17 pages. Juillet 2012

LISTE DES RÉFÉRENCES

[Articles Publiés dans une revue internationale à comité de lecture]

Life cycle assessment of fluorescent lamp luminaire used in industry premises: a case study
TAHKAMO L. ; BAZZANA M. ; ZISSIS G. ; PUOLAKKA M. ; HALONEN L.

Lighting research and technology, In press, available online June 2013, June 2013, p. 1009-1018 [doi:10.1177/1477153513480518]

Life cycle assessment of light-emitting diode downlight luminaire: a case study

TAHKAMO L. ; BAZZANA M. ; RAVEL P. ; GRANNEC F. ; MARTINSONS C. ; ZISSIS G.

The International journal of life cycle assessment, 18/5, June 2013, p. 1009-1018 [doi:10.1007/s11367-012-0542-4]

A knowledge-aid approach for designing high-performance buildings

TALBOURDET F. ; MICHEL P. ; ANDRIEUX F. ; MILLET J.R. ; EL MANKIBI M. ; VINOT B.

Building simulation, Online first article, May 2013, 29 p. [doi:10.1007/s12273-013-0122-y]

Adaptation of environmental data to national and sectorial context: application for reinforcing steel sold on the French market

GOMES F. ; BRIERE R. ; FERAILLE A. ; HABERT G. ; LASVAUX S. ; TESSIER C.

The International journal of life cycle assessment, Online first article, February 2013, 13 p. [doi:10.1007/s11367-013-0558-4]

Land use as an aspect of sustainable building

HAKKINEN T. ; HELIN T. ; ANTUNA C. ; SUPPER S. ; SCHIOPU N. ; NIBEL S.

International journal of sustainable land use and urban planning (IJSLUP), 1/1, 2013, p. 21-41

New trends in sustainability assessment systems – based on top-down approach and stakeholders needs

LUTZKENDORF T. ; HÁJEK P. ; LUPISEK A. ; IMMENDORFER A. ; NIBEL S. ; HAKKINEN T.

International journal of sustainable building technology and urban development (SUSB Journal), 3/4, 2012, p. 256-269 [doi:10.1080/2093761X.2012.747113]

Linking research activities and their implementation in practice in the construction sector: the LCA Construction 2012 experience

LASVAUX S. , VENTURA A., HABERT G., DE LA ROCHE C., HERMEL K., FERAILLE A., TARDIVEL Y, TESSIER C. *International journal of life cycle assessment*, 2014, 19, p. 463-470.

[Articles publiés dans une revue française à comité de lecture]

De la gestion des incertitudes en analyse de cycle de vie

LEROY Y. ; LASVAUX S.

Marchés et organisations, 17, Éco-conception, conception et innovation : les nouveaux défis de l'entreprise, 2013, p. 65-82 [doi:10.3917/maorg.017.0065]

[Chapitres d'ouvrage collectif]

Se loger, se déplacer : peut-on se libérer de l'addiction aux énergies fossiles ?

QUENARD D. *Dinh-Audoine M.T., Olivier D., Rigny P. (coord.). La chimie et l'habitat*, EDP Sciences, L'actualité chimique - Livres, 2011, p. 151-171

Programmer, concevoir, réaliser et exploiter un bâtiment durable. Mettre en œuvre un système de management d'opération : mode d'emploi.

NIBEL, S., DE VALICOURT, D. CSTB, 2012, 205p.

[Communications publiées dans des actes]

Improving the reliability of environmental assessments of buildings

HOXHA E. ; HABERT G. ; CHEVALIER J. ; LE ROY R. *WBC13, CIB World building congress, Construction and society*, May 5-9, 2013, Brisbane, AUS 2013, 12 p.

'Piloting the Common Metrics', a research project of the Sustainable Building Alliance

HANS J. ; NIBEL S. ; FREYD A.C. ; CUNHA A. ; DORAN D. ; BARROW WILLIAMS T. ; AHVENNIEMI H. ; HUOVILA P. ; SOBOLA J. ; VONKA M. ; LUPISEK A. ; SCHMINCKE E. ; LENZ K. ; SOTO VICARIO T. ; HORST S. ; PYKE C. ; KUZIAMKO J. ; RIGGS L. *WBC13, CIB World building congress, Construction and society*, May 5-9, 2013, Brisbane, AUS 2013, 12 p.

Environmental performances of buildings: identification of reference values through a statistical analysis

LEBERT A. ; LASVAUX S. ; CHEVALIER J. ; HANS J.

International symposium on life cycle assessment and construction: civil engineering and buildings, July 10-12, 2012, Nantes, FRA
RILEM, RILEM Proceedings pro086, 2012, p. 56-64 + annexes

Environmental evaluation of reinforcing bars sold on the French market

GOMES F. ; BRIERE R. ; HABERT G. ; FERAILLE A. ; LASVAUX S. ; TESSIER C.

International symposium on life cycle assessment and construction: civil engineering and buildings, July 10-12, 2012, Nantes, FRA
RILEM, RILEM Proceedings pro086, 2012, p. 256-264
[\[http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=415&id_papier=7986\]](http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=415&id_papier=7986)

Guidelines for the use of existing life cycle assessment data on building materials as generic data for a national context

HODKOVA J. ; LASVAUX S.

International symposium on life cycle assessment and construction: civil engineering and buildings, July 10-12, 2012, Nantes, FRA
RILEM, RILEM Proceedings pro086, 2012, p. 265-273 [ISBN : 978-2-35158-127-8]
[\[http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=415&id_papier=7987\]](http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=415&id_papier=7987)

Towards a reduced set of indicators in buildings LCA applications: a statistical based method

LASVAUX S. ; GARAT P. ; CHEVALIER J. ; PEUPOORTIER B.

International symposium on life cycle assessment and construction: civil engineering and buildings, July 10-12, 2012, Nantes, FRA [ISBN : 978-2-35158-127-8]
[\[http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=415&id_papier=7964\]](http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=415&id_papier=7964)

Relevance of a French simplified life cycle inventory database using building products industry data

LASVAUX S. ; SCHIOPU N. ; PEUPOORTIER B. ; CHEVALIER J.

International symposium on life cycle assessment and construction: civil engineering and buildings, July 10-12, 2012, Nantes, FRA
RILEM, RILEM Proceedings pro086, 2012, p. 46-54 + annexes [ISBN : 978-2-35158-127-8]
[\[http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=415&id_papier=7962\]](http://www.rilem.org/gene/main.php?base=500218&id_publication=415&id_papier=7962)

Next generation of sustainability assessment: top down approach and stakeholders needs

LUETZKENDORF T. ; HAJEK P. ; LUPISEK A. ; IMMENDOERFER A. ; NIBEL S. ; HAKKINEN T.
SB11, Proceedings of the 6th World sustainable building conference, October 18-21, 2011, Helsinki, FIN, 16 p. [ISBN : 978-951-758-531-6]
[\[http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23207.pdf\]](http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23207.pdf)

Sustainable management tool for buildings projects - SYSMEO

NIBEL S. ; ANDRIEUX F. ; CUENOT S. ; MAISSA S. ; BUS N.
SB11, Proceedings of the 6th World sustainable building conference, October 18-21, 2011, Helsinki, FIN, 13 p. [ISBN : 978-951-758-531-6]

Methodological improvements in life cycle analysis of buildings: results from the COIMBA project

SALMON N. ; PEUPOORTIER B. ; CHEVALIER J. ; MIKOLASE R. ; SIDLER O. ; SCHIOPU N. ; LASVAUX S. ; LEBERT A. ; DUCLOS L. ; RIESLER T. ; HERFRAY G. ; FILLIT F. ; SENEGAS J.L.
SB11, Proceedings of the 6th World sustainable building conference, October 18-21, 2011, Helsinki, FIN, 12 p. [ISBN : 978-951-758-531-6]
[\[http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23184.pdf\]](http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB_DC23184.pdf)

A data analysis tool to compare two LCA databases of construction materials used in building LCA applications for the French context

LASVAUX S. ; CHEVALIER J. ; PEUPOORTIER B.
LCA XI, Proceedings from the international conference 'Instruments for green futures markets', October 4-6, 2011, Chicago, IL, USA
American Center for Life Cycle Assessment, 2011, p. 164-174 [ISBN : 978-0-9882145-0-7]

Acoustic performance of a standard French building with respect to different European countries regulations

GUIGOU-CARTER C. ; VILLOT M. ; ELIAS P.
Forum Acusticum 2011, June 16 – July 1, 2011, Aalborg, DNK, 6 p.

Elements for an acoustic classification of dwellings and apartment buildings in France.

GUIGOU-CARTER C. ; WETTA R. ; FORET R. ; CHENE J.-B.
Acoustics 201,2 Proceedings of the Nantes Conference, April 23-27, 2012, Nantes, FRA, 6p.

[<http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/81/06/42/PDF/hal-00810642.pdf>]

Elements for an acoustic classification of buildings in France

BAILHACHE S., GUIGOU-CARTER C., ROUGIER C., SCHMICH I.

Internoise 2013, 42nd International congress and exposition on Noise control engineering, September 15-18, 2013, Innsbruck, AUT

Sustainable smart ECO-buildings

SJÖSTRÖM C. ; VIRK G.S. ; TRINIUS W. ; LEBERT A. ; SالدINI S. ; DAVIES H.

12DBMC, 12th International conference on Durability of building materials and components, April 12-15, 2011, Porto, PRT, 8 p.

[<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB22297.pdf>]

FMEA software for building products

BAZZANA M. ; HANS J. ; SAUCE G.

12DBMC, 12th International conference on Durability of building materials and components, April 12-15, 2011, Porto, PRT 2011, 9 p.

[<http://www.irbnet.de/daten/iconda/CIB22305.pdf>]

A simple method to consider energy balance in the architectural design of residential buildings

ARANTES L. ; BAVEREL O. ; ROLLET P. ; QUENARD D.

SimAUD 2011, Proceedings of the 2011 Symposium on simulation for architecture and urban design, April 4-7, 2011, Boston, MA, USA 2011, p. 115-122

[<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2048546> ; <http://www.simaud.org/proceedings/index.php>]

Optimization method using genetic algorithms for designing high performance building

LAHMIDI H. ; PERNODET F. ; MARCHIO D. ; FILFLI S. ; ROUJOL S.

Clima 2010, 10th Rehva world congress 'Sustainable energy use in buildings', May 9-12, 2010, Antalya, TUR, 8 p. [ISBN : 978-975-6907-14-6]

[<http://www.clima2010.org/> ; <http://www.buildup.eu/tools/10212>]

Towards a new generation of building LCA tools adapted to the building design process and to the user needs

LASVAUX S.; GANTNER J; SCHIOPU N, NIBEL S; BAZZANA M; BOSDEVIGIE B; SIBIUDE G

Proceedings of the International Conference on Sustainable Buildings, Construction products and Technologies (SB13), Graz, 25-28 September 2013.

A modular LCA database adapted to different user needs during the building design process

SIBIUDE G.; LASVAUX S.; LEBERT A. ; BAZZANA M. ; RAVEL P. ; BONNET R.

Proceedings of the International Conference on Sustainable Buildings, Construction products and Technologies (SB13), Graz, 25-28 September 2013.

Challenges of LCA in a European context – Findings from the research projects OPEN HOUSE and EeBGuide

GANTNER J; LASVAUX S.; LENZ K., BOTTGE J.

Proceedings of the International Conference on Sustainable Buildings, Construction products and Technologies (SB13), Graz, 25-28 September 2013.

Adapting existing Life Cycle Inventory of building products for the brazilian context

ALVES DE OLIVEIRA L. ; LASVAUX S.; HOXHA E. ; HANS J.

Proceedings of the International Conference on Sustainable Buildings, Construction products and Technologies (SB13), Graz, 25-28 September 2013.

An approach to integration LCA-based models in the early stages of an eco-design process for buildings

LEROY Y.; CLUZEL F., ZARAKET T., LASVAUX S., BENTOS M.

6th International LCM 2013 Gothenburg, 25-28 August 2013.

International survey on critical review and verification practices in LCA with a focus in the construction sector

LASVAUX S.; LEROY Y. BRIQUET C., CHEVALIER J.

Proceedings of the International Conference on Sustainable Buildings, Construction products and Technologies (SB13), Graz, 25-28 September 2013.

Identification of building materials influence on robustness and uncertainty of single houses LCA.

E. HOXHA, R. LE ROY, J. CHEVALIER, M. BAZZANA, G. HABERT.

6th International LCM 2013 Gothenburg, 25-28 August 2013.

Life cycle assessment of wooden building systems for façade.

C.HUREL, F. GRANNEC.

Proceedings of the International Conference on Sustainable Buildings, Construction products and Technologies (SB13), Graz, 25-28 September 2013.

[Autres communication]

Une démarche participative pour la mise en œuvre de circuits courts dans les activités de construction/déconstruction

AMBROISE-RENAULT V. ; JAYR E.

Colloque International Futurs urbains, 'Enjeux interdisciplinaires émergents pour comprendre, projeter et fabriquer la ville de demain', 16-18 janvier 2013, Marne La Vallée, FRA, 9 p.

[\[http://villes-environnement.fr/fr/papiers/download/ambroise-renault_jayr.pdf\]](http://villes-environnement.fr/fr/papiers/download/ambroise-renault_jayr.pdf)

L'analyse systémique du métabolisme territorial, un outil pour favoriser le recours aux ressources secondaires dans le domaine du BTP

ROUVREAU L. ; MICHEL P. ; MONFORT CLIMENT D. ; JAYR E. ; MORICE J.

Colloque International Futurs urbains, 'Enjeux interdisciplinaires émergents pour comprendre, projeter et fabriquer la ville de demain', 16-18 janvier 2013, Marne La Vallée, FRA, 7 p.

[\[http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00788373/\]](http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00788373/) ;
[\[http://villes-environnement.fr/fr/papiers/download/rouvreau-michel-monfort-climent-jayr-morice.pdf\]](http://villes-environnement.fr/fr/papiers/download/rouvreau-michel-monfort-climent-jayr-morice.pdf)

Harmonizing LCA methodology for the European Construction Sector

LASVAUX S., GANTNER J., WITTSTOCK B., BOSDEVIGIE B., BAZZANA M., SCHIOPU N., NIBEL S., SAUNDERS T., GAZULLA C., MUNDY J-A, SJÖSTRÖM C., JAYR E., CARTER C., FULLANA P., BARROW-WILLIAMS T., BRAUNE A., LENZ K., CHEVALIER J., SCHMINCKE E., HANS J., GYTEVAĚ Z., YATES A., KREISSIG J, ANDERSON J.
SETAC Europe LCA case studies, November 26-28, 2012 Copenhagen, DNK

BENEFIS – How to make building energy and environmental assessments reliable, simple and reproducible

SIBIUDE G. CHEVALIER J., DHOYE N., PEUPOORTIER B., MIKOLASEK R., CLEMOT D., LEBERT A., LASVAUX S.
AvniR 2012, November, 2012

Toward an accurate, simple and reproducible, energy and environmental assessment of buildings: the BENEFIS project

LEBERT A., SIBIUDE, G; LASVAUX, S; BONNET, R; PEUPOORTIER, B; MIKOLASEK, R; CLEMOT, D

AvniR 2013, November 4-5, 2013

A statistical analysis of the environmental performances of low-energy buildings

LEBERT, A; LASVAUX, S; GRANNEC, F; ACHIM, F; CHEVALIER, J; HANS, J

AvniR 2013, November 4-5, 2013

Intégrer la qualité de l'air intérieur dans un outil de qualité environnementale du bâtiment

MAUPETIT F.

Colloque Les Défis Bâtiment & Santé 2013, 28 mai 2013, Paris, FRA, 6 p.

[\[http://www.defisbatimentsante.fr/wp-content/uploads/2013/06/9-MAUPETIT.F.pdf\]](http://www.defisbatimentsante.fr/wp-content/uploads/2013/06/9-MAUPETIT.F.pdf)

[Rapports]

Piloting SBA common metrics. Phase 1: technical and operational feasibility of the SBA common metrics; practical modelling of case studies. Final report

HANS J. (Coord.) ; NIBEL S. ; CUNHA-CRIBELLIER A. ; SCHMINCKE E. ; LENZ K. ; AHVENNIEMI H. ; HUOVILA P. ; HAKKINEN T. ; SOTO VICARIO T. ; DI CARMINATI M.B. ; HORST S. ; PYKE C. ; KUZIEMKO J. ; RIGGS L. ; SOBOLA J. ; VONKA M.
SB Alliance , October 2012, 119 p.

[\[http://sballiance.org/wp-content/uploads/2012/11/RAPPORT-PILOTING.pdf\]](http://sballiance.org/wp-content/uploads/2012/11/RAPPORT-PILOTING.pdf)

Linking SBA metrics to IFCs and BIM: building information modelling and environmental indicators

HUOVILA P. ; HYVARINEN J. ; PALOS S. ; REKOLA M. ; CHEVALIER J. ; FIES B. ; LEBEGUE E.

SB Alliance
January 2012, 46 p.

[\[http://sballiance.org/wp-content/uploads/2013/02/WEB-LINKING.pdf\]](http://sballiance.org/wp-content/uploads/2013/02/WEB-LINKING.pdf)

Les déclarations environnementales de produits en Europe et dans le monde : étude technico-économique

DESMARIS R. ; HANS J. ; CHEVALIER J.
CSTB Editions, Collection Recherche – Expertise, 2012, 43 p.

[\[http://www.cstb.fr/uploads/media/R-Exp_01_EPD.pdf\]](http://www.cstb.fr/uploads/media/R-Exp_01_EPD.pdf)

COIMBA, COonnaissance de l'IMPact environnemental des BÂtiments : développement des outils d'évaluation de la qualité

environnementale des bâtiments par analyse de cycle de vie

SALMON N. ; DUCLOS L. ; FILLIT F. ; PEUPORTIER B. ; HERFRAY G. ; CHEVALIER J. ; SCHIOPU N. ; LASVAUX S. ; LEBERT A. ; SENEGAS J.L. ; MIKOLASE R. ; SIDLER O. ; RIESLER T.

Nobatek, décembre 2011, 243 p.

[\[http://www.nobatek.com/downloads/Etudes%20publiques/Coimba_Synthese_NOBATEK.pdf\]](http://www.nobatek.com/downloads/Etudes%20publiques/Coimba_Synthese_NOBATEK.pdf)

Superbuildings. Deliverables

FIES B.

October 2010, 106 p.

[\[http://cic.vtt.fi/superbuildings/node/6\]](http://cic.vtt.fi/superbuildings/node/6)

[Thèse]

Développement et mise en application d'un cadre de modélisation pour l'analyse des risques appliquée aux systèmes constructifs

BAZZANA M.

Th. doct. Génie civil et sciences de l'habitat, Université de Grenoble, octobre 2011, 199 p.

SIEGE SOCIAL

84, AVENUE JEAN JAURÈS | CHAMPS-SUR-MARNE | 77447 MARNE-LA-VALLÉE CEDEX 2
TÉL. (33) 01 64 68 82 82 | FAX (33) 01 60 05 70 37 | www.cstb.fr

CSTB
le futur en construction

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT | MARNE-LA-VALLÉE | PARIS | GRENOBLE | NANTES | SOPHIA-ANTIPOLIS