

Développement d'un outil d'aide à l'éco-conception architecturale : SOCRATE

Annabelle Protin

▶ **To cite this version:**

Annabelle Protin. Développement d'un outil d'aide à l'éco-conception architecturale : SOCRATE. Sciences de l'environnement. 2014. dumas-01250970

HAL Id: dumas-01250970

https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01250970

Submitted on 5 Jan 2016

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.

Université Joseph Fourier GRENOBLE

Institut de Géographie Alpine

2012 MASTER 2014 STADE SDT

Systèmes Territoriaux, Aide à la Décision, Environnement

MASTER 2

Domaine : Sciences Humaines et Sociales
Mention : Sciences du Territoire

Spécialité Professionnelle :
Systèmes Territoriaux, Aide à la Décision, Environnement

Développement d'un outil d'aide à l'éco-conception architecturale : SOCRATE

Mémoire soutenu le : 8 septembre 2014.

Responsable : Mme Dubus Nathalie (Enseignant-Chercheur, IGA)

Maître de stage : Mme Arantes Laëtitia (Ingénieur-Architecte, CSTB et ENSAG)

devant un jury composé de :

Maître de stage : Mme Arantes Laëtitia (Ingénieur-Architecte, CSTB et ENSAG)

Examinateur(s) : Mme Dubus Nathalie (Enseignant-Chercheur, IGA)

Mr Dubus Nicolas (Architecte, Maître-Assistant, ENSAG)

Protin Annabelle

M2 STADE

ANNEE 2013-2014

Organisme d'accueil : Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

CSTB le futur en construction

Résumé

Pour tout projet de bâtiment, l'architecte entre dans un processus de conception structuré autour de plusieurs étapes, allant de la pré-conception, en passant par la conception en elle-même, jusqu'à la post-conception. Chaque étape possède ses propres caractéristiques et ses propres contraintes pour le concepteur. L'étape centrale qui est la conception, se compose notamment d'une phase que l'on appelle la phase esquisse. Cette phase se présente comme un réel enjeu car elle est charnière dans le processus de conception. C'est à ce moment-là que l'architecte formule ses premier choix conceptuels. Ces choix sont déterminants et souvent irréversibles, car les changer au cours du projet nécessiterait un retour en arrière très coûteux. Or, lors de la phase esquisse, le concepteur possède peu d'informations pour évaluer ou comparer ces choix par rapport à leur impact sur la performance globale du bâtiment. C'est pourquoi l'élaboration d'un outil d'aide à la conception, adapté à la phase esquisse, peut être une solution pour répondre aux besoins du concepteur lors de cette phase et pour combler son besoin en informations à propos de ce choix conceptuels.

L'objectif de mon stage a été de participer au développement d'un outil d'aide à la conception architecturale en phase esquisse, et plus particulièrement à l'enrichissement de sa base de données. Au cours du développement de l'outil, sa pertinence, la qualité de ses informations et son ergonomie ont pu être confrontés aux différentes attentes du concepteur.

Abstract

For every architectural project, the architect goes through a design process structured in several steps, to the pre-design to the design step and ending with the post-design step. Each stage has its own distinguish features and problems.. The main stage, the design step, is especially composed of the Sketch Stage, or "Phase Esquisse". This stage represents a major stake because it is pivotal period in the design process. This is the moment when the architect defines its first conceptual choices. These choices are decisive and usually irreversible because changing them during the architectural process would call to start over, which is very expensive. Yet, during the sketch phase, the architect doesn't have a lot of information to assess or compare its choices regarding to their impact on the building's performances. That is why the making of an design assistance tool, adapted to the sketch stage, could be a solution to the architect's needs and fill its lake of information about its conceptual choices.

During my intern ship, I took part of the development of a design assistance tool, and more precisely to the improvement of its data base by adding information and data. During this development, the tool, its data, its ergonomics has been confront to the multiple expectations of the architect.

Remerciements

J'adresse mes remerciements à ma maître de stage Laëtitia Arantes, qui a su m'aider tout au long de mon stage en répondant à mes différentes questions et en facilitant mon intégration au sein du CSTB et plus globalement au monde du bâtiment et de l'architecture. Merci pour ta patience, tes conseils avisés, tes relectures et corrections et bien sûr ta disponibilité.

Je tiens à remercier Julien Hans, directeur adjoint en charge de la recherche au sein de la direction Energie, Environnement pour sa disponibilité et ses conseils tout au long du stage et lors de nos différentes réunions.

Je remercie également le chef de l'unité EICV, Jacques Chevalier pour son accueil et également toute l'équipe EICV, Alexandra, Emmanuel, Endrit, Francis, Galdric, Jérôme, Marine, Nathalie, Sébastien. Merci pour votre accueil, votre bonne humeur et les belles parties de volley. Merci beaucoup Francis pour avoir fait circuler mon CV, sans quoi Laëtitia ne m'aurait pas contacter. Grâce à vous, je garde un très bon souvenir de mon passage dans votre équipe.

Je remercie également l'ensemble des personnes travaillant au CSTB avec qui j'ai pu partager de bons moments d'échange et de convivialité. Merci pour votre accueil.

Je tiens également à remercier les membres du jury pour leur présence lors de ma soutenance et le temps qu'ils ont passé à corriger mon mémoire : Mme Dubus, Mr Dubus et Mme Arantes.

Je remercie également les stagiaires que j'ai côtoyés pendant mon stage, Elena ma collègue de bureau, mais aussi Fabien, Marine et Maxime pour leur bonne humeur et les très bons moments que nous avons passés ensemble.

Merci Alice pour le temps que tu as passé à faire les différentes versions du logo pour arriver à celui qui se trouve sur la page d'accueil de l'outil.

Pour finir, je tiens à remercier mes camardes de promo qui ont teinté ces deux années de Master d'une franche et belle camaraderie et avec qui je partage de très bons souvenirs.

Aux copains d'abord !

Sommaire

Résumé 2
Abstract 2
Remerciements 3
Sommaire 4
Préambule 6
Introduction-Problématique 9
I. Etat de l'art : Enjeux, besoins et outils d'aide à la conception architecturales 13
1. Enjeux dans la conception et besoins du concepteur 13
2. Synthèse bibliographique sur les outils d'aide à l'éco-conception au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse d'un projet architectural 16
2.1. Description du corpus d'outils analysés 17
2.2. Les outils d'aide à la décision et à l'éco-conception : proposition d'une classification en fonction des approches rencontrées 20
3. Un foisonnement d'outils mais un manque d'outils synthétiques et ergonomiques 29
II. SOCRATE : son fonctionnement et son développement 31
1. Présentation de SOCRATE, outil d'aide à l'éco-conception architecturale 31
1.1 La première version de SOCRATE : Son fonctionnement, ses atouts et ses limites 32
1.2. La deuxième version de SOCRATE : SOCRATE 2.0 37
2. Capitalisation des connaissances nécessaires pour enrichir SOCRATE 44
2.1 Types de connaissances qui vont constituer la base de données de SOCRATE 45
2.2 La capitalisation d'informations sur la conception architecturale : méthodes et limites 46
III. Résultats et retours d'expérience 52
1. Etat de la capitalisation de SOCRATE à l'issue du stage 52
1.1 Les savoirs experts recueillis dans des articles, documents et divers études 52
1.2. Les données chiffrées issues de l'étude « Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance » 53
2. Retours critiques sur la méthodologie de travail et sur SOCRATE 53
2.1 Limites de la méthodologie 53
2.2. SOCRATE : Retour d'expérience 54
Conclusion 57

Bibliographie 58
Table de figures 61
Table des tableaux 63
Annexes 64
Annexe 1 : Présentation d'ELODIE 65
Annexe 2 : Liste des 101 outils retenus pour la synthèse bibliographique 67
Annexe 3 : Aperçu de la grille de lecture et des outils étudiés 71
Annexe 4 : Les 16 outils qui peuvent être regroupés sous l'approche méthodologique générale .. 73
Annexe 5 : Les 82 outils de l'approche orientée 74
Annexe 6 : Les 5 outils de l'approche référentiel et certification 77
Annexe 7 : Les 40 indicateurs de performance 78

Préambule

Mon stage qui prend part au développement d'un outil d'aide à la conception architecturale du nom de SOCRATE[1] résulte d'une étude menée en partenariat entre le CSTB[2] et l'ENSAG[3].

Remarque : les informations qui vont suivre sont directement issues des sites internet du CSTB (http://www.cstb.fr/), de l'ENSAG (http://www.grenoble.archi.fr/) et du laboratoire CRAterre (http://craterre.org/)

Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment :

Le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment[4] est un organisme public à caractère industriel et commercial qui a pour mission de rassembler, développer et partager avec les acteurs de la construction les connaissances scientifiques et techniques déterminantes pour faire progresser la qualité et la sécurité des bâtiments et de leur environnement.

Le CSTB possède quatre secteurs d'action : la Recherche, l'Expertise, l'Evaluation et la Diffusion.

- La Recherche du CSTB s'inscrit dans les programmes du ministère de l'Enseignement supérieur et de la Recherche. Son approche intègre les enjeux socio-économiques de sécurité, de santé, de confort d'environnement et d'énergie qui s'imposent aux bâtiments, aux quartiers et aux villes.

- Le CSTB accompagne également les acteurs de la construction en favorisant l'émergence d'innovations et leur accès au marché, tout en les sécurisant via l'Evaluation. A l'échelle européenne, le CSTB est un organisme d'évaluation technique, également notifié pour conduire les évaluations en vue du marquage CE. Ainsi, avec ses filiales et ses laboratoires d'essais, il fait partie des acteurs majeurs de la certification des produits et des ouvrages.

- Le CSTB mobilise son Expertise en appui aux politiques publiques et en soutien aux parties prenantes du bâtiment et de l'environnement urbain. Basée sur des connaissances acquises par les actions de recherche et d'évaluation des innovations, l'activité d'expertise s'appuie aussi sur une connaissance concrète des acteurs professionnels et privilégie les approches transversales et systémiques. Au niveau national, européen et international, le CSTB participe à la normalisation et à l'évolution de la règlementation technique de la construction.

- En termes de Diffusion, l'une des missions du CSTB est de partager les connaissances. Il rend l'information scientifique et technico-réglementaire accessible et directement utilisable au travers de produits d'éditions et de service informatique, de logiciels métiers et d'une offre de formation professionnelle.

[1] Support et Outils de Capitalisation de Règles Architecturales et Technique
[2] Centre Scientifique du Bâtiment
[3] Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble
[4] http://www.cstb.fr/

Ces quatre grands secteurs d'action sont structurés selon trois axes stratégiques :

- Favoriser le développement des performances globales des bâtiments :
- Réaliser un accompagnement renforcé des acteurs dans le processus d'innovation
- Adapter une approche intégrée à l'échelle des villes et des territoires

Les actions du CSTB se concentrent sur 5 priorités scientifiques et techniques :

Energie et Environnement : Améliorer et garantir la performance énergétique et environnementale de l'espace bâti repose sur une approche globale en cycle de vie, prenant en compte les enjeux d'économie circulaire.

Santé et Confort : Étudier les ambiances, tant urbaines qu'à l'intérieur des bâtiments, identifier les facteurs de risques potentiels pour les populations et proposer des solutions de protection et d'amélioration.

Maîtrise des risques : Développer une approche multirisque de l'acte de construire et de rénover, pour appréhender dans une seule approche de conception intégrant tous les types de risques

Le numérique : Développer des outils numériques collaboratifs multicritères pour les professionnels de l'aménagement, conception, construction et rénovation, pour accompagner l'évolution des pratiques

Les usages, l'économie et les mutations des filières : Repenser bâtiments et lieux de vie en réponse aux nouveaux usages, attentes et contraintes environnementales, nécessite d'accompagner l'évolution des processus d'aménagement, conception et gestion de la construction.

L'Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble :

L'ENSAG[5], forte de l'expérience de praticiens et d'enseignants chercheurs offre aux étudiants des enseignements à la fois professionnels et universitaires alliant théorie, pratique et expérimentation :

- Arts et techniques de la représentation
- Design
- Histoire et culture architecturale
- Langues
- Sciences humaines et sociales
- Sciences et techniques pour l'architecture
- Théories et pratiques de la conception architecturale et urbaine
- Villes et Territoire

[5] *http://www.grenoble.archi.fr/*

L'école développe une pédagogie axée sur l'approche virtuelle et analogique du projet mais aussi via l'expérimentation dans des ateliers permettant de travailler étroitement la conception et la réalisation.

Au sein de l'école, le laboratoire CRAterre[6] cultures constructives et développement durable mène de nombreux projets innovants, comme référence mondiale dans le domaine de l'architecture de terre. Le laboratoire s'attache à allier diagnostic, recherche, expérimentation et application. L'analyse des cultures constructives permet au laboratoire de développer des filières de construction innovantes et des méthodes de projets adaptés aux contextes locaux. Ses capacités d'innovation et d'intégration pluridisciplinaire sont reconnues et inspirent de nombreuses institutions de par le monde.

L'association de ces deux entités autour d'un projet d'aide à l'éco-conception architecturale prend tout son sens. Elles ont en commun les thématiques du bâtiment et de l'architecture et qui sont toutes les deux très actives dans le milieu de la recherche mais également dans le secteur professionnel,

L'une des principales missions de mon stage a été d'accompagner les ingénieurs du CSTB et les chercheurs et architectes de l'ENSAG dans la capitalisation des informations expertes sur les choix architecturaux et constructifs de l'architecte. En particulier, l'objectif du stage est de capitaliser les informations expertes sur une liste de principes architecturaux préalablement définie par le CSTB. Ces informations sont regroupées dans un tableau de bord matriciel, selon plusieurs thématiques de performances (énergie, environnement, santé, confort, sécurité, économie, durabilité, qualités d'usages).

[6] http://craterre.org/

Introduction-Problématique

D'après l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME), le secteur du bâtiment représente 43% de l'énergie finale[7] consommée en France, et 25% des émissions nationales de gaz à effet de serre. Le rapport "*Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance*" (Lebert A. *et al.* 2013) produit par le CSTB[8] et qui rend compte d'une étude qui s'étend de 2010 à 2013, met en exergue l'impact du cycle de vie d'une centaine de bâtiments sur 7 indicateurs environnementaux globaux (Indicateur Energie Primaire Totale, Energie Primaire non Renouvelable, Changement Climatique, Déchets Inertes et non Dangereux, Déchets Dangereux, Consommation d'Eau)[9]. L'étude du cycle de vie d'un bâtiment correspond à la prise en compte de toutes les étapes de mise en œuvre et de déconstruction d'un bâtiment ainsi que de tous les intrants et sortants mobilisés durant ces différentes étapes (Figure 1).

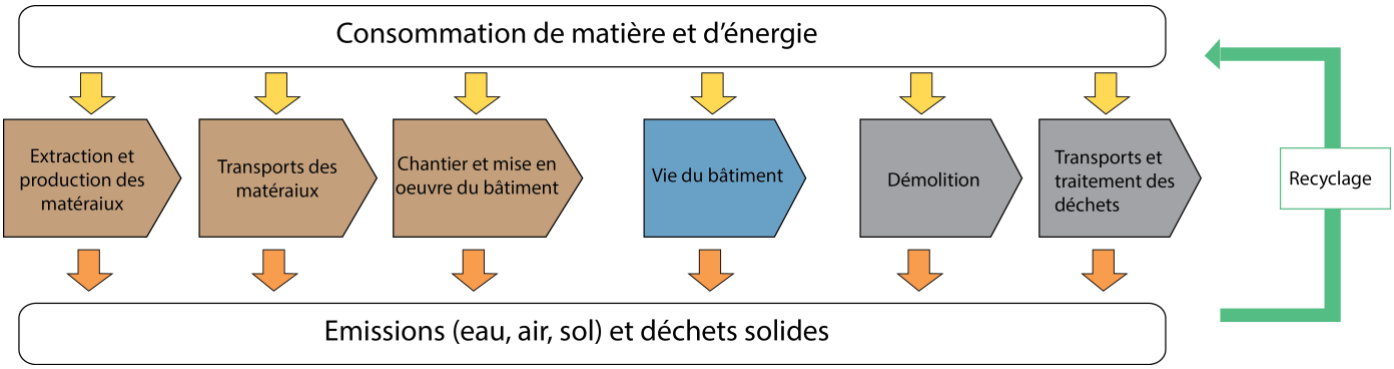


Figure 1 : Schématisation du cycle de vie d'un bâtiment (adapté d'après présentation power point non diffusée du CSTB Formation, 2014)

[7] L'énergie finale correspond à l'énergie consommée à la prise dans le bâtiment, payée par l'utilisateur. Elle comprend l'énergie utile (le besoin en énergie réel du bâtiment) plus les pertes dans les réseaux et systèmes. Elle est issue de l'énergie primaire qui elle se compose de l'énergie finale plu la consommation nécessaire à son extraction, production et transport. Source : Ademe, 2014

[8] Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

[9] **Indicateur énergie primaire totale** : permet de définir le niveau d'efficacité énergétique à l'échelle du bâtiment, tous postes de consommations confondus (réglementés et non réglementés)

Indicateur Energie primaire non renouvelable : Indicateur décrivant l'épuisement de ressources énergétique qui existent en quantité fixe en différents points de la croûte terrestre et qui ne peuvent pas être renouvelées à l'échelle de temps humaine.

Indicateur Changement Climatique : Indicateur décrivant les émissions de gaz à effet de serre (GES) à l'origine du changement climatique : dioxyde de carbone (CO2), méthane principalement.

Indicateur Déchets Inertes et non Dangereux : Indicateur décrivant la quantité totale de déchets inertes et non dangereux produits sur tout ou partie du cycle de vie du bâtiment.

Indicateur Déchets dangereux : Indicateur décrivant la quantité totale de déchets inertes et non dangereux produits sur tout ou partie du cycle de vie du bâtiment.

Indicateur consommation d'eau : Indicateur qui caractérise la quantité d'eau prélevée dans l'environnement et utilisée directement ou indirectement à l'échelle du cycle de vie du bâtiment. (Source : SOCRATE)

Il résulte que la phase construction (en marron sur la Figure 1) apparaît comme ayant un impact assez fort notamment sur les indicateurs « Changement Climatique » et « Production de Déchets ». (Lebert A. *et al.* 2013)

Face à ce constat, la problématique du secteur du bâtiment en France et l'étude de ses impacts sur l'environnement prend tout son sens. Toute modification dans les différentes pratiques de conception et/ou de construction peut avoir des conséquences non négligeables sur l'impact global du bâtiment sur l'environnement. Ainsi le secteur du bâtiment peut constituer un levier important dans la lutte contre la dégradation de l'environnement. Dans ce contexte, il paraît essentiel de donner aux décideurs, maîtres d'ouvrage, maîtres d'œuvre et autres acteurs du bâtiment les moyens d'utiliser à bon escient leur pouvoir d'action.

Dans cette optique, il peut être intéressant de proposer de nouveaux outils d'aide à la décision ou d'éco-conception qui fournissent un cadre aux acteurs et qui favorisent l'émergence de solutions performantes vis-à-vis de l'environnement.

La modification de pratiques ou l'introduction de nouveaux outils est un processus qui peut s'avérer complexe lorsqu'il s'opère chez des professionnels aguerris qui possèdent déjà des techniques et méthodologies de travail bien ancrées. C'est pourquoi la création d'un outil d'aide à la décision destiné à des étudiants en architecture par exemple, peut être une solution pour faciliter l'implantation de nouvelles méthodes de travail, de nouveaux réflexes ou de nouvelles informations expertes auprès de professionnels du bâtiment en devenir. Un outil d'aide à la décision dans le secteur du bâtiment et de la conception architecturale est d'autant plus important qu'il peut constituer un réel appui informatif lorsque le concepteur ne possède pas beaucoup d'informations sur son projet ou sur des matériaux qu'il souhaiterait utiliser. Ce manque d'information peut se produire au début du projet, dans les phases préliminaires de la conception, telle que la phase esquisse.

Cette phase se situe au tout début de l'étape de conception du bâtiment (Figure 2). Elle « *définit le mode d'implantation du projet sur le terrain, l'organisation générale des espaces, l'articulation des pièces entre elles. Des croquis présentent les principes de volumétrie et d'insertion dans le site. Cette étude permet de valider les choix de vie et de projeter dans le projet. À ce stade, l'architecte confirme la compatibilité de l'enveloppe financière avec la concrétisation des attentes.* ». (rb-architecte, 2014)



Figure 2 : Schématisation des grandes étapes d'un projet de conception d'un bâtiment (adapté de Laëtitia Arantes, 2014)

La phase esquisse représente un enjeu car à ce moment du projet, le concepteur dispose de peu d'informations pour pouvoir appuyer ses choix conceptuels. Ainsi, la construction d'un outil d'aide à la décision et à l'éco-conception pour la phase esquisse est légitime mais entraîne parallèlement un questionnement quant à la méthodologie à employer pour réaliser un tel outil afin qu'il soit le plus efficace et pertinent possible. Quel type d'information fourni par un outil d'aide à la conception pourrait être le plus pertinent pour réponde aux attentes du concepteur lors de la phase esquisse ?

Laëtitia Arantes, au cours de ses travaux, a identifié un type d'informations utilisable dès l'esquisse : les savoirs experts. Un savoir expert est un savoir déduit de principes de bases, de règles issues de l'expérience et des différentes pratiques architecturales ou plus généralement du bâtiment. Il peut donc être issu de l'expérience mais aussi de l'expertise. « *A ce jour, les savoirs experts concernent tant des caractéristiques générales (son orientation) du bâtiment que des aspects plus « locaux » (performance de paroi)* » (Arantes, 2014).

Le CSTB, organisme dans lequel j'ai effectué mon stage de Master 2 du 1er mars au 31 juillet 2014 (plus précisément dans l'équipe EICV[10] présentée) s'intéresse à la mise en place d'un outil qui serait capable de pouvoir donner au concepteur une appréciation « experte », issue de ces savoirs experts, sur les choix conceptuels, de matériaux ou de structuration que prend le concepteur lors de la phase esquisse de son projet.
C'est ainsi qu'a été initié la réalisation de SOCRATE (Support et Outil de Capitalisation de Règles Architecturales et Techniques Expertes), outil d'aide à la décision pour l'éco-conception de bâtiments, développé par Laëtitia Arantes dans le cadre de son post-doctorat, en collaboration avec le CSTB et l'ENSAG[11]. L'objectif de l'outil est de pallier le déficit d'informations auquel fait face le concepteur lors de la phase esquisse. La constitution d'un outil avec une base de données réunissant des savoirs experts sur des choix conceptuels et leurs impacts sur le bâtiment, qu'ils soient au niveau énergétique, acoustique ou plus globaux est la solution étudiée par le Laëtita Arantes.

Mon stage a été créé pour venir en appui au développement de SOCRATE, et pour accélérer la capitalisation d'informations expertes sur les choix architecturaux et constructifs du concepteur. Mon implication dans le développement de SOCRATE se situe plus précisément au niveau du « mode capitalisation » de l'outil, la partie qui l'alimente en informations expertes. La collecte de ces données expertes a donc été l'un des principaux objectifs de mon stage. J'ai également pu participer aux réflexions concernant son ergonomie et son interface graphique dans le cadre du stage mis en place en parallèle du mien pour le développement d'une interface graphique conviviale et plus interactive de l'outil.
SOCRATE a été conçu dans le but d'apporter ce supplément d'informations qui peut faire défaut au maître d'œuvre ou à l'étudiant en architecture pour orienter son projet en connaissance de cause, plus particulièrement concernant les impacts environnementaux qu'il peut avoir. A termes, l'outil devrait intégrer d'autres performances du bâtiment tel que le confort ou la sécurité par exemple. Cet apport d'informations se doit cependant de répondre à plusieurs critères et besoins intrinsèques à la phase esquisse et qui font également écho aux besoins plus généraux qu'un outil d'aide à la décision doit satisfaire. Ces besoins tiennent à la fois du fond et de la forme. Les informations doivent avant tout être valides, validées et en phase avec les réglementations en vigueur. Un outil d'aide à la décision se doit d'être communiquant, afin qu'il s'intègre dans le processus de conception et ne le ralentisse pas. Ainsi, une attention particulière est portée sur les sorties graphiques, et les visuels synthétiques.
En parallèle de ce premier objectif de stage, j'avais pour mission d'effectuer une synthèse bibliographique sur les outils d'aide à la décision et à l'éco-conception déjà existants, à l'échelle nationale mais aussi mondiale. Pour ce faire je me suis appuyée sur une liste préétablie par Laëtitia Arantes de plus d'une centaine d'outils. Cette analyse s'est faite au regard de besoins que pourrait

[10] Environnement, Ingénierie du Cycle de Vie
[11] Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble

avoir le concepteur lors de la phase esquisse. Nous verrons comment les conclusions issues de cette synthèse peuvent nous aider à porter un regard critique sur la conception de SOCRATE mais aussi situer cet outil dans un contexte déjà riche en méthodologies, logiciels et outils de calculs.
Dans un troisième temps, j'ai également participé à la traduction anglaise du logiciel d'analyse du cycle de vie ELODIE (Annexe 1), développé par le CSTB. Dans le cadre d'un stage transversal, j'ai apporté mon aide dans la traduction de certains passages de l'outil qui n'étaient pas encore traduits et aussi dans la vérification de passages déjà traduits afin de repérer d'éventuelles erreurs.

Le mémoire proposé va donc rendre compte des différentes missions de mon stage en se structurant autour du questionnement suivant : outre ses objectifs directement liés aux performances du bâtiment, SOCRATE et la méthodologie suivie pour sa conception sont-ils capables de répondre aux critères à la fois généraux d'un outil d'aide à la décision et à ceux plus spécifique de la phase esquisse ? Les informations consignées dans l'outil et mises à disposition des utilisateurs pressentis sont-elles pertinentes et permettent-elles de rendre l'outil efficient? Le support technique utilisé est-il adapté à l'usage envisagé pour cet outil? Quelle ergonomie lui donner pour que son utilisation soit effective et efficace? Quelles sont les limites et les apports de SOCRATE dans le paysage des outils d'aide à la décision ?
La démarche de travail mise en place au cours du stage permet d'apporter des éléments de réponse à ces questions.

Dans un premier temps, le contexte dans lequel s'inscrit mon stage sera abordé. Ainsi, la première partie se compose de l'état de l'art des outils d'aide à la décision existants, de la présentation des enjeux et besoins qui ont conduit à la réflexion sur la conception d'un outil d'aide à la décision tel que SOCRATE et de la présentation de l'outil SOCRATE en lui-même.
Dans une seconde partie sera abordée ma méthodologie de travail pour rassembler les connaissances expertes nécessaires à l'alimentation de l'outil. Ainsi, cette partie se penchera notamment sur le travail de la collecte d'informations et sur un retour critique des informations récoltées et de mon travail.
Pour finir, la troisième partie sera composée d'une réflexion critique sur SOCRATE ainsi que des perspectives et améliorations possibles.

I. Etat de l'art : Enjeux, besoins et outils d'aide à la conception architecturales

1. Enjeux dans la conception et besoins du concepteur

Durant la phase esquisse de la conception d'un bâtiment, l'architecte peut être en manque d'information pour évaluer ses premiers choix conceptuels. L'une des modalités de SOCRATE est d'apporter un soutien au concepteur d'un bâtiment lors d'une phase précoce de la conception, la phase esquisse. Pour que cet apport soit efficace, il est nécessaire qu'il se fasse en amont du projet, alors que les grandes décisions n'ont pas encore été prises ou sont sur le point d'être actées, c'est-à-dire au début de la phase de conception.

Avant de démontrer l'enjeu que représente la phase esquisse, voici une présentation synthétique des grandes étapes de la conception d'un bâtiment (Figure 3).

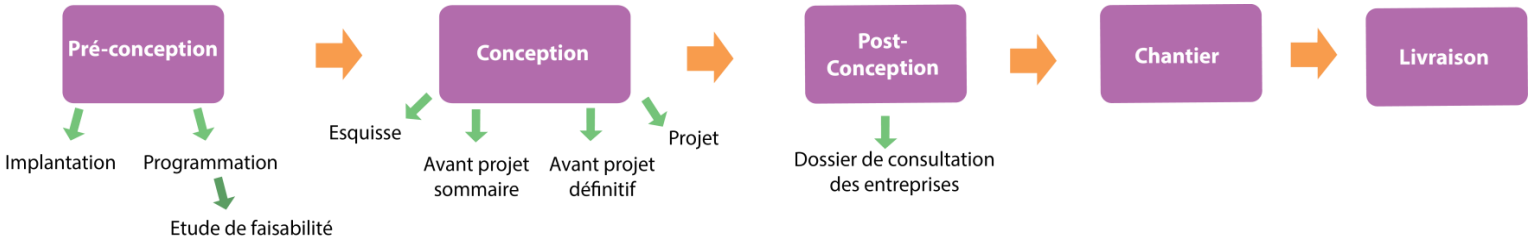


Figure 3: Schématisation des grandes étapes de la conception d'un bâtiment

Lors de la pré-conception, le maître d'ouvrage exprime les premiers besoins qu'il formalise lors de la programmation. A partir de cette programmation, le concepteur réunit les différentes données contextuelle, réglementaire, financières, etc. qu'il synthétise dans une analyse de faisabilité. C'est à partir de cette analyse que résulte l'esquisse qui offre une première visualisation du projet dans son site. On entre dès lors dans la phase de conception en elle-même, qui conduit à la préparation du chantier de construction. Cette étape induit plusieurs études allant de l'Avant-Projet Sommaire (APS), de l'Avant-Projet Définitif (APD) au Projet en lui-même, suivi de la constitution du Dossier de Consultation des Entreprises (DCE). A la suite du DCE, les études d'exécution se focalisent sur la préparation et la planification du chantier de construction. Une fois les travaux contrôlés et validés, le bâtiment peut être livré au maître d'ouvrage. Les usagers peuvent alors s'approprier le bâtiment.

La phase esquisse est la phase qui cristallise le moment où le concepteur commence à faire des choix directeurs. Lors de cette étape, le concepteur est amené à faire des premiers choix sur plusieurs paramètres structurels du bâtiment qui influent sur ces performances et les impacts qu'il peut avoir sur l'environnement. Ces paramètres ou solutions architecturales peuvent concerner la volumétrie du bâtiment, la nature de sa structure ou encore l'emplacement et la nature des ouvertures.

La phase esquisse représente un enjeu important dans un projet car elle cristallise plusieurs états. En effet, au début de la phase de conception, avant la constitution précise du projet, le maître d'œuvre dispose d'une grande liberté d'action concernant la conduction du projet mais en parallèle subit un défaut d'informations concernant le projet en lui-même. A mesure que le projet avance, ces états s'inversent. Le maître d'œuvre a de moins en moins de marge de manœuvre pour modifier les directions que prend le projet mais dispose de plus en plus d'informations à propos de celui-ci. Les phases esquisse et de conception se caractérisent donc par une relation inverse entre le niveau de connaissances disponible sur le projet et la capacité d'action de l'architecte. Cette situation peut être illustrée par la Figure 4 :

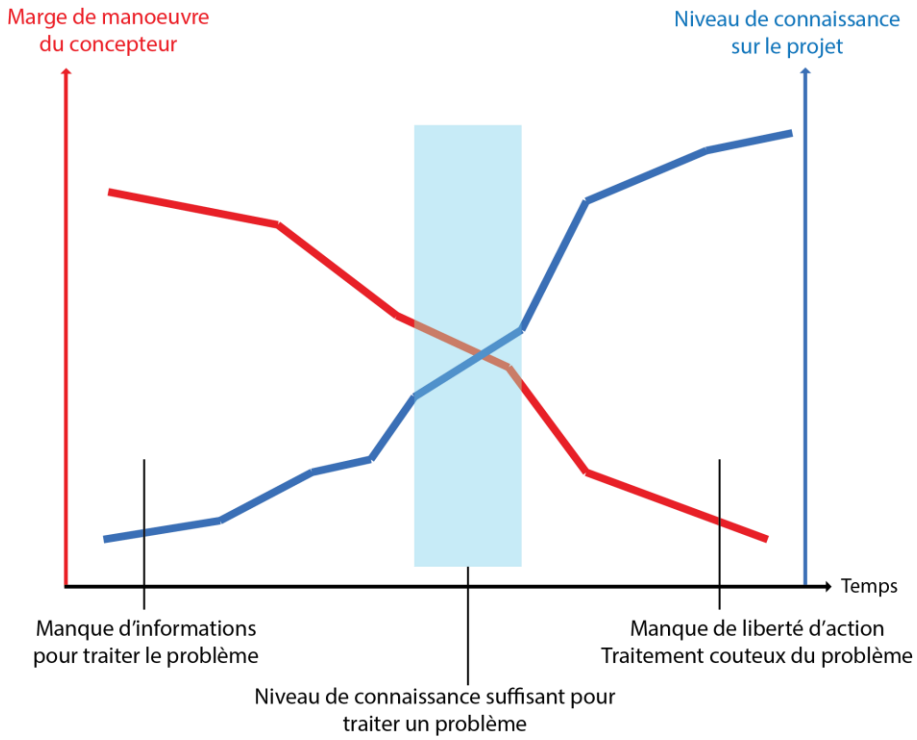


Figure 4 : Capacité d'action et niveau de connaissance d'un projet au cours de la conception (adapté de Laaroussi, 2007, d'après les travaux de Christophe Midler (Midler, 1993) cité dans Arantes, 2014)

La phase esquisse a une double particularité :

- Les choix réalisés par le concepteur sont déterminants et souvent irréversibles, car les changer nécessiterait un retour en arrière très coûteux pour modifier le projet.
- Il existe peu d'informations pour évaluer ou comparer les impacts de ces choix sur les performances globales du bâtiment. Le manque de données et les incertitudes dominent cette phase.

Si le concepteur opte pour une approche globale, et multicritère, la prise en compte de l'ensemble des contraintes et leur confrontation dès la phase esquisse semblent nécessaire pour identifier au plus tôt les éventuels problèmes de conception. (Dias-Pedregal, 2000 cité dans Arantes, 2014). C'est pourquoi la phase esquisse constitue un enjeu majeur dans conception.

Ainsi, pendant cette période, si le concepteur utilise un outil d'aide à la conception tel que SOCRATE, il est nécessaire que celui-ci respecte certaines attentes et réponde à ses besoins. Nous nous sommes donc interrogés sur la définition des besoins spécifiques que pourrait avoir le concepteur ou

l'architecte lors de l'utilisation d'un outil d'aide à la conception pendant la phase esquisse. Ces besoins sont résumés dans le Tableau 1 :

Besoins du concepteur pendant la phase esquisse
Accessibilité informatique de l'outil d'aide à la conception (est-il payant, gratuit, en ligne ?)
Ergonomie de l'outil d'aide à la conception (simplicité d'utilisation, interface simple)
Faciliter la comparaison des choix architecturaux et de leur impact (lancement de plusieurs pages en parallèle pour faciliter les comparaisons par exemple)
Renvoi vers des exemples, cas concrets afin de comparer le projet à des bâtiments finis qui ont les mêmes solutions architecturales
Aide à diminuer le temps de réponse (résumé de l'information, visuels synthétiques)
Graphiques et illustrations parlantes et accessibles
Prise en compte de normes et labels
Utilisation d'une ou plusieurs bases de données qui centralisent de nombreuses connaissances
Variétés dans les types de bâtiments pris en compte par l'outil
Est-il utilisable en phase esquisse ? (ne demande-t-il pas trop d'informations trop précises et trop avancées ?)

Tableau 1: Besoins du concepteur pendant la phase esquisse

Ces besoins ont pu être identifiés à la suite de l'étude et de la réadaptation d'une liste construite par Vida Gholipour dans sa thèse *Eco*-conception *collaborative de bâtiments durables* (Gholipour, 2011). Cette liste a été modifiée après l'analyse de premiers outils d'aide à la conception pour la synthèse bibliographique. En effet, certains besoins identifiés par Vida Gholipour étaient soit trop précis ou orientés vers son propre projet d'outil d'aide à l'éco-conception comme le besoin « Instrumentaliser la démarche éco-modèle » ou d'autres trop généraux et pas assez explicites tels que « Aide à l'évaluation des choix » ou encore « Aide à diminuer le temps de réponse durant la phase esquisse ». Ainsi, en s'inspirant des idées de Vida Gholipour, une autre liste des besoins que pourrait rencontrer le concepteur en utilisant un outil d'aide à la décision pendant la phase esquisse a été proposée (Tableau 1). Elle regroupe des besoins plus ciblés et plus facilement identifiables.

Cette liste de besoins a été utilisée dans la grille de lecture qui a servi à analyser les différents outils d'aide à la décision et à l'éco-conception déjà existants dans la synthèse bibliographique qui suit.

2. Synthèse bibliographique sur les outils d'aide à l'éco-conception au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse d'un projet architectural

Il existe un grand nombre d'outils à la disposition des concepteurs et architectes. En plus des logiciels de dessin 2D et 3D qui se sont largement diffusés depuis les années 1960 (Saphin *et al.* cité dans Arantes, 2014), un large panel d'outils de simulations ou d'analyse de performances du bâtiment est à la disposition des professionnels, que ce soit pour des questions de thermique et d'énergétique, d'impacts environnementaux ou de conforts lumineux. Parmi cette multitude de propositions, il semble compliqué de distinguer quels outils peuvent convenir au mieux aux besoins des concepteurs lors de la phase esquisse. Cette synthèse bibliographique non exhaustive a pour but d'exposer un ensemble d'une centaine d'outils nationaux et étrangers d'aide à la décision et d'éco-conception au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse.

Critères descriptifs
Description rapide : Nature/Fonction de l'outil
Cibles/Etapes qu'il traite
Nature de l'outil
Langue dans laquelle l'outil est disponible
Approche de l'outil
Date de création
Auteur/Développeur
Sources
Remarques

Tableau 2 : Critères descriptifs utilisés pour chaque outil de la synthèse bibliographique

Les différents outils, issus d'une liste pré-établie par Laëtitia Arantes, ont été étudiés au regard d'une grille de lecture qui reprend les besoins du concepteur vis-à-vis de l'utilisation d'un outil d'aide à la conception pendant la Phase Esquisse (Tableau 1). Ainsi, en s'inspirant des idées de Vida Gholipour, une autre liste a été créée regroupant des besoins plus ciblés et plus facilement identifiables lors de l'analyse d'un outil. La grille de lecture se compose également de critères descriptifs (Tableau 2) afin de dresser un portrait rapidement consultable et synthétique de chaque outil. Il paraît utile de connaître la nature de chaque outil, leur date de création, leurs origines et les thématiques qu'ils abordent par exemple. Ces premiers éléments de description ne sont pas exhaustifs et constituent seulement une introduction pour chaque outil.

L'un des objectifs de cette synthèse est de rendre compte de la capacité des outils actuels à répondre aux besoins du concepteur pendant la phase esquisse et ainsi d'identifier leurs défauts et manquements par rapport à ces besoins.

2.1. Description du corpus d'outils analysés

Afin de réaliser cette étude bibliographique, 113 outils et méthodologies d'aide à la décision et à l'éco-conception ont été étudiés. Parmi eux, 101 ont véritablement été retenus pour une étude plus approfondie (Annexe 2), les 12 autres outils laissés de côté à cause de plusieurs critères qui compromettaient leur analyse (Tableau 3) :

Outils non conservés	Raisons
Acousalle	Date de 1997, n'est plus développé
Adeline	Trop vieux, fonctionne sous Windows 1995
Athena Ecocalculator	N'est plus développé
BEAT 2002	En Danois
BeCost	En Finnois
Eco Effect	S'adresse à des enfants
Energy 10	N'est pas un outil d'aide à la décision
Eco Profil	Créé en 2000. Sa date de création commence à être ancienne et n'a pas eu de mise à jour récente
Eco Quantum	Informations plus précises non disponibles
EcoSoft	En Allemand
Environmental Status Model	Créé au début des années 2000, sans mise à jour récente
Radiance	Date de création inconnue, mais semble trop vieux au vue de l'interface

Tableau 3: Outils non retenus dans le corpus final

Concernant les outils du corpus, tous les critères et besoins n'ont pas pu être renseignés à chaque fois, à cause de la difficulté à trouver certaines informations. En effet au vu du nombre important d'outils et du temps limité pour les étudier, leur analyse approfondie n'a pu être réalisée et seuls analyse des guides de présentations, sites internet et autres plateformes de présentations ont pu être passés en revue, ce qui constitue une première limite dans la démarche.

Le corpus, composé de 101 outils, se caractérise par une grande hétérogénéité, de par la nature diversifiée des outils mais aussi des thématiques qu'ils abordent. Voici quelques informations clés qui ont pour vocation de vous donner un aperçu synthétique de l'ensemble des outils d'aide à la décision et à l'éco-conception qui ont été retenus.

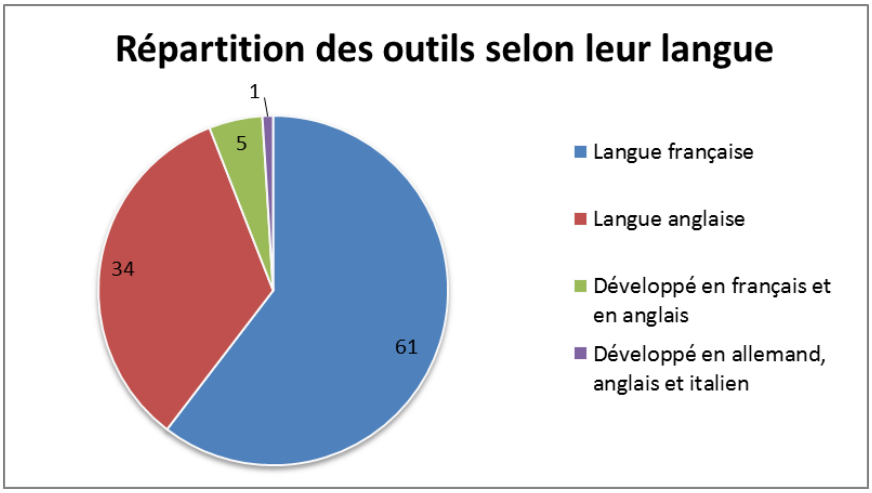


Figure 5 : Répartition des outils analysés selon leur langue de développement

Tout d'abord, il est

intéressant de noter que le corpus est composé d'outils français et aussi étrangers. Ainsi leur langue de développement peut varier principalement entre le français et l'anglais (Figure 5). Tous les outils étudiés sont soit européens soit nord-américains.

D'un point de vue chronologique (Figure 6), l'ensemble des outils se répartit de 1997 à 2014, avec une exception pour les Tables de Mahoney[12] qui ont été élaborées en 1969. Parmi les outils étudiés, très peu se situent avant 2005. La plus grande partie a été créée entre 2005 et 2012. Cependant, il existe une incertitude pour 18 outils. En effet, il est parfois assez compliqué de trouver sur les sites ou notices d'utilisation leur date de création ou de mise à jour. Les dates retenues pour constituer les intervalles de temps ont été choisies en fonction des normes RT 2005 et RT 2012[13], afin de pouvoir situer les outils et leur date de création par rapport à ces normes.

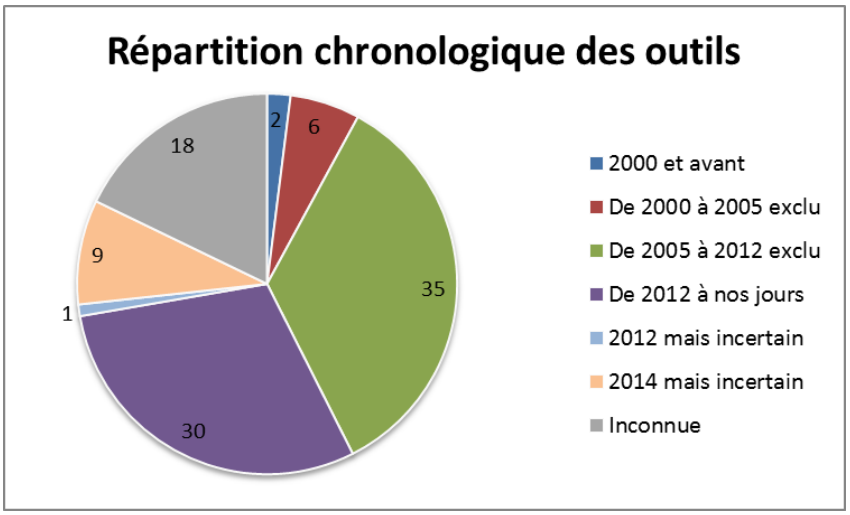


Figure 6 : Répartition chronologie des outils analysés

La nature des outils est elle aussi très variable. Nous pouvons dans un premier temps, les classer selon deux grandes catégories, entre outils issus de la recherche et outils plus opérationnels, issus de bureaux d'étude par exemple. Il est évident que les outils issus de la recherche ont pour vocation à être opérationnels mais il semble intéressant de faire cette première dissociation afin de voir l'implication universitaire et de certains laboratoires dans cette problématique d'outils d'aide à l'éco-conception. Ainsi seulement 10 outils ont été identifiés comme étant des projets de recherche. Malgré leur minorité, ce sont les outils qui proposent des méthodes les plus innovantes et qui partagent le plus d'affinités avec SOCRATE tel que l'outil LibreArchI (Ivanka *et al.* , 2010) créé en partenariat entre l'université de Montréal et son école d'Architecture ou encore Eco-mod (Bignon *et al.* , 2011) issu de la collaboration entre le Centre de Recherche en Architecture et Ingénierie deà

[12] Créées par les architectes Carl Mahoney, John Martin Evans et Otto Königsberger (Département des affaires économiques et sociales des États-Unis), les tables de Mahoney proposent des recommandations de construction en fonction des données climatiques renseignées du projet. En fonction des attitudes à adopter chaque mois, la méthode désigne des préconisations à mettre en place vis-à-vis du plan-masse, de l'espacement entre bâtiments, de la circulation de l'air, des ouvertures, des murs, des toitures, du sommeil en plein air ou encore de la protection contre la pluie. Ces résultats sont présentés sous forme d'un tableau. (Source : Arantes, 2014)

[13] RT = Réglementation Thermique. La Réglementation Thermique a pour objectif de fixer une limite maximale dans la consommation énergétique des bâtiments neufs résidentiels et tertiaires. Cette réglementation est définie actuellement par la Réglementation Thermique 2012 (RT 2012) qui a succédé à la RT 2005, et la RT 2000. Le grand objectif de la RT 2012 est de fixer la consommation d'énergie pour des bâtiments neuf à 50 kWh équivalent pétrole/m².an en moyenne. (Source : planbâtimentdurable, 2014)

l'Ecole Nationale d'Architecture de Nancy et l'Equipe de Recherche sur les Processus Innovatifs attaché à l'INPL.

Si l'on s'intéresse à la nature plus précise des outils, on remarque que la majorité est composée de logiciels exécutables ou (Figure 7), ce qui nous permet d'illustrer la première différentiation entre les outils de recherche et les outils plus opérationnels.

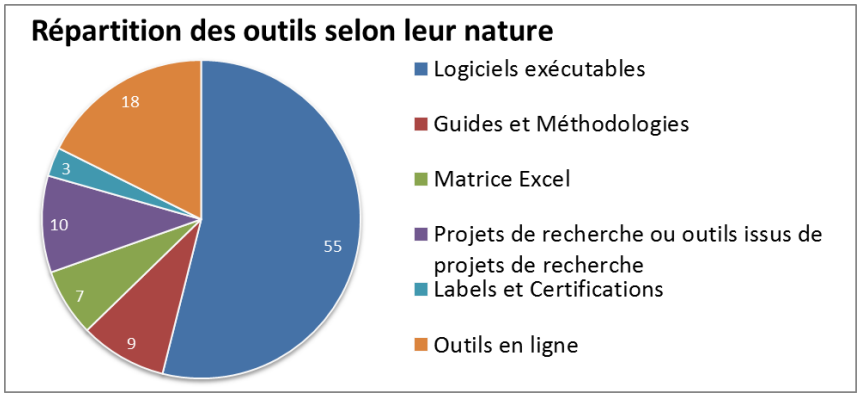


Figure 7 : Répartition des outils du corpus selon leur nature

Les outils en ligne avec notamment des outils de calculs en ligne sont assez bien représentés compte tenu de la domination des outils type « Logiciels » tel que des systèmes exécutables. Ces types d'outils tendent à pousser le concepteur à s'impliquer dans cette phase esquisse, en lui donnant la possibilité d'utiliser des outils relativement simples et accessibles en totale autonomie.
Le corpus d'étude est donc composé d'outils aux natures assez différentes mais aux objectifs sensiblement communs : apporter une expertise sur un domaine en particulier, aider le concepteur dans sa prise de décision. Pour ce faire, les thématiques qu'ils abordent sont nombreuses et assez variées. Une majorité est composée de 58 outils monocritère, tandis que les 53 autres outils ont des approches multicritères.

Acoustique	4%
Aide à la conception bioclimatique	4%
ACV - Impacts environnementaux	15%
Analyse multicritère inter-thématique	9%
Architecture et thermique / énergétique du bâtiment	27%
Autre outil (optimisation, etc.)	2%
Données climatiques	0%
Durée de vie et cout global	2%
Eclairage (naturel et artificiel)	13%
Géographie - Cartographie	1%
Grille d'analyse	3%
Guide méthodologique / Banque de données	15%
HygroThermique et Fluides du bâtiment	1%
Modélisation 3D	23%
Puits climatique	0%
Qualité de l'air intérieur	0%
Rénovation énergétique	1%
Simulation Thermique Dynamique (STD)	5%
Solaires - Energies renouvelables	24%
Ventilation naturelle et mécanique (CFD - Computational Fluid Dynamics)	1%

Tableau 4 Répartition des outils étudiés en fonction des thématiques qu'ils abordent

Voici un tableau récapitulatif (Tableau 4), illustrant la répartition des outils en fonction des thématiques qu'ils traitent. La liste a été réalisée avant la synthèse bibliographique, c'est pourquoi certaines thématiques se retrouvent sans outil. La liste s'inspire directement des travaux préliminaires de Laëtitia Arantes et des thématiques qu'elle a réalisé pour formuler la liste d'une centaine d'outils d'aide à la conception architecturale.

Il apparaît que la thématique de l'énergétique du bâtiment domine avec des thèmes tels que « Architecture et thermique » (27%) et « Solaire-Energies renouvelables » (24%). Il faut savoir qu'un même outil peut appartenir à plusieurs catégories. Ainsi, un outil de thermique pourra être aussi un outil de modélisation 3D ou traitant de l'éclairage. Les outils de modélisation 3D mentionnés précédemment sont également nombreux. Ce mode de représentation est assez bien utilisé par les outils de calculs thermiques notamment ou d'acoustique, où la fonction de représentation dans l'espace est importante. Les outils qui traitent de problématiques strictement environnementales sont un peu moins nombreux et peuvent se répartir dans la thématique « Analyse de Cycle de Vie (ACV) – Impacts environnementaux », « Analyse multicritère inter-thématique » et « Guide méthodologique ». Cependant, chaque thématique, qu'elle traite de l'énergie ou du solaire, peut être plus ou moins rapportée à une problématique environnementale, directement ou indirectement. On peut également noter des manques concernant les thématiques de ventilation, de rénovation énergétique, de qualité de l'air, et de données climatiques. Nous pouvons noter que les outils cartographiques sont également peu utilisés, cela peut peut-être s'expliquer par leur échelle d'application qui a pour vocation de traiter d'espaces plus vastes que l'échelle du bâtiment.

2.2. Les outils d'aide à la décision et à l'éco-conception : proposition d'une classification en fonction des approches rencontrées

Face à la grande diversité d'outils et en raison de leur nature, leur interface, et les thématiques qu'ils abordent, une classification de l'échantillon s'est imposée.

Cette classification se base sur les différentes approches des outils. Chaque outil aborde une thématique ou une méthodologie de façon différente, de sorte que chaque approche peut constituer une aide à la conception pour l'architecte en fonction de ses besoins et de l'avancée de son projet. Les outils ont pu être regroupés selon trois grandes approches, qui peuvent être utilisées à des moments différents lors de la phase de conception et qui peuvent répondre de différentes manières aux besoins du concepteur pendant la Phase Esquisse. Un outil sera présenté pour chaque approche afin de l'illustrer. Les points forts et faibles de ces outils seront également exposés. Cependant cette démarche n'a pas été appliquée pour les autres outils du corpus. Néanmoins, les atouts et faiblesses peuvent être facilement identifiables via les codes couleurs utilisés pour compléter la grille de lecture **(**Annexe 3**).**

2.2.1 L'approche méthodologique générale

Dans un premier temps, nous distinguerons les outils qui ont une approche générale, et qui font office de guide méthodologique incitant le concepteur à se poser les bonnes questions, à voir les zones d'enjeux et à anticiper les secteurs qui requièrent une attention particulière car ayant potentiellement un impact négatif, que ce soit sur le plan environnemental, énergétique ou encore acoustique.

Ces outils tels qu'Eco-Mod (Bignon *et al.* 2011) ou le « Traité d'Architecture d'Urbanisme Bioclimatique » (Liébard et De Herde, 2006) utilisent une base de données d'informations

qualitatives, un recueil d'informations expertes sur des composants d'un bâtiment ou sur des concepts architecturaux afin de donner à la fois des lignes directrices et des indications précises sur la performance d'un matériau par exemple. Dans cette approche, on peut également trouver des méthodologies et autres démarches incitatives telles que BDM (BDM, 2014), le Guide de bonnes pratiques d'HQE Performance (Association HQE, 2006) ou encore EVA-Tool (Evatool, 2011) qui offre aux concepteurs un cadre ou un suivi méthodologique afin qu'il puisse prendre en compte le plus efficacement possible les exigences environnementales.

Ce type d'approche généraliste aurait plutôt tendance à être utilisé avant la phase esquisse ou à ses prémisses, alors que le concepteur s'apprête à poser les bases architecturales de son projet. Ces outils invitent à un questionnement, à l'exploration de leur base de données afin de prendre connaissance des informations expertes et des bonnes pratiques qu'ils renferment. Ces outils rentrent dans l'optique d'un apport d'informations aux concepteurs via une base de données qui peut être facilement interrogée.

Seize outils (Annexe 4) (16% de notre échantillon) peuvent être regroupés selon cette approche. D'une façon générale, leurs points forts sont leur capacité à être généraux et à toucher à un grand nombre de thématiques. Les outils peuvent être sous forme de matrice, de base de données informatiques que l'on peut interroger, de guide ou de démarche. L'intérêt de ce type d'outil, pour la phase esquisse, est leur aspect non technique qui leur confère une simplicité d'utilisation. Ils permettent de guider le concepteur au tout début du projet, en lui indiquant des thématiques sensibles qui doivent être traitées. Cependant, ils ne facilitent pas beaucoup la comparaison de choix et de solutions à l'exception de quelques-uns tels qu'Eco-Mod (Bignon *et al.*, 2011) ou CLEAR (CLEAR, 2004). Il peut être intéressant en début de projet de pouvoir comparer les premières idées à des projets déjà réalisés et qui ont déjà fait leurs preuves. Ainsi leur caractère général n'offre pas de renvoi vers des exemples concrets à l'exception une nouvelle fois d'Eco-Mod (Bignon *et al.* , 2011) ou de GADS[14] (GADS, 2006). Une synthèse des points forts et faibles des outils qui utilisent cette approche est proposée dans un tableau récapitulatif (Tableau 5)

Points Forts + par rapport à la phase esquisse	Points Faibles - par rapport à la phase esquisse
Sont majoritairement gratuits (56%, soit 9 outils)	Ne facilitent pas la comparaison entre différentes solutions ou choix architecturaux
Approche générale, intégrant de multiples thématiques	Peu se basent sur une base de données structurée qui peut être interrogée (25% soit 4 outils)
Ne requièrent pas d'être expert dans un domaine	Peu renvoient sur des exemples de projets concrets (31% soit 5 outils)
Alimente un processus de réflexion qui peut s'intégrer aux bases du projet et l'orienter dans des choix de solutions durables	L'aspect « liste d'informations » peut parfois ne pas être pratique

Tableau 5 Points forts et faibles des outils de l'approche méthodologique générale

[14] Green Architecture Design Strategies

Cet outil est gratuit et accessible à l'adresse suivante : http://www.crai.archi.fr/eco.mod/eco.mod/N1Accueil.html

« Eco-mod est un générateur de scénarios environnementaux fondé sur une « vase d'éco-modèles » (…). Il est dédié à l'éco-conception architecturale et vise à favoriser l'émergence de concepts opératoires dans les phases amont (Esquisse, Avant-Projet Sommaire) de la conception.

Eco-mod est également utilisable comme outil d'aide à la définition d'une stratégie environnementale partagée entre les membres de l'équipe d'ingénierie et avec le maître d'ouvrage. » (Page d'accueil du site : http://www.crai.archi.fr/eco.mod/eco.mod/InfoEco.Mod.html)

Pour utiliser cet outil, il existe trois types d'approches, ou entrées (Figure 8).

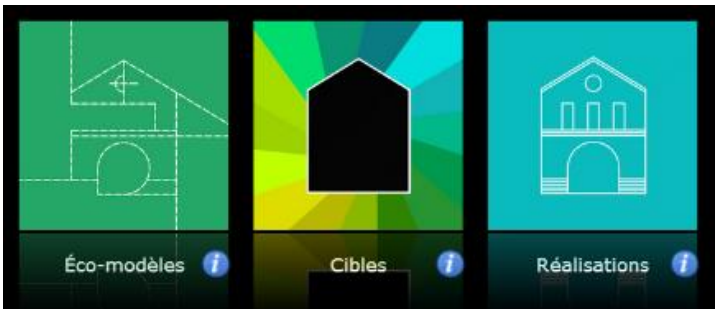


Figure 8 : Choix de recherche disponibles dans Eco-mod



On peut utiliser l'outil via l'entrée « Eco-Modèle » qui va nous permettre d'examiner une liste de solutions architecturales. Pour chacune des solutions architecturales (allant des balcons et autres terrasses, aux planchers, ou encore à la ventilation) est présentée une problématique. Une ou plusieurs solutions sont présentées pour répondre à la problématique via la solution architecturale sélectionnée. Sont également exposées les contraintes (techniques, de maintenance, etc.) qui peuvent lui être associées.

Par exemple, si nous choisissons de nous intéresser à l'enveloppe du bâtiment. Nous avons le choix entre plusieurs solutions architecturales telles que l'oriel, le mur rideau photovoltaïque, la circulation indépendante ou encore le pur capteur thermique. Si nous choisissons l'oriel, trois points nous sont présentés. Tout d'abord, est exposé le problème lié à la thématique que nous avons sélectionnée. Ici, on nous informe que climatiser l'air grâce au rayonnement solaire en période hivernale est un besoin constant dans les régions froides. Ensuite, nous avons accès à la réponse que peut apporter l'oriel face à ce besoin. Dans un troisième temps, nous pouvons lire les limites et contraintes de l'oriel.

On peut également avoir accès à des projets déjà existants qui utilisent la solution architecturale que nous avons sélectionnée. Dans un dernier temps, on peut également étudier les différentes cibles

environnementales auxquelles la solution architecturale est favorable ou défavorable. Par exemple, on peut savoir que l'oriel est favorable à la gestion de l'énergie et du confort hygrothermique mais défavorable pour des questions de maintenances. On peut aussi connaître les éco-modèles équivalents, complémentaires ou opposés à la solution architecturale choisie. Par exemple, l'atrium et l'espace tampon sont des éco-modèles équivalents à l'oriel, les balcons filants et la double peau sont complémentaires mais les fenêtres ouvrables opposées et les masques proches sont opposés à l'oriel. Ce mode de description « thématique » est le même quelle que soit la solution architecturale analysée.



Si l'on décide d'utiliser l'outil en passant par l'étude des cibles environnementales, on a le choix entre 15 grandes cibles telles que le bâtiment et son environnement immédiat, le choix des composants, la gestion de l'eau ou encore la gestion d'énergie. Chacune de ces cibles va nous mener à des éco-modèles qui traitent des problématiques issues des cibles sélectionnées.



La dernière approche nous permet d'accéder directement à des projets concrets. En choisissant dans une liste de solutions architecturales, on peut avoir accès à un certain nombre de projets qui utilisent cette solution. Par exemple, si nous nous intéressons aux occultations, on nous dirige vers quatre projets : le Genzyme Center de Cambridge, La bibliothèque « Des Moines » à Des Moines (Iowa, USA), l'extension de la mairie de Köniz et pour finir le muséum d'Histoire Naturelle de Toulouse.

Voici les points forts et faibles de l'outil au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse (Tableau 6) :

Points Forts + par rapport à la phase esquisse	Points Faibles - par rapport à la phase esquisse
Base de données facilement interrogeable	Manque d'illustrations plus précises
Trois approches de recherche	L'interface de l'outil peut être améliorée en mettant plus de repères pour l'utilisateur, afin qu'il sache toujours dans quelle partie de l'outil il se situe par exemple. Il existe aussi quelques bug au niveau des défilements de solutions
Exposition simple de la problématique, de la solution et de ses limites	Ne prend pas en compte des normes et des labels existants
Possibilité de comparer des solutions architecturales	
Gratuité de l'outil	

Tableau 6 : Points forts et faibles d'Eco-mod au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse

2.2.2. L'approche orientée

Une fois cette première approche déterminée, une grande majorité des outils (80% soit 82 outils à voir en Annexe 5) a pu être classée selon une approche que nous pouvons appeler « orientée ». Cette approche se caractérise par des outils orientés vers un sujet particulier, qui pourront être utilisés lors de la phase esquisse pour traiter d'une thématique précise. Ces outils ont une approche beaucoup plus précise, concrète du projet. Cela peut s'expliquer par leur capacité à interroger le projet au regard de différents critères ou d'une thématique particulière (Tableau 7).

Thématiques ou types d'analyses spécifiques abordées par les différents outils étudiés	Outils concernés
Acoustique	4,8%
Aide à la conception bioclimatique	4,8%
ACV –Impacts Environnementaux	15.7%
Analyse multicritères (à la fois sur des thématiques énergétique, de consommations d'eau ou de rayonnement solaire par exemple)	2,4%
Energétique du bâtiment	31,3%
Autre (Méthode, simulateur …)	2,4%
Données climatiques	0%
Durée de vie et coût global	2,4%
Eclairage (artificiel et naturel)	14,5%
Cartographie	1,2%
Grille d'analyse	2,4%
Guide méthodologique	2,4%
Fluides du bâtiment	1,2%
Modélisation 3D	26,5%
Puits climatiques	0%
Qualité de l'air intérieur	0%
Rénovation énergétique	1,2%
Simulation Thermique Dynamique	6%
Solaires et énergies renouvelables	27,7%
Ventilation (Nature et mécanique)	1,2%

Tableau 7 Thématiques abordées par les 80% d'outils issus de "l'approche orientée"

Ces outils ont un côté prospectif car ils analysent le projet, le bâtiment et ses caractéristiques afin de donner au concepteur la capacité de pouvoir anticiper des impacts négatifs sur l'environnement par exemple o sur l'énergétique. La plupart des outils de cette catégorie sont des logiciels ou des outils numériques en ligne, qui sont capables d'effectuer des calculs et des simulations en fonction des caractéristiques du projet.

Les simulations peuvent porter sur une grande diversité de thématiques, nécessitant plus ou moins d'informations. C'est cette quantité d'informations à fournir pour faire fonctionner la simulation qui va influencer la période d'utilisation de l'outil par le concepteur. Si les données à fournir sont trop précises, l'outil ne pourra être correctement utilisé pendant la phase esquisse, qui est une phase où l'architecte ne connaît que les bases de son projet.

Ainsi, on peut subdiviser les outils par rapport à la quantité et la qualité d'informations qu'il est nécessaire de leur fournir. Certains outils ont besoin d'informations sur l'ensemble du bâtiment : c'est notamment le cas des outils qui réalisent des simulations thermiques dynamiques[15] comme Design Builder (Design Builder, 2005) ou encore ArchiWIZARD (Archiwizard, 2003). Ces outils

[15] La simulation thermique est une simulation temporelle du comportement thermique du bâtiment, réalisée sur toute l'année, qui permet donc de caractériser aussi bien les besoins de chaud en hiver que de rafraîchissement en été. Elle fait appel à un logiciel qui utilise produit une description 3D du bâtiment, le climat local et les masques proches ainsi que des scénarios d'utilisation (occupations de usagers, ventialtion, chauffage…) (Source : Eco2initiative)

fournissent en général un rendu 3D du bâtiment, grâce, entre autres, à la technologie BIM[16]. Cependant, ces informations n'ont pas à être très précises, mais elles doivent être assez nombreuses, variées et générales. Elles peuvent donc être déjà étudiées, discutées par le concepteur lors de la phase Esquisse, lorsqu'il travaille sur l'agencement général du bâtiment par exemple et des premiers matériaux qu'il pense utiliser.

D'autres outils demandent moins d'informations mais celles-ci ont besoin d'être plus spécifiques à un matériau ou à une solution architecturale. Dans l'échantillon d'outils étudiés, 42% (soit 35 outils) des outils traitent des problématiques de l'éclairage et de l'énergie solaire et renouvelable qui sont des thématiques qui demandent des données sur l'agencement des ouvertures et des sources de lumières ou encore sur le système photovoltaïque qui pourrait être installé sur le bâtiment. Ces données peuvent paraître précises, mais peuvent être tout de même issues d'un questionnement du concepteur lors de la Phase Esquisse.

Voici les points forts et faibles des outils de l'approche orientée au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse (Tableau 8) :

Points Forts +	Points Faibles -
Des sorties graphiques claires et synthétiques	Sont majoritairement payants (54% soit 45 outils)
Prennent appui sur des bases de données liées aux produits des fabricants	Ne renvoient pas à des exemples concrets
Leur approche dynamique : Permet de tester directement les paramètres du bâtiment	Peuvent être parfois trop techniques et demander des informations trop précises par rapport à celles disponibles pendant la Phase Esquisse
Grande diversité de thématiques	

Tableau 8 Points forts et faibles des outils à l'approche orientée au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse

L'approche orientée et d'estimation : Exemple de Pléiades +COMFIE (IZUBA énergies, 1993-2014)

« PLEIADES apporte aux différents modules de calcul une interface efficace, ergonomique et sécurisée, accélérant considérablement la saisie d'un projet et 'l'étude de ses variantes. »
(Source : http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie)

[16] *Building Information Modeling*. Egalement appelé *maquette numérique*, le BIM est un fichier numérique qui concentre l'ensemble des informations relatives à un bâtiment. Plus précisément, le BIM recense chaque composant d'un bâtiment et ses caractéristiques géométriques et matérielles. (Source : Arantes, 2014)

Le logiciel Pléiade + COMFIE (IZUBA énergies, 1993-2014), développé par le Centre Energétique de l'Ecole des Mines de Paris et par IZUBA Energie permet au concepteur d'effectuer des simulations thermiques du bâtiment. Ses simulations peuvent remplir trois objectifs : Apporter une assistance pour la conception bioclimatique et l'analyse du confort thermique grâce au module de calcul COMFIE, effectuer des vérifications des exigences réglementaires grâce au module RT2012, il peut également permettre d'effectuer des dimensionnements de systèmes de chauffage ou de climatisation.

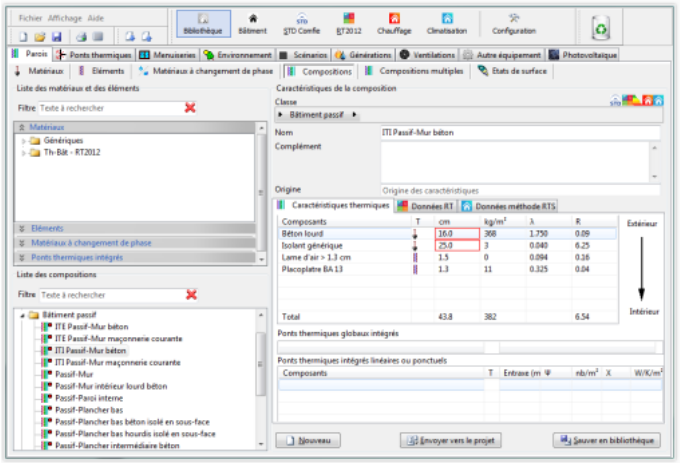


Figure 9 : Fenêtre de création d'une paroi dans PLEIADES

Pour ce faire, l'utilisateur doit décrire son bâtiment via l'utilisation de bibliothèques et de bases de données (Figure 9) qui contiennent les données fabricants sur des éléments constructifs, des équipements ou encore des scénarios de fonctionnement.

Le logiciel prend en compte également l'environnement proche du bâtiment afin de pouvoir calculer d'éventuels masques proches. Un grand nombre de données est nécessaire pour pouvoir réaliser les simulations thermiques, c'est pourquoi malgré l'aspect dynamique, complet et la saisie simplifiée de ce genre d'outil, celui-ci n'est peut-être pas complétement adapté aux besoins et informations liés à la phase esquisse.

Voici les points forts et faibles de PLEIADES au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse (Tableau 9) :

Points forts +	Points faibles -
Approche dynamique et environnement « User Friendly »	Nécessite un grand nombre d'informations à fournir ce qui peut poser problème en Phase Esquisse
Sorties graphique simple et synthétique	Logiciel Payant
Prend en compte la norme RT2012	

Tableau 9 Points forts et faibles de Pléiades + Comfie au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse

2.2.3. L'approche par référentiel et certification

La dernière approche sous laquelle nous avons pu classer les outils d'aide à l'éco-conception de notre échantillon se rapproche de la première par les interfaces utilisées par ces outils. Cette troisième approche se base sur des référentiels et des certifications. Nous avons pu identifier 5 outils (Annexe 6) pouvant être classés sous cette approche. Ce sont des outils qui peuvent proposer des listes d'enjeux environnementaux, via des checklists par exemple, auxquelles devra répondre le concepteur afin de vérifier si son bâtiment respecte les critères établis par le référentiel et nécessaires pour être en accord avec celui-ci. Ces checklist peuvent avoir différentes modalités et

prendre différentes formes. Charline Weissenstein dans sa thèse *Eco-profil : un outil d'assistance à l'éco-conception architecturale* (Weissenstein, 2012) a identifié cinq types de checklist :

- Les listes simples qui délivrent une énumération simple d'enjeux
- Les listes descriptives qui énumèrent des enjeux avec des compléments de définitions
- Les listes avec seuil qui ont des seuils de valeur
- Les listes avec échelles et pondérations des enjeux par rapport aux autres
- Les listes questionnaires qui enrichissent les enjeux avec des questions à l'attention du concepteur

Les outils que nous avons rencontrés peuvent difficilement se classe parmi ces 5 types de checklist. Ils se caractérisent plus par des listes d'objectifs avec distribution de points, ou de listes avec en parallèle un suivi ou une aide pour remplir des critères tels que pour le référentiel BREEAM (BRE Global, 2010). Ainsi le concepteur peut savoir si son bâtiment respecte les critères grâce à un système de points et connaître à quel niveau se situe son bâtiment. Ces outils peuvent également prendre la forme de démarches accompagnatrices comme pour l'outil Bâtiments Durables Méditerranéens (BDM, 2014) . Des outils tels que la démarche HQE[17] qui se compose de plusieurs certifications selon les thématiques étudiées et les bâtiments concernés ou encore le référentiel LEED™ (US Green Building Council, 2014) se basent également sur ce type de liste. Ces certifications sont conçues pour évaluer un projet en fin de conception, et il paraît compliqué d'utiliser ce type d'outil lors de la phase esquisse. Cette approche par référentiel peut cependant être testée juste après la Phase Esquisse pour donner une première estimation des premiers choix du concepteur, lui permettant de situer ses premières grandes lignes directrices. Etant au tout début du projet, il peut encore ajuster les bases de son projet si certains de ses choix ne sont pas en accord avec certaines exigences environnementales. Néanmoins, ce type d'outils semble être le moins adapté pour les besoins du concepteur pendant la phase esquisse.

Voici les points forts et faibles des outils de certification au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse (Tableau 10) :

Points Forts +	Points Faibles -
Simplicité d'utilisation	Grille de critères « inamovibles » à appliquer à un projet. Manque de souplesse et d'adaptabilité
« Labellise » un projet, lui donne plus de poids d'un point de vue environnemental	La majorité des outils sont payants.
Peut donner des idées sur les exigences futures auxquelles peut être confronté le projet	Plus propice d'utiliser ce type d'outil dans des phases plus avancées du projet

Tableau 10 : Points forts et faibles des outils de certifications par rapport aux besoins de l'utilisateurs pendant la phase esquisse du projet

[17] www. Assohqe.org

« La démarche HQE vise à améliorer la qualité environnementale des bâtiments neufs et existants, c'est-à-dire à offrir des ouvrages sains et confortables dont les impacts sur l'environnement, évalués sur l'ensemble du cycle de vie, sont les plus maitrisés possibles. C'est une démarche d'optimisation multicritère qui s'appuie sur une donnée fondamentale : un bâtiment doit avant tout répondre à un usage et assurer un cadre de vie adéquat à ses utilisateurs »

(Source : Association HQE http://assohqe.org/hqe/IMG/pdf/fiche_Demarche_HQE.pdf)

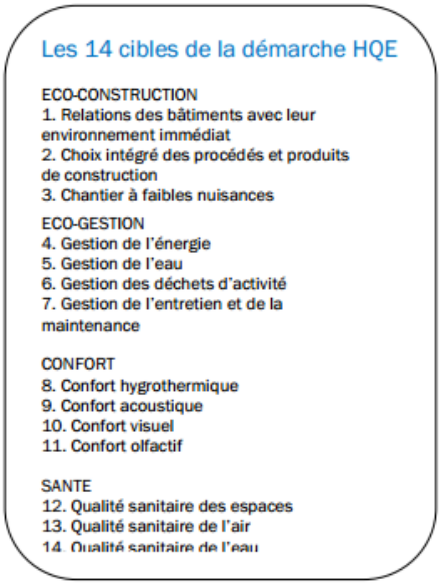


Figure 10 : Les cibles de la démarche HQE

La démarche HQE Performance développée par l'Association HQE et ses différents partenaires a pour objectif d'aider et d'inciter le maître d'ouvrage à concevoir des bâtiments dont les impacts environnementaux sont les plus réduits possibles. La démarche HQE comprend :

Un système de management environnemental qui permet au maître d'ouvrage de fixer ses objectifs

14 cibles qui permettent de structurer le projet et de guider le concepteur vers les meilleurs choix respectueux de l'environnement structurent la démarche..

L'inconvénient de l'étude de ce type d'outil est la difficulté à trouver des informations plus précises concernant la démarche et leur méthode d'évaluation. Pour connaitre ce genre d'information il faut faire les démarches pour utiliser leur certification, qui est payante. Ainsi, cette partie est assez peu fournie par rapport aux précédentes, principalement à cause du manque d'informations gratuitement disponibles pour venir l'étoffer. Voici les points forts et faibles de la démarche HQE au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse (Tableau 11) :

Points Forts +	Points Faibles -
Des cibles qui touchent des thématiques diversifiées	Difficilement adaptable au vue des informations connues lors de la phase esquisse
Accompagnement durant le projet	Pas de garantie de performance à l'exception de la consommation d'énergie et d'eau (présence de moyens de calculs par exemple)
Donne une valeur ajoutée au projet	
Fonctionnement par indicateurs et contributeurs	

Tableau 11 Points forts et faibles de la démarche HQE au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse

3. Un foisonnement d'outils mais un manque d'outils synthétiques et ergonomiques

Les outils ayant une approche plus généraliste ont tendance à donner une vision globale au concepteur sur les passages obligés par lesquels il doit passer et sur les thématiques qu'il doit traiter afin que son projet respecte les critères fixés, qu'ils soient environnementaux, énergétiques ou plus globaux. Ces outils peuvent ainsi être des bons soutiens au concepteur lors de la phase esquisse, fonctionnant comme un fil rouge à suivre afin de ne pas s'éloigner des thématiques sensibles. Ils ne sont cependant pas en majorité dans le corpus étudié. Cela peut s'expliquer par la quantité importante d'informations nécessaires pour que l'outil soit pertinent. En général une description assez précise du bâtiment et donc une connaissance assez précise et fine de ces composants, ce qui n'est pas le cas en phase esquisse. Cependant, certains outils, comme ELODIE, ont été développés sous différents modes d'utilisation, ce qui permet une utilisation dès la phase esquisse.

Les outils de l'approche orientée qui sont majoritaires, peuvent être utilisés comme aide locale, sur des questions et thématiques bien précises. Ces outils sont en général moins faciles d'accès et certains requièrent un bon niveau d'expertise pour pouvoir les utiliser. Cependant la grande diversité de thématique qui peut être traitées par ce type d'outils leur confère une grande adaptabilité et donc utilité pour le concepteur dans la phase esquisse.

Les outils de certification et labellisation sont quant à eux un peu plus délicats à utiliser lors de la phase esquisse à cause du nombre d'informations qu'ils demandent. En effet ceux-ci sont conçus pour évaluer un projet afin de le labelliser. Pour ce faire, celui-ci doit être soit déjà fini ou bien avancé dans sa conception, ce qui n'est pas le cas en phase esquisse. Cependant, l'étude des critères d'une certification peut être intéressante pour le concepteur afin de visualiser les objectifs finaux que peut avoir son projet et ainsi le débuter dans les meilleures conditions possible pour pouvoir atteindre ces mêmes objectifs.

Le panel d'outils étudiés illustre bien le fait que les outils d'aide à la conception sont déjà très nombreux, mais peu d'entre eux se concentrent sur les performances globales et systémiques du bâtiment dès la phase esquisse en utilisant une approche accessible. Les savoirs sont nombreux mais dispersés, ils sont rarement formalisés dans le même outil. La phase de conception mobilise de nombreuses connaissances, très hétérogènes. La communication et la restitution de ces connaissances constituent un enjeu dans l'assimilation de ces informations par le concepteur.
Ainsi, il existe un réel enjeu dans le développement d'un outil qui aurait une approche généraliste dès la phase esquisse, tout en ayant un fonctionnement simple et accessible par des utilisateurs non experts.
En réponse à ses enjeux et besoins, l'outil SOCRATE doit pouvoir être utilisé en phase esquisse. C'est-à-dire qu'il ne doit pas demander une description détaillée du bâtiment et être facilement utilisable par des non-experts ou des concepteurs généralistes.

Il doit également être un outil centralisateur de connaissances, capable de restituer simplement des informations, qu'elles soient techniques ou plus conceptuelles.

Ainsi, SOCRATE s'il se veut pertinent doit tendre vers un outil d'aide à la conception qui soit « *à la fois un outil de diffusion des informations, un outil de sensibilisation et de valorisation des pratiques éco-*

socio-responsables, mais aussi un outil de capitalisation et de conservation des connaissances qui permette leur restitution et leur communication sous une forme synthétique. Cet outil se veut aussi un guide méthodologique faisant un état des lieux des règles de l'art pour une conception durable des projets d'architecture. À ce titre, il revêt une visée pédagogique. » (Arantes, 2014)

II. SOCRATE : son fonctionnement et son développement

1. Présentation de SOCRATE, outil d'aide à l'éco-conception architecturale

SOCRATE est un outil de capitalisation et de partage de savoirs experts. Il a pour objectif d'aider le concepteur dans ses choix conceptuels : il l'informe sur l'impact potentiel de ses choix sur les différentes performances du bâtiment. Ainsi SOCRATE met en relation une liste de choix conceptuels et différents indicateurs de performance et d'impacts.

Il existe deux versions de l'outil SOCRATE avec deux interfaces différentes. La première version est une version matricielle constituée dans Excel et la seconde est une version développée au cours d'un autre stage parallèle au mien pour une interface plus conviviale. Durant ma participation à l'étoffement de la base de données, j'ai essentiellement travaillé sur la première version de l'outil.

Deux types d'utilisateurs peuvent utiliser la matrice via deux modules : le mode « Capitalisation » et le mode « Consultation » qui sont regroupés sur la même matrice. Ils se distinguent par l'utilisation de boutons différents et des recours à des macros différentes.

- le module "Capitalisation" : l'outil SOCRATE dispose d'une base de données pour les indicateurs d'impacts environnementaux globaux. Mais cette base de données est incomplète, notamment en ce qui concerne les autres indicateurs de performances. Destiné à des experts (architectes, ingénieurs, etc.), le module "Capitalisation" offre une interface permettant de saisir une information relative à un choix conceptuel. Cette information comprend a minima une étiquette et une justification (méthode utilisée et sources potentielles). Le principal objectif de mon stage a été de participer au remplissage de la base de données du module « Capitalisation ».

- le module "Consultation" : destiné à des utilisateurs concepteurs (étudiant, architecte praticien, enseignant, etc.), le module "Consultation" permet d'afficher les informations saisies dans le mode "Capitalisation". Il donne ainsi des informations relatives aux choix de conception sous la forme d'étiquettes. »

SOCRATE a pour objectif d'intégrer des savoirs experts sur les impacts des choix architecturaux et constructifs au regard de multiples performances du bâtiment classées en dix cibles :

-Performance énergétique pendant la vie en œuvre
-Impacts environnementaux
-Santé
-Confort
-Impacts urbains
-Durabilité
-Sécurité
-Economie
-Qualité d'usages

Chacune de ces cibles se compose de plusieurs indicateurs de performance plus précis. Ces indicateurs informent sur la contribution d'une solution conceptuelle à la ou les performances de l'ouvrage. (Arantes, 2014) Les indicateurs sont au nombre de 40 environ. La liste de tous les indicateurs de performance se situe en Annexe 7**.** Pour mon stage, je n'ai travaillé que sur la cible « Impacts Environnementaux » et sur l'indicateur Bbio[18] qui compose la cible « Performance énergétique pendant la vie en œuvre ».

1.1 La première version de SOCRATE : Son fonctionnement, ses atouts et ses limites

L'appréciation experte restituée dans l'outil se veut visuelle et simple, en même temps que justifiée et argumentée. Une appréciation experte peut être formalisée à partir de plusieurs sources d'informations, dont le savoir expert (définition donnée dans la partie suivante). La première version de SOCRATE se présentait sous la forme d'une matrice Excel agrémentée de nombreuses macros (Figure 11).

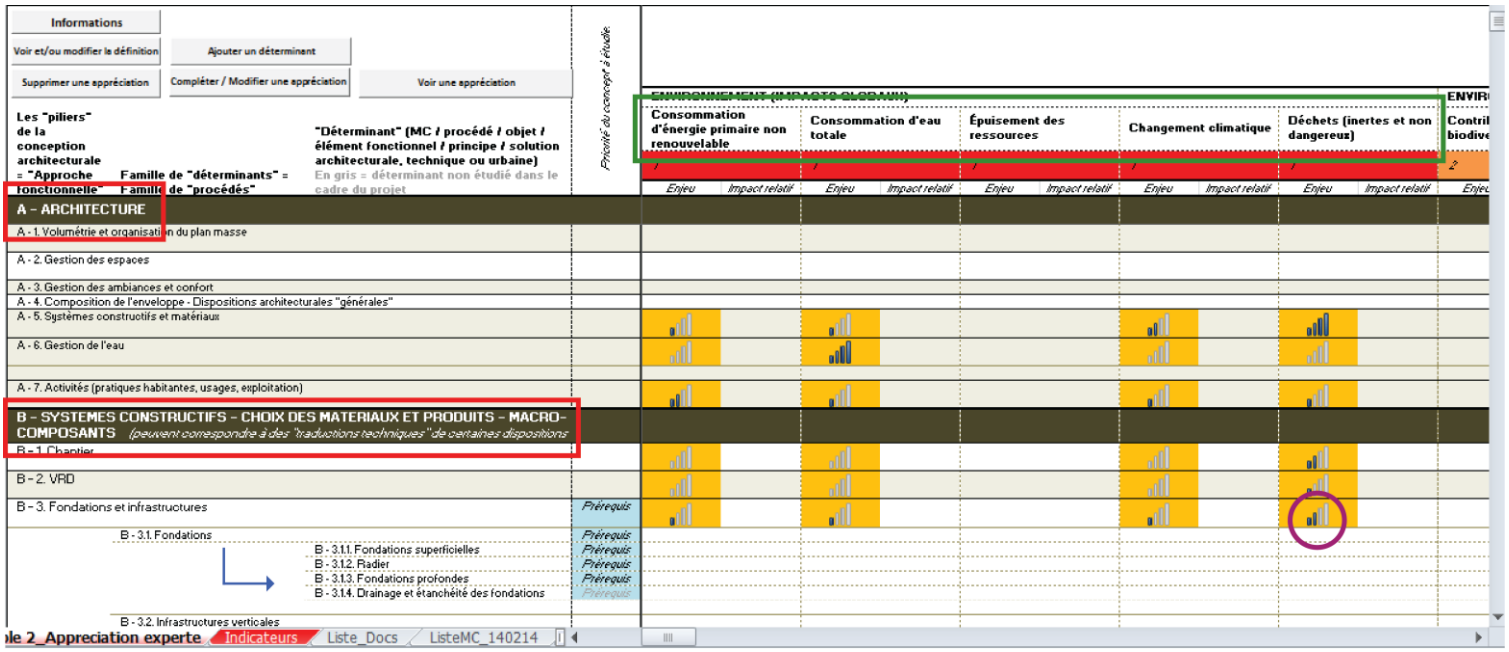


Figure 11 : Capture d'écran de la matrice Excel, interface principale de la première version de SOCRATE

[18] L'indicateur Bbio est un indicateur qui traite de la problématique des besoins bioclimatiques du bâtiment. Il représente l'efficacité énergétique du bâtiment en prenant en compte les besoins en chauffage, refroidissement et éclairage.

1.1.1. Comment se structure la matrice et comment l'appréciation experte est-elle formulée ?

Cette matrice est à double entrées. Les lignes (encadrés rouges sur la Figure 11) correspondent aux piliers de la conception architecturale déclinés en solutions architecturales (ou déterminants). Les colonnes (encadrés verts sur la Figure 11) regroupent des cibles, déclinées en indicateurs de performance.

En colonne, ont été étudiés pendant mon stage, les indicateurs de performance environnementale qui figurent parmi la quarantaine d'indicateurs au total pris en compte dans SOCRATE (encadrés en vert dans la Figure 11) :

- Consommation d'énergie primaire non renouvelable
- Consommation d'eau totale
- Changement Climatique (Rejet de gaz à effet de serre)
- Déchets (inertes et non dangereux)

En ligne (cadres rouges dans la Figure 11), nous trouvions les piliers de la conception architecturale qui représentent des thématiques qui vont être abordés par l'architecte pendant la conception et qui vont influencer la performance et la qualité du bâtiment. Ces piliers sont :

- Matériaux et Produit de construction : Ce pilier classe tous les composants d'un bâtiment selon de grands groupes synthétiques. Par exemple, « Fondations et Infrastructure » est un macro-lot, qui est lui-même composé de lots tels que « Fondations », « Infrastructure horizontale » et Infrastructure verticale ». Ces différents lots ou composants constituent la carte d'identité du bâtiment.

- Architecture : Des questions telles que la volumétrie (hauteur, profondeur etc.) et la gestion des espaces (emprise au sol, agencement des espaces de jour/espaces de nuit etc.), des ambiances et du confort sont concernées par ce pilier.

- Chantier : Lors du processus de conception, l'architecte va réguler les impacts du chantier du bâtiment en faisant des choix sur les différentes consommations d'énergies, en prenant, par exemple, en compte l'utilisation d'engins de chantier, de cantonnement. (Lebert *et al.*, 2013)

- Gestion de l'eau : Le concepteur peut influer sur les consommations et rejets qui sont liés au bâti tels que l'entretien des locaux, l'arrosage des végétaux associés au bâtiment, les équipements de chauffage. (Lebert *et al.*, 2013)

- Activités et Environnement proche et lointain – Mobilité : Ce pilier traite de la façon dont le bâtiment s'intègre dans son environnement, que ce soit à l'échelle du quartier ou du territoire de façon plus globale.

Chaque pilier se décompose en déterminants, à l'exception du pilier « Matériaux et Produits de construction » qui se compose de « macro-lots ». Ce pilier a été celui qui a été le plus travaillé au cours de la capitalisation, du fait de la relative facilité à trouver des données sur les lots que le composent grâce à l'étude HQE Performance (Lébert, 2013). C'est pourquoi il sera souvent cité en exemple au cours du mémoire.

A l'intersection d'une ligne et d'une colonne (cercle rose sur la Figure 11), on trouve l'appréciation experte, donnée sous la forme d'une « jauge ».

En termes de visualisation de l'information dans la matrice, les petites jauges graduées, à l'intersection entre un déterminant et un indicateur de performance, représentent ici, la grandeur de l'impact de la solution architecturale sur l'indicateur de performance étudié. L'impact est généralement évalué de façon relative, via une échelle de valeurs allant de 1 à 4, retranscrite via ces petites jauges.
Ainsi, dans la capture d'écran donnée en Figure 11 on peut constater par exemple que le « macro-lot » « Fondation et Infrastructure » a un impact moyen sur l'indicateur « Déchets Inertes et non Dangereux ». L'utilisateur peut gagner en précision en cliquant sur les « macro-lots » et via un menu déroulant, accéder à des solutions architecturales de plus en plus précises (flèche bleue sur la Figure 11), à condition que l'information soit disponible.

1.1.2. Une interface élémentaire mais dont l'utilisation diffère déjà selon les types d'utilisateurs

Deux types d'utilisateurs peuvent utiliser la matrice via deux modules différents: le mode « Capitalisation » et le mode « Consultation ».

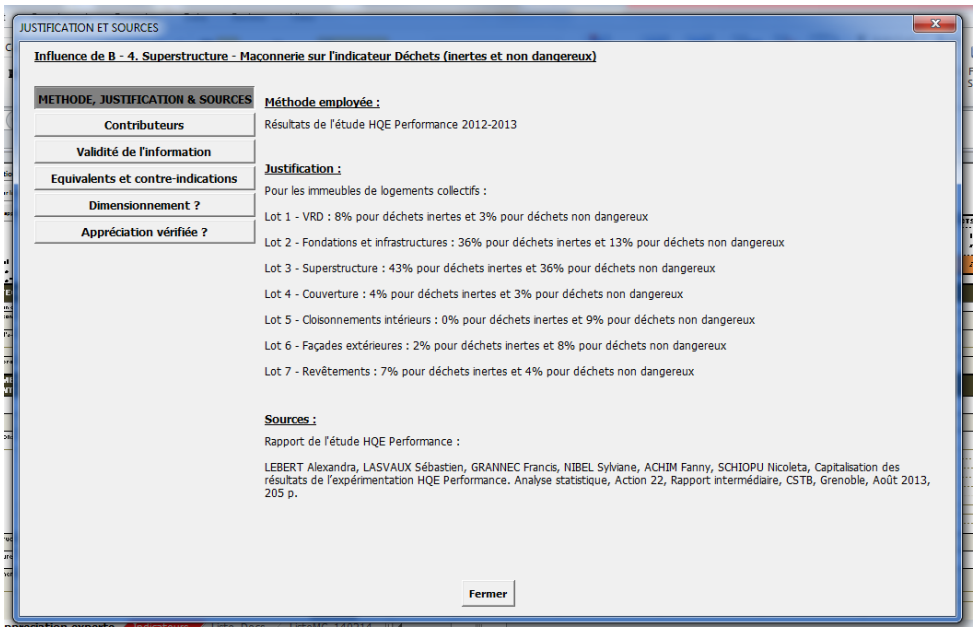


Figure 12 : Capture d'écran de la fenêtre pop-up qui donne une appréciation experte plus précise

Pour le mode « Consultation », l'utilisateur peut lire l'appréciation experte à l'intersection d'un déterminant et d'un indicateur (Cercle violet sur la Figure 11), formulée de manière synthétique par une petite jauge comme expliqué précédemment. L'utilisateur peut avoir accès à des informations plus précises sur l'appréciation experte, via une fenêtre

pop-up, en cliquant sur l'une des petites jauges. (Figure 12). En tant qu'utilisateur, pour trouver des informations expertes, il fallait naviguer dans ce tableau à deux entrées. En utilisant des menus déroulants, il était possible d'accéder en quelques clics aux différents déterminants des piliers et prendre connaissance de leur impact sur les indicateurs de performances environnementaux.

En termes de capitalisation de l'information, en tant qu' « expert » ou spécialiste voulant ajouter des informations dans la matrice, le procédé était relativement simple.

Pour compléter et ajouter des données ou un savoir expert et ainsi compléter les petites jauges d'impacts, il fallait accéder à un formulaire, issu d'une macro, dont l'accès se faisait via un simple bouton.

Dans un premier temps, il fallait donner une valeur entière sur une échelle de 1 à 4 (Figure 13) sur l'importance que l'on donnait à l'impact de la solution architecturale.

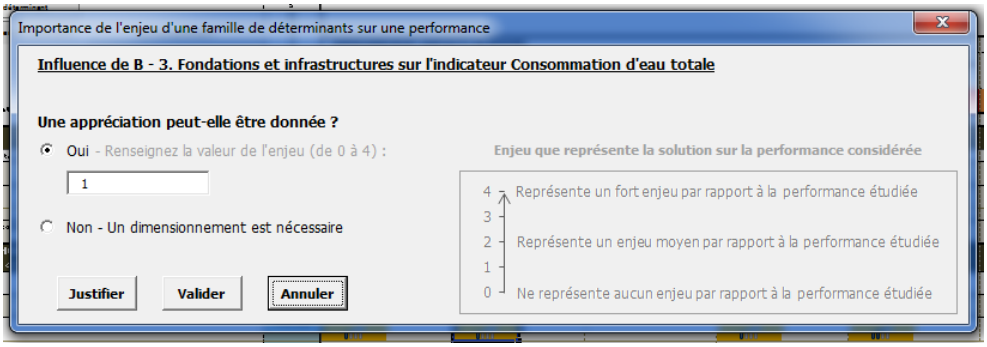


Figure 13 : Capture d'écran de la boite de dialogue où la valeur de l'impact doit être renseignée sur une échelle de 1 à 4

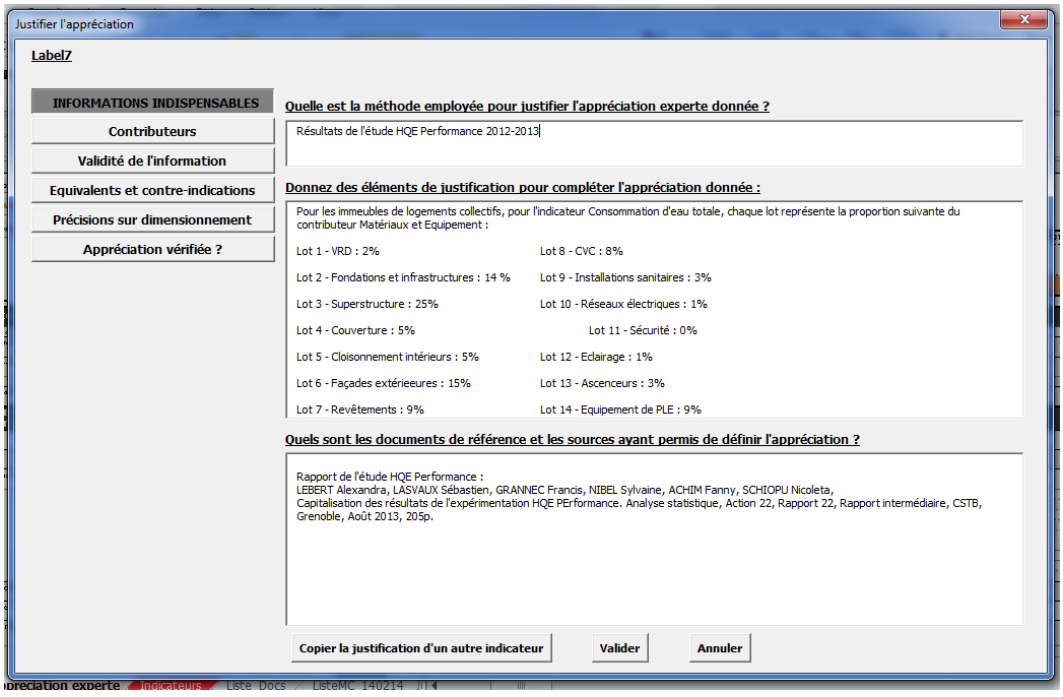


Figure 14 : Fenêtre de justification à remplir en mode Capitalisation

Il était ensuite nécessaire d'entrer une justification (Figure 14) afin d'étayer la simple valeur remplie précédemment. Ainsi, la phase de justification permet de développer l'appréciation experte, en la remettant dans son contexte ou en indiquant des données chiffrées par exemple. Cette phase permettait également de

donner les sources des informations et la méthode utilisées pour les obtenir. Ainsi quand l'utilisateur recherchait une information dans le tableau, il avait à sa disposition, en plus des petites jauges, une explication plus complète avec entre autre la source dont été tirée l'information.

1.1.3. Un SOCRATE 1.0 qui intègre le principe même d'un outil de capitalisation mais qui pèche au niveau de l'interface et de l'ergonomie

L'un des atouts de cette première version de SOCRATE est qu'elle a formalisé la structure même de l'outil, elle a permis de poser l'architecture de l'outil.

Partant du principe que SOCRATE a une portée pédagogique, cette première version a été testée auprès de 17 étudiants en master d'architecture à l'ENSAG le 27 mars 2014 (Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Grenoble). Après une matinée à expliquer le contexte dans lequel s'insérait SOCRATE, l'après-midi a été consacrée au test de l'outil à travers un petit exercice où les étudiants devaient trouver des informations précises dans l'outil. Après cet exercice et un temps d'échange, un questionnaire a été distribué afin d'avoir un retour un peu plus concret sur le ressenti des étudiants après l'utilisation de ce SOCRATE 1.0. Voici les enseignements que nous avons pu en tirer :

Dans l'ensemble, l'idée d'un tel outil a été bien reçue par les étudiants, ceux-ci ont tout de suite vu son utilité et son intérêt. Ainsi 70% ont trouvé que SOCRATE avait une valeur ajoutée (Figure 15) et qu'ils pourraient l'utiliser quotidiennement si il était à leur disposition (76%) (Figure 16).

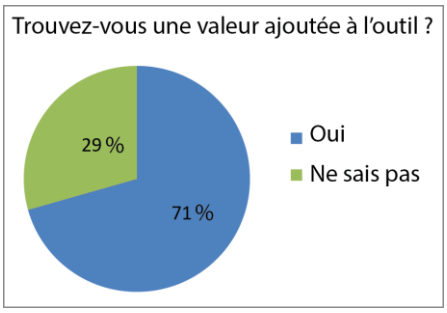


Figure 15 : Pourcentage d'étudiants qui trouvent que SOCRATE a une valeur ajoutée

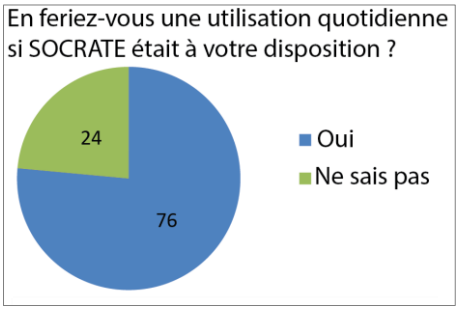


Figure 16 : Pourcentage d'étudiants qui utiliseraient quotidiennement SOCRATE

Concernant les autres points positifs à retenir à l'issue de ces questionnaires, il est intéressant de noter que 71% des étudiants sont satisfaits de la qualité des informations proposées. Concernant la facilité d'utilisation, 71% sont satisfaits, voire très satisfaits (12%), tandis que 18% ne sont plutôt pas satisfaits. 82% sont satisfaits de leur utilisation de SOCRATE 1.0. Cependant, il y a certains points qui ont posé un peu plus de problèmes.
En effet, si l'on s'attarde sur la clarté des informations, il se trouve que la majorité des interrogés n'est plutôt pas satisfaite (Figure 17). La visualisation de l'information n'est également pas le point fort de SOCRATE (Figure 17).

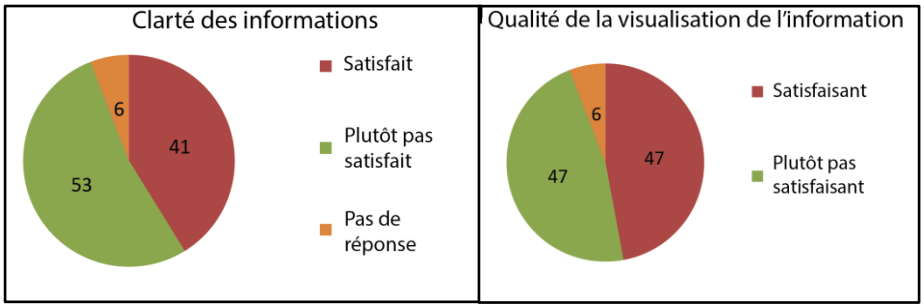


Figure 17: Pourcentage d'étudiants qui trouve que les informations délivrées par SOCRATE sont claires et que la visualisation de l'information est satisfaisant

Lorsqu'il a été demandé de donner les points faibles de SOCRATE, il s'est avéré que l'interface de l'outil ne facilitait pas sa compréhension et la bonne transmission des informations qu'il contenait. Ainsi, il a été proposé par les étudiants des récapitulatifs plus synthétiques et illustrés des données.

Néanmoins, la vision synthétique et globale que SOCRATE leur a apporté est à retenir comme étant un point fort de l'outil, tout comme le fait qu'il soit considéré comme une bonne source d'informations.

1.2. La deuxième version de SOCRATE : SOCRATE 2.0

A l'issue du test auprès des étudiants en architecture de l'ENSAG, de notre propre critique de cette version et du lancement du deuxième stage (de juin à août 2014) centré sur le développement informatique plus poussé de l'outil, une deuxième version de SOCRATE a vu le jour. Le deuxième stage lancé quelques mois après le mien a permis de donner à SOCRATE une nouvelle dimension. Nous sommes ainsi passés d'un outil constitué d'un fichier Excel composé d'une matrice et de nombreuses macros à un petit logiciel, plus ergonomique et qui utilise une véritable base de données.
Si le principe de SOCRATE reste inchangé entre les deux versions, d'importants changements ont cependant été opérés. Cette version de SOCRATE est toujours en développement, ainsi certains visuels sont toujours en train d'être travaillés.

1.2.1. Une nouvelle organisation mais qui demande une restructuration des matrices Excel

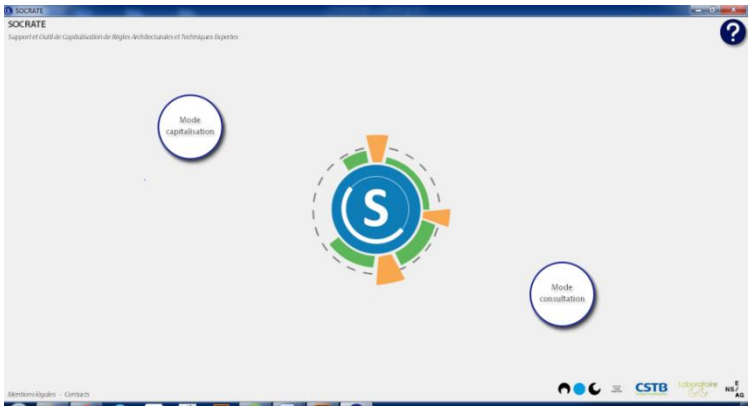


Figure 18 : Ecran d'accueil de SOCRATE 2.0

Afin que cette deuxième version puisse correctement fonctionner, il a fallu abandonner le mode de fonctionnement sur Excel et constituer une réelle base de données. Le transfert des matrices Excel vers la base de données a été assez

chronophage et a demandé une réorganisation complète des données. Une fois cette tâche accomplie, la base de données a pu correctement être connectée à SOCRATE qui peut désormais l'interroger automatiquement, chose que la première version ne permettait pas de faire, l'utilisateur devant faire le processus de recherche lui-même.
En parallèle au développement du cœur de SOCRATE, son ergonomie a totalement été retravaillée. Ainsi, l'interface de l'outil (Figure 18) tend plus vers l'apparence d'un petit logiciel qui se structure selon deux entrées distinctes : le mode capitalisation (à gauche de la Figure 18 et le mode consultation (à droite de la Figure 18)

Le mode capitalisation, hormis quelques changements au niveau de l'interface diffère peu par rapport à la première version de SOCRATE. Pour réguler les personnes qui peuvent accéder à ce mode et entrer de nouvelles informations, celui-ci est protégé par un mot de passe et un identifiant. Ainsi il est plus facile d'identifier les personnes qui participent à la capitalisation de l'outil et aussi de réguler les ajouts et modifications abusifs.

Le mode consultation quant à lui a subi des changements beaucoup plus importants.



Lorsque l'on clique sur ce mode, trois options s'offrent à l'utilisateur. Celui-ci a le choix d'obtenir des données sur une construction neuve, une réhabilitation ou pour une démolition de bâtiment. Actuellement, seule la partie sur les constructions neuves a été fournie en informations.



Une fois ce premier choix opéré, l'utilisateur va pouvoir choisir sur quel type de bâtiment il souhaite avoir des renseignements. Il a ainsi le choix entre des bâtiments collectifs, individuels ou de bureaux. Il a aussi la possibilité d'accéder à des données qui prennent en compte les trois types de bâtiments. A ce jour, les trois bases de données ont été constituées, mais seule celle sur les bâtiments collectifs a pu être connectée à SOCRATE.

Une fois ces deux premiers choix entrepris, l'utilisateur va pouvoir accéder à un écran qui va lui permettre de commencer à affiner sa recherche (Figure 19). Ainsi à l'inverse de SOCRATE 1.0 où



Figure 19 : Capture d'écran du commencement de la partie recherche dans SOCRATE

l'utilisateur voyait toutes les informations d'un coup, que ce soit au niveau des indicateurs de performance ou des solutions architecturales, cette version lui suggère l'architecture de l'outil sans la

lui imposer. Ainsi, l'utilisateur structure progressivement sa façon de penser à mesure que SOCRATE dévoile les différentes étapes de la recherche. A ce moment, trois choix s'offrent à l'utilisateur.

Celui-ci peut orienter sa recherche vers les performances du bâtiment (flèche rouge dans la Figure 19) et s'intéresser aux différents indicateurs qui les mesurent. A l'heure actuelle, seuls les indicateurs de performance environnementaux que nous avons présentés précédemment, sont renseignés. Pour rappel, ils sont :

- La consommation d'énergie primaire non renouvelable
- La consommation d'eau totale
- L'indicateur de changement climatique
- La production de déchets (inertes et non dangereux)

L'utilisateur peut également choisir de commencer sa recherche en s'intéressant aux composants du bâtiment (flèche bleue dans la Figure 19). Il s'oriente ainsi vers les piliers de la conception architecturale et les déterminants que les composent. Pour rappel, ces piliers sont :

- Les matériaux et produits de construction
- L'architecture
- Le chantier
- La gestion de l'eau
- Les activités
- L'environnement proche et lointain

Pour finir, l'utilisateur peut également faire une recherche libre par mot clés, afin de rechercher directement des informations sur un secteur en particulier (flèche rouge sur la Figure 19).

Les trois types de recherche permettent à l'utilisateur d'accéder à différentes représentations de l'information qui vont être présentées ci-dessous.

1.2.1.1. Recherche orientée via la performance du bâtiment

Une fois que l'utilisateur a choisi de s'intéresser aux performances du bâtiment, celui-ci doit choisir un indicateur de performance à étudier. Pour l'exemple, prenons l'indicateur de performance environnemental « Déchets Inertes et Non Dangereux » dans la cible « impacts environnementaux globaux » Une fois cet indicateur choisi, l'utilisateur rencontre une page explicative, qui lui permet d'avoir une définition plus précise et de le remettre dans le contexte français du bâtiment. Une fois qu'il a pris connaissance de ces précisions, l'utilisateur est face à la sortie graphique (Figure 21) majeure de SOCRATE, qui lui permet de visualiser en une seule fois l'impact et l'importance de chaque pilier de la conception architecturale sur l'indicateur qu'il aura choisi, ici « Déchets Inertes et Non Dangereux ».

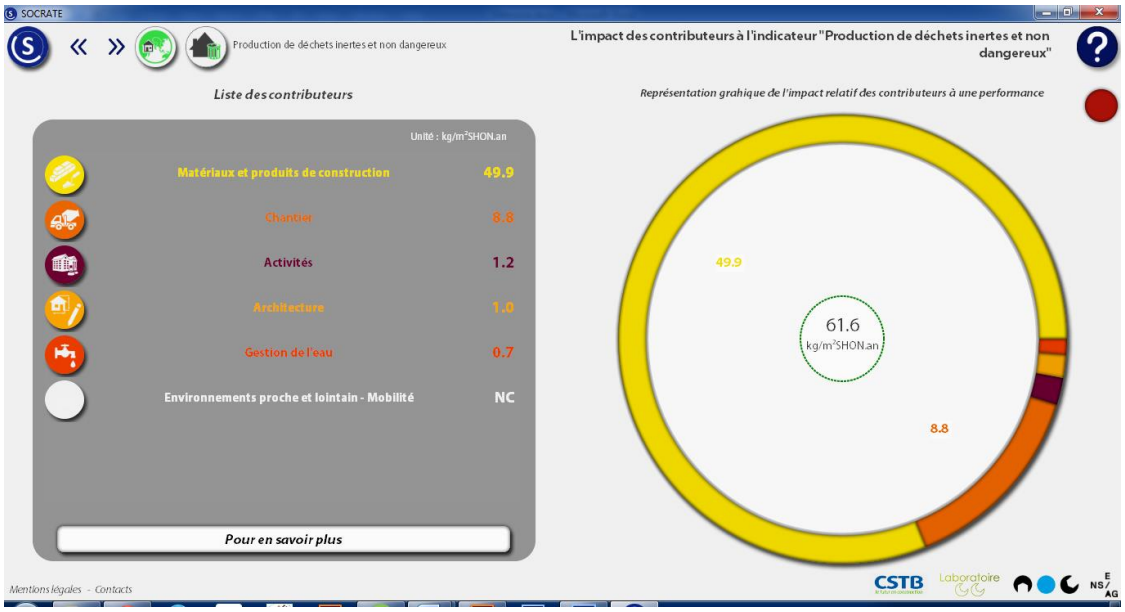


Figure 20 : Capture d'écran de la sortie graphique principale de SOCRATE

Sur cette capture d'écran (Figure 20), l'utilisateur peut voir sur sa gauche la liste des contributeurs ou des piliers et leur part dans la production de déchets inertes et non dangereux. Sur la droite de l'écran, une sortie graphique illustre cette part. La valeur centrale représente la part totale de l'indicateur concerné. Si l'utilisateur veut en savoir plus sur un pilier en particulier, il lui suffit de cliquer sur l'une des couleurs qui composent le cercle. Il verra apparaître la part des différents déterminants ou lots qui composent le pilier. Si l'utilisateur choisit de s'intéresser au pilier Matériaux et produit de construction, il peut voir la part du gros et du second œuvre ainsi que des équipements (Figure 21). Ainsi il pourrait prendre en compte que c'est le gros-œuvre qui produit le plus de déchets inertes et non dangereux.

L'utilisateur peut aller encore plus loin, en cliquant sur l'un des macro-lots pour connaitre la part de ses composants dans l'impact des « Matériaux et Produit de Construction » (Figure 23) dans la production de déchets inertes et non dangereux.

De ce fait, il rencontre un nouveau type d'affichage qui se base sur l'utilisation de petites jauges,

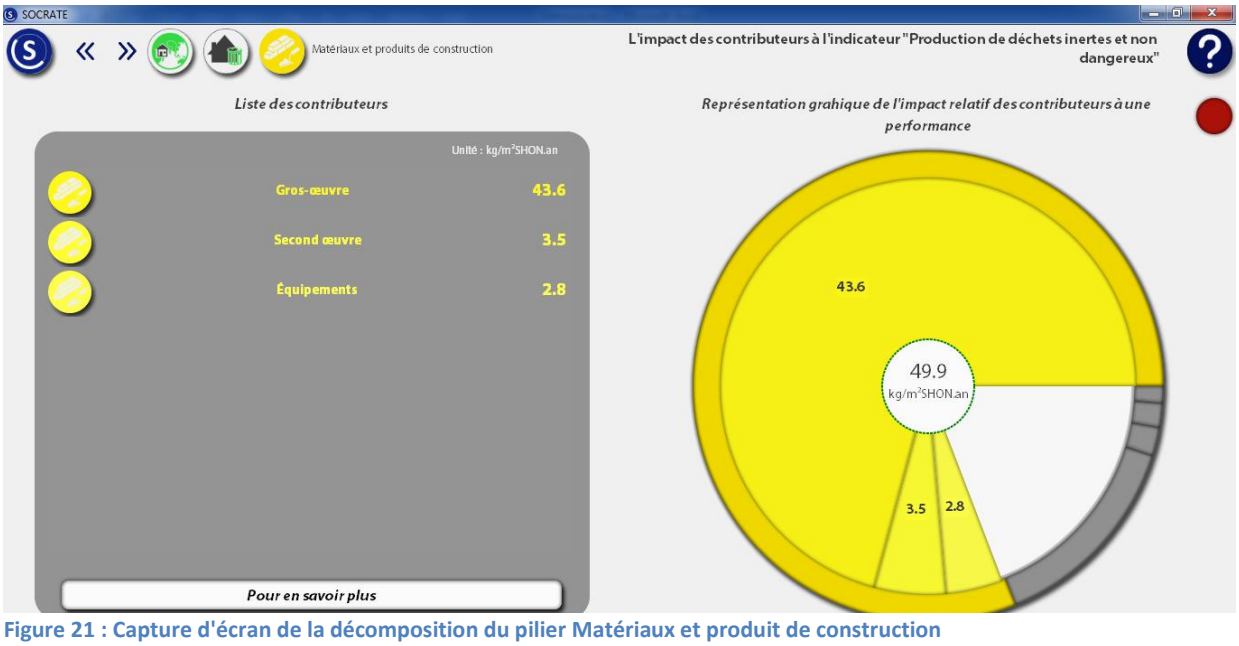


Figure 21 : Capture d'écran de la décomposition du pilier Matériaux et produit de construction

comme dans la première version de SOCRATE. Cette transformation est due au fait que lorsque l'on passe au niveau des lots, l'impact des déterminants du lot se trouve de plus en plus « dilué ». Aussi, la visualisation en mode graphique camembert ne serait plus pertinente car illisible 'on aurait de toute petite part). De ce fait, le niveau d'importance est représenté sous la forme de jauge en suivant la règle suivante : < 5 % : 0 barrette

- De 5 à 25 %, 1 barrette
- De 25 à 50 % : 2 barrettes
- De 50 à 75 % : 3 barrettes
- > 75 % : 4 barrettes

Remarque : le % se fait toujours par rapport au total sur le bâtiment complet (par exemple, par rapport au 61,6 dans le cercle central, Figure 20).

Le graphique permet de représenter des données qualitatives, issues d'études qui s'appuient sur des chiffres, tandis que les barrettes représentent des données plus relatives, issues également d'études mais dont la représentation sous forme de graphique ne serait pas pertinentes, à cause de leur faible valeur. Ces petites jauges donnent une estimation de la grandeur de l'enjeu des lots qui composent le macro-lot « Gros-Œuvre » (dans l'exemple).

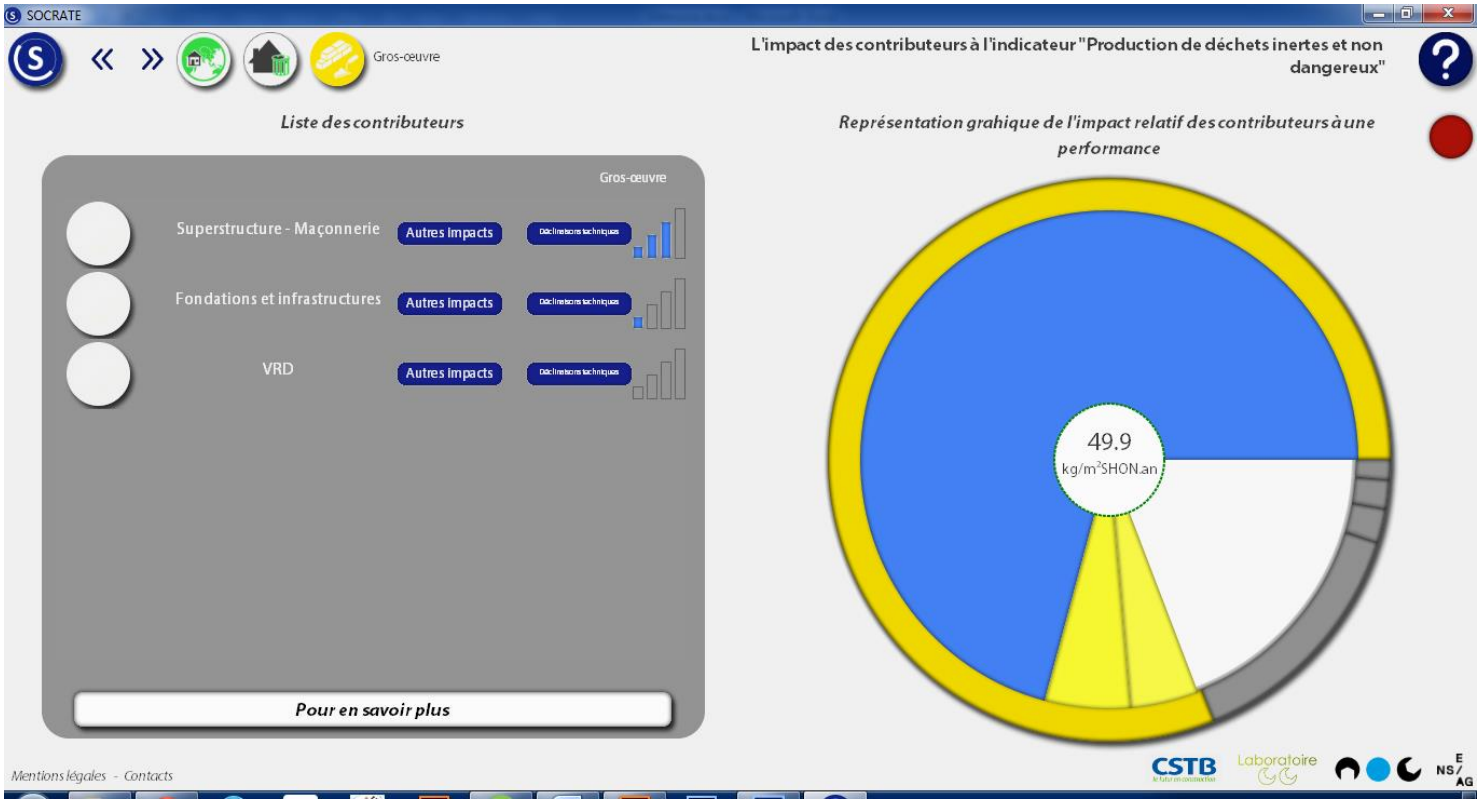


Figure 22 : Décomposition du macro-lot "Gros œuvre"

Ainsi, l'utilisateur peut comprendre que s'il souhaite réduire sa production de déchets inertes et non dangereux, il doit se focaliser en priorité sur sa superstructure et sa maçonnerie. L'utilisateur a encore la possibilité de cliquer sur le lot « Superstructure et Maçonnerie » pour voir les déclinaisons techniques et affiner sa recherche afin de savoir quelles solutions architecturales dans le lot et la plus responsable dans sa production de déchets.

En choisissant de s'intéresser à la performance des bâtiments, l'utilisateur a la possibilité de focaliser son attention sur un indicateur de performance bien précis et d'observer les impacts de chaque composant de son bâtiment, en allant des composants les plus généraux aux plus précis. Ainsi il peut effectuer cette action de zoom et dézoom à volonté lui permettant de se saisir de vastes problématiques telle que la superstructure ou de points plus techniques tels que la nature des planchers.

S'il avait choisi de commencer sa recherche via un composant du bâtiment, son parcours dans SOCRATE aurait été différent mais il aurait obtenu le même type de sortie graphique.

1.2.1.2. Recherche orientée via les composants du bâtiment

En effet, après avoir choisi de s'intéresser directement aux composants du bâtiment et non à ses performances, l'utilisateur aurait été face aux 6 piliers de conception architecturale (Figure 23) que l'on retrouvait dans SOCRATE 1.0.

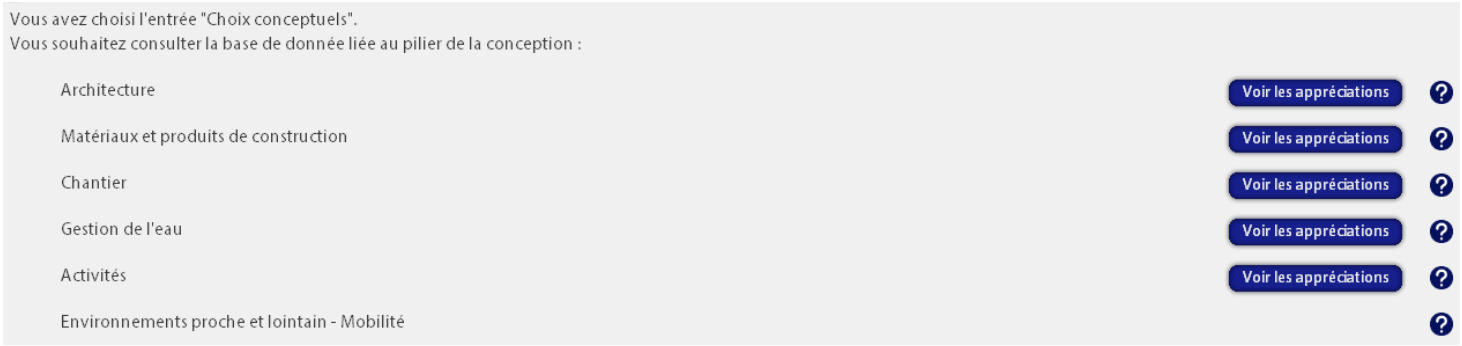


Figure 23 : Les 6 piliers de la conception architecturale dans SOCRATE

En cliquant sur les piliers, l'utilisateur déroule un menu lui permettant d'accéder aux différents composants des piliers et de cliquer sur « Voir les appréciations », ainsi il accède aux différents contributions de la solution sur tous les indicateurs de performance environnementales (Figure 24).
En cliquant sur l'un des indicateurs, l'utilisateur retrouve le même type de fenêtre qu'en Figure 22, lui permettant de décomposer le lot ou le composant et d'avoir leur contribution respective sur l'indicateur qu'il aura choisi.

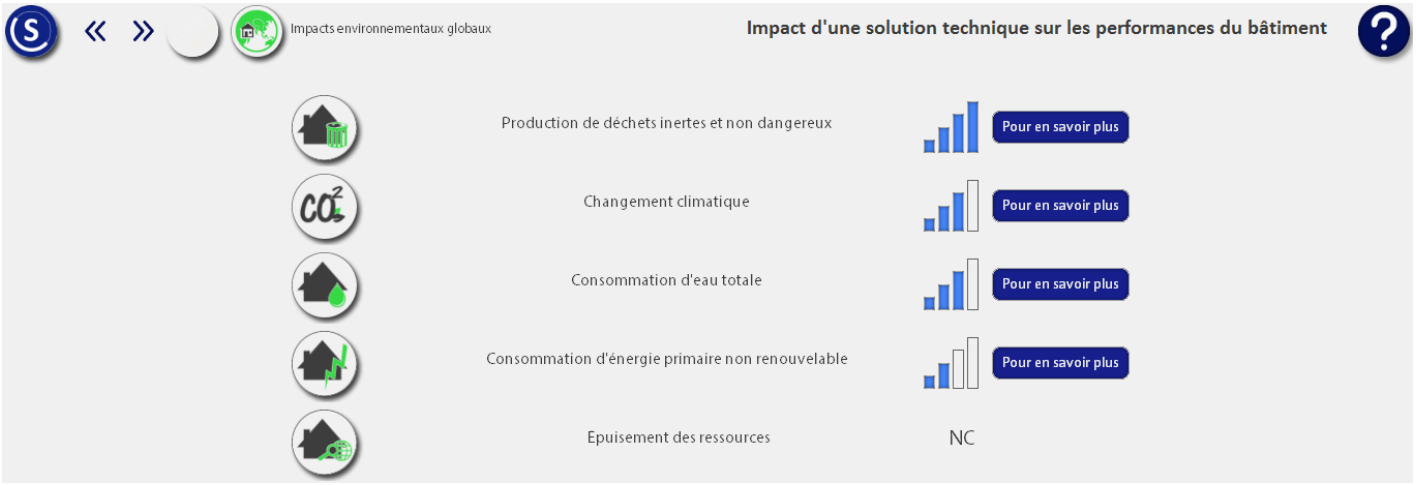


Figure 24 : Exemple des contributions du lot "Gros-Œuvre" sur les différents indicateurs de performance

1.2.1.3. Recherche orientée par des mots clés

Si l'utilisateur sait précisément sur quelle thématique travailler, il peut rentrer un mot clé dans la barre de recherche. Il pourra ainsi choisir dans une liste de solutions architecturales qui comportent le mot qu'il a choisi, par exemple « Structure », l'ensemble des solutions qui sont concernées par ce mot. En cliquant dessus, il retrouve le même type d'affichage illustré par la Figure 25.

1.2.1.4. Les icônes « Pour en Savoir Plus »

Ces icônes que l'on retrouve à coté de chaque appréciation experte se trouve être la fenêtre de Justification (Figure 13) que l'on pouvait retrouver dans SOCRATE 1.0. En cliquant dessus (Figure 25), l'utilisateur va pouvoir prendre connaissance des différentes méthodes qui ont conduit à la formulation de l'appréciation, toute comme sa validation.

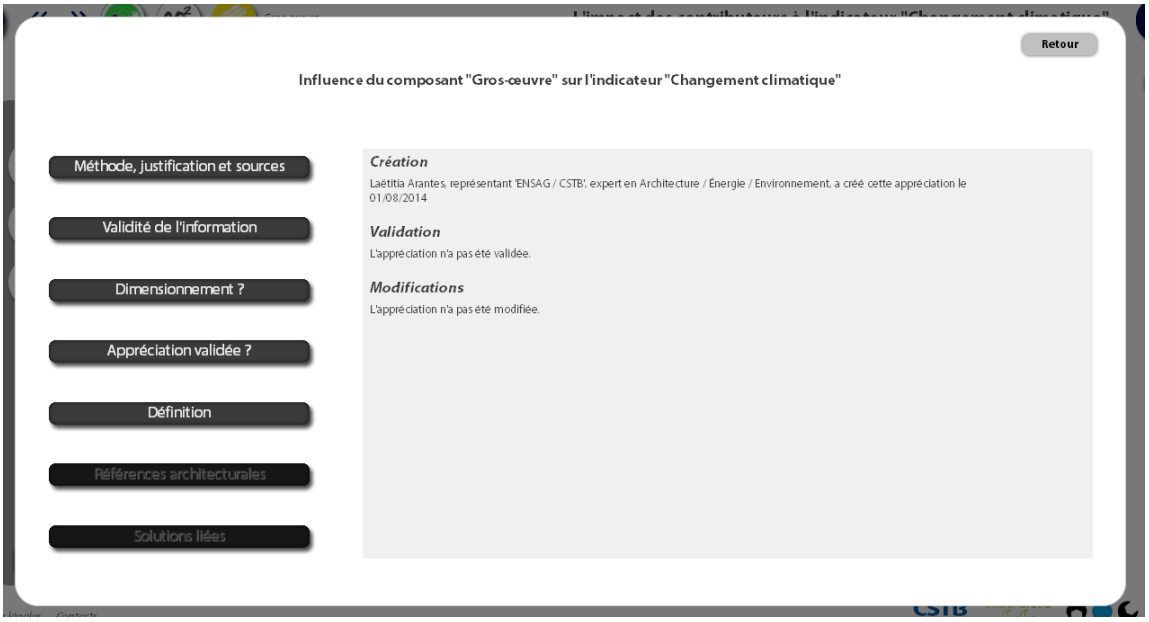


Figure 25 : Fenêtre "Pour en savoir plus" dans SOCRATE 2.0

En effet, chaque information rentrée dans SOCRATE doit être vérifiée, afin que seules des informations justifiées et contextualisées puissent être fournies. De ce fait, l'utilisateur sait quelles informations ont été validée et celle qui sont en attente de validation.

2. Capitalisation des connaissances nécessaires pour enrichir SOCRATE

Le principe de SOCRATE est de fournir à son utilisation une appréciation experte de ces choix conceptuels au regard des différentes performances du bâtiment. Une appréciation experte fournit une information facilement compréhensible sur l'impact d'une solution architecturale ou technique au regard d'une performance du bâtiment.

Dans le cadre du développement de SOCRATE, mon rôle a été double. J'ai participé à la capitalisation des connaissances et j'ai également participé au groupe de travail pour les choix graphiques à adopter.

Dans l'optique d'alimenter SOCRATE en appréciations experts, j'ai eu recours à plusieurs types de sources d'informations, ce qui a eu un impact direct sur la nature même des données que j'ai pu récupérer. En effet, en plus de savoirs experts « génériques » il m'a été également possible de remplir l'outil avec des données numériques, issues notamment d'études statistiques et d'analyse de cycle de vie. Mon processus de capitalisation peut être résumé dans le schéma ci-dessous (Figure 26)

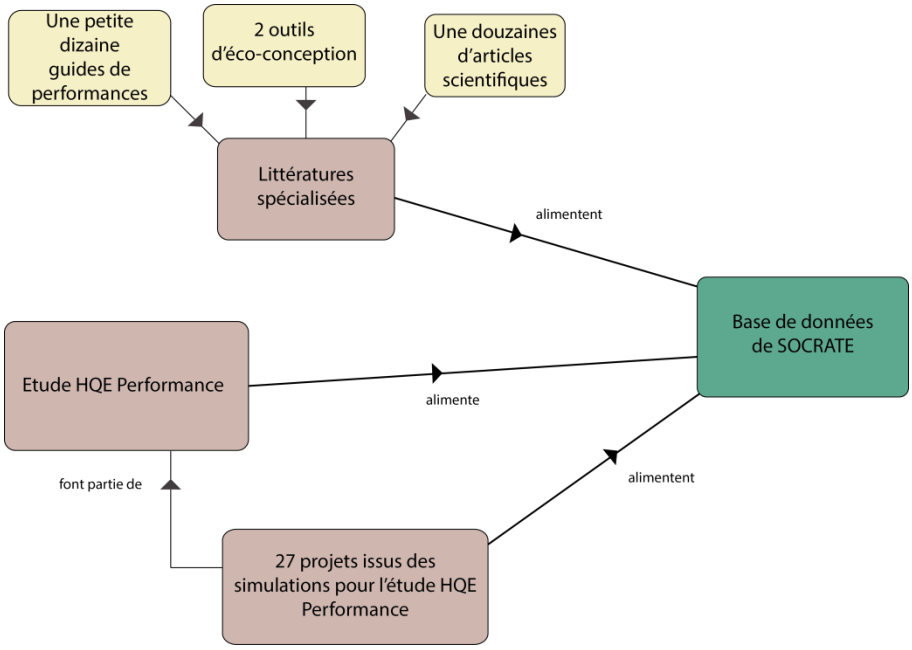


Figure 26 : Schéma conceptuel sur le processus de capitalisation de SOCRATE durant mon stage

2.1 Types de connaissances qui vont constituer la base de données de SOCRATE

Laëtitia Arantes, au cours de ses travaux a identifié plusieurs types de sources d'informations pour formaliser les appréciations expertes qui sont à la base de SOCRATE. A partir de ces types de sources, mes recherches se sont focalisées sur l'étude de savoirs experts et des résultats d'une analyse statistique qui seront détaillés un peu plus loin. Plusieurs types d'informations composent les bases de données de SOCRATE. Cette multiplicité de sources d'informations correspond à l'identité de l'outil, qui se veut être communautaire, et enrichi par des experts pour les concepteurs. Cette multiplicité permet également de rendre l'outil plus robuste.

2.1.1. Le savoir expert : la formalisation de connaissances dispersées entre dires d'experts et les règles expertes (issues d'analyses et de travaux de recherches).

Un savoir expert est un savoir déduit de principes de bases, de règles issues de l'expérience et des différentes pratiques architecturales ou plus généralement du bâtiment. Ce type de savoir donne des informations générales sur des solutions architecturales et techniques. Ces informations peuvent être issues de concepts ou calculs plus complexes, cependant elles doivent être comprises le plus facilement de tous. C'est pourquoi les savoirs experts sont formulés dans SOCRATE de façon simplifiées, afin qu'ils puissent être utilisés par un grand nombre de ses utilisateurs. Selon Patrick Depecker (cité par Arantes, 2014) les règles expertes permettent de jauger les performances de confort et d'usage d'un bâtiment à partir de ses caractéristiques conceptuelles. « *Elles servent d'indicateurs et indiquent l'impact relatif d'un aspect du bâtiment sur cette performance* » (Depecker *et al*., 2000 cité par Laëtitia Arantes, 2014).
Par exemple, la compacité d'un bâtiment qui est le rapport entre la surface d'enveloppe extérieure du bâtiment (mur et toit) sur son volume à chauffer est un indicateur de la performance thermique d'un bâtiment étudié depuis une quarantaine d'années. Ainsi le savoir expert issu des analyses multiples de ce concept indique que plus un bâtiment est compact plus ses déperditions d'énergie seront faibles et donc plus son impact thermique et énergétique sera faible. Ainsi il est avisé de faire attention à ne pas faire de bâtiment dont la surface déperditive est trop importante par rapport au volume à chauffer (Figure 27).

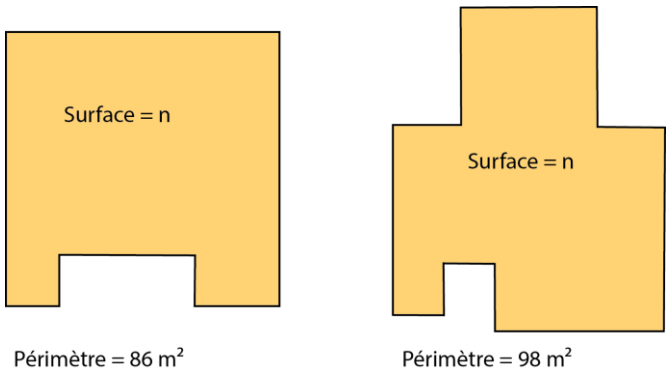


Figure 27 : Différence de surface déperditive pour un même volume mais pour des formes de bâtiments différentes. Vues en plan

Ce type de savoirs conduit à avoir des informations majoritairement qualitatives et relatives. Ils ont pu être tirés de la lecture d'articles scientifiques ou encore de guides de performance.

2.1.2. Des données chiffrées issues d'études pour gagner en précision

La seconde grande catégorie de données qui ont alimenté SOCRATE dans la formalisation d'appréciations expertes sont des données plus précises et chiffrées issues de différentes études ou d'articles scientifiques. La principale source de données précises et chiffrées a été une étude conduite par le CSTB (Lebert *et al.*, 2013) qui se base sur les résultats de simulations sur 115 bâtiments (deux sessions d'étude en 2010-2011 et 2012-2013). Cette étude a contribué à un apport majeur en données chiffrées, grâce à son accessibilité et à la fiabilité des informations qu'elle recueille. Ainsi ce type de données a permis de renseigner des appréciations expertes plus quantitatives dans SOCRATE, facilement représentables dans des graphiques par exemple.

Ainsi ces deux grands types d'informations rendent SOCRATE plus robuste et plus complet. La fiabilité des différentes informations tient dans la méthodologie employée pour les recueillir. C'est cette méthodologie qui est présentée dans le paragraphe suivant.

2.2 La capitalisation d'informations sur la conception architecturale : méthodes et limites

Opter pour une méthodologie multi-sources pour enrichir SOCRATE a participé à la consolidation de l'outil grâce à l'intégration d'un éventail d'informations d'origine diverses mais représentatives des travaux actuels dans le secteur du bâtiment et de l'architecture. Une méthodologie multi-sources a également permis d'augmenter les chances de trouver des informations sur certaines thématiques qui sont peu étudiées.

2.2.1. Première principale source d'informations : les guides, outils, articles scientifiques et techniques spécialisés en architecture, sur le bâtiment ou des matériaux en particulier

Dans un premier temps, pour trouver des informations pertinentes pour nourrir SOCRATE, j'ai eu recours à de nombreux articles scientifiques et autres guides spécialisés.

2.2.1.1. Données issues de guides de performance du bâtiment

L'avantage d'étudier des guides ou documents généraux sur le bâtiment était de pouvoir avoir accès à des informations variées mais aussi cohérentes au sein d'un même document. En règle générale, ces documents passent en revue des secteurs clés au regard d'une thématique particulière. Ici, la thématique de l'énergétique est très dominante. Bénéficiant de dizaines d'années de recherche, les questions propres à l'énergie et la thermique des bâtiments sont dominantes dans les différents documents que j'ai pu lire. Sur la petite dizaine de guides et document généraux, tous parlent

essentiellement ou en partie de problématiques de l'énergétique. Cependant, certains documents tels que « Performance environnementale des logements » de l'Arene Ile de France (Abdesselam Mohamed, Traisnel Jean-Pierre, Caron André, 2008) aborde d'autres thématiques que l'énergétique comme par exemple la maîtrise de l'eau. A travers ce type de guide, de nombreuses solutions architecturales sont passées en revue. Ainsi, sont étudiés les différents types d'isolation disponibles pour le concepteur (isolation répartie, par l'extérieur ou l'intérieur par exemple), les vitrages et huisseries, les différents types de ventilations (simple ou double flux), des conseils sur la conception bioclimatique du logement ou encore les toitures végétales et les puits d'infiltrations. Ce type de guide a donc été précieux car il abordait le bâtiment selon la même logique que SOCRATE, via les performances de solutions architecturales.

2.2.1.2. Données issues d'outils d'aide à l'éco-conception architecturale

Ce type de guide n'était pas la seule source d'informations à ma disposition, l'utilisation d'outils d'aide à l'éco-conception déjà existants a constitué une autre source d'information pour enrichir SOCRATE.

Le principal outil d'aide à l'éco-conception que j'ai pu exploiter pleinement est l'outil Eco-mod (Boignon *et al.*, 2011) précédemment présenté dans la synthèse bibliographique. C'est l'outil qui se rapproche le plus de la philosophie de SOCRATE et qui recèle de nombreux savoirs experts. A l'inverse d'autres outils d'aide à l'éco-conception tels qu'ARCHIWIZARD (ARCHIWIZARD, 2003) qui nécessitent de rentrer les premières caractéristiques d'un bâtiment, Eco-mod est utilisable très rapidement et se laisse parcourir tel un catalogue au grès des thématiques ou solutions architecturales que l'on souhaite traiter. C'était donc un outil très pratique pour récolter les premiers savoirs experts, sans avoir des données concrètes sur un bâtiment. Les informations que l'on peut donc trouver se présente sous forme de paragraphe argumenté sur l'impact d'une solution architecturale sur les performances d'un bâtiment mais aussi sur les contraintes des solutions architecturale pour la performance du bâtiment (Figure 28).

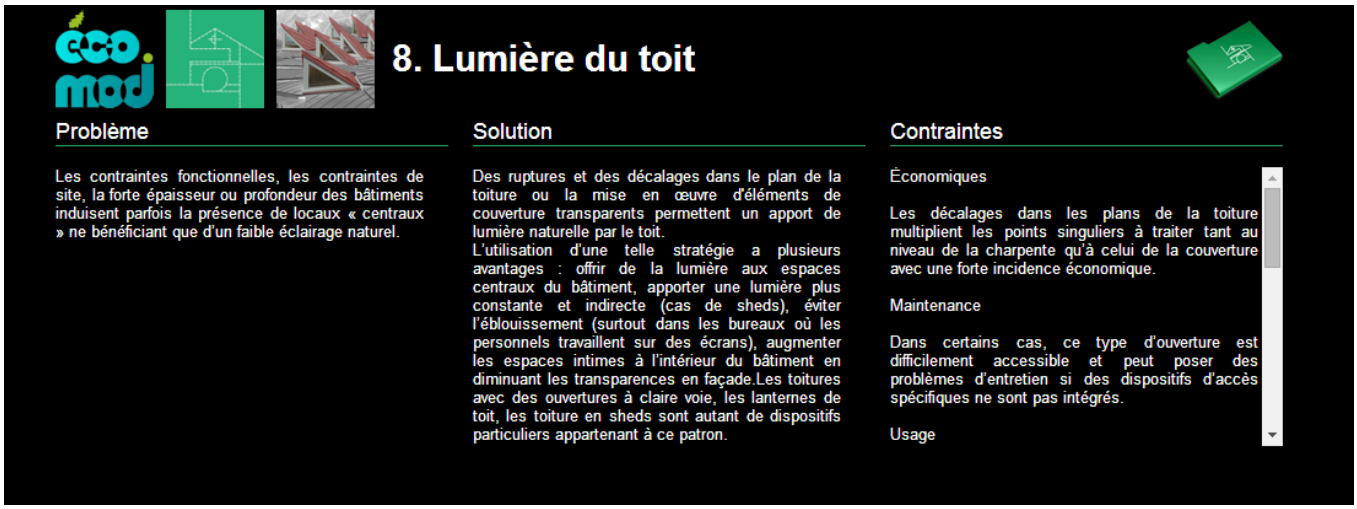


Figure 28 : Exemple de l'affichage d'appréciations experts dans Eco.mod

Le problème d'Eco.mod est que l'on ne sait pas dans quelle mesure les informations restituées dans l'outil sont « valables », c'est-à-dire appuyées par des études ou d'autres travaux. Les sources des informations ne sont pas mentionnées dans Eco.mod.

2.2.1.3. Données issues d'articles scientifiques sur des sujets généraux mais aussi spécifiques

J'ai également eu recours à des articles et documents qui portaient sur des sujets assez précis, tels que la nature isolante des huisseries en fonction de leur nature, qu'elles soient en bois, PCV ou aluminium (CR Bourgogne, 2010), (Gustavsen *et al.*, 2011), (Eiffinergie, 2009) mais aussi sur des questions telles que les fondations profondes et leur caractéristiques (Université de Sherbrook, 2010), (Lycée Pierre Caraminot, 2008). Ce type de document se focalisent sur des sujets précis et permettent de compléter des manques de données tout aussi précis dans SOCRATE. Ils permettent à l'inverse d'études plus généralistes de renseigner l'impact de solutions architecturales assez spécifiques telles que les performances des fenêtres. Cependant, certains documents s'intéressent aussi plus largement au bâtiment dans son ensemble, via des thématiques majoritairement énergétiques (Perez-Garcia, 2005), (IBGE, 2007), (Marique, Meester, de Herde *et al.,* 2012). La sélection des articles a été guidée par les différents déterminants qui composent les piliers et qui ne possédaient pas encore d'appréciations expertes et également par mes différentes lectures qui faisaient écho à des thématiques qui semblaient intéressantes et qui invitaient à être étudiées plus en profondeur. Les articles ensuite conservés sont ceux qui me permettaient d'avoir des données précises sur des matériaux entre eux ou sur des solutions architecturales plus globale. L'important était de trouvé en priorité des données ou comparaison chiffrées qui pouvaient illustrées précisément les appréciations expertes dans SOCRATE.

2.2.2 Deuxième sources d'informations : l'étude « Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance »

L'autre source d'informations majeures qui a pu être utilisée pour la capitalisation de connaissances a été l'étude conduite par l'équipe EICV (Environnement et Ingénierie du Cycle de Vie) du CSTB de Grenoble. Le projet HQE Performance (Lebert *et al.*, 2013), avec le soutien de nombreux acteurs, a pour objectif d'établir des données de référence dans l'évaluation environnementale des performances de bâtiments via leur modélisation. Le projet s'est déroulé en deux étapes qui ont conclu à la modélisation de 115 bâtiments. Cette étude a permis de rassembler des données pour les différents piliers de conception architecturale et plus particulièrement pour le pilier « Matériaux et Produits de Construction ». En effet, l'étude a directement inspirée le découpage dans SOCRATE du pilier « Matériaux et produits de construction » en macro-lots (Gros-œuvre, second-œuvre et équipement), eux même décomposés en treize lots que voici :

Gros-œuvre :	Voirie - Réseaux Divers
	Fondations et Infrastructures
	Superstructure et Maçonnerie

Second-œuvre :	Cloisonnement – Doublage – Plafonds suspendus – Menuiserie intérieure Couverture – Etanchéité – Charpente – Zinguerie Revêtement de sols, murs et plafonds
Equipement :	Appareils élévateurs Chauffage – ventilation – climatisation Eclairage Equipements de production locale d'électricité Plomberie – Sanitaire Réseaux d'énergie électrique et de communication Sécurité des personnes et des bâtiments

Ainsi grâce aux résultats de l'étude résumés dans ce type de tableau (Figure 29) la contribution de chaque pilier et de chaque lot aux différents indicateurs de performance a pu être intégrée dans la base de données de SOCRATE, pour les trois typologies de bâtiments (bâtiment collectif, individuel et de bureaux). En ligne, se situent les lots qui composent le pilier « Matériaux et Produit de

CSTB
le futur en construction

Synthèse des résultats HQE Performance pour les échantillons 2010-2011 et 2012-2013 (40 maisons individuelles)



Contributeurs	Correspondance modules de la norme EN 15978	CONSOMMATION D'ENERGIE et D'EAU			EMISSIONS DANS L'AIR	PRODUCTION DE DECHETS		
		E. primaire totale [kWh/m²SHON/an]	E. non renouvelable [kWh/m²SHON/an]	Conso d'eau [L/m²SHON/an]	Changement climatique [kg-eqCO2/m²SHON/an]	Inertes [kg/m²SHON/an]	Non dangereux [kg/m²SHON/an]	Dangereux [kg/m²SHON/an]
DVP = 50 ans								
PRODUITS et EQUIPEMENTS		**52,0**	**41,9**	**114,9**	**9,2**	**25,4**	**9,0**	**0,04**
		soit en %	*soit en %*	*soit en %*	*soit en %*	*soit en %*	*soit en %*	*soit en %*
Lot 1 - VRD	[modules A-B-C]	3%	3%	9%	2%	12%	1%	2%
Lot 2 - Fondations et infra.	[modules A-B-C]	5%	6%	13%	12%	31%	5%	1%
Lot 3 - Superstructure	[modules A-B-C]	17%	17%	14%	23%	45%	17%	5%
Lot 4 - Couverture	[modules A-B-C]	8%	6%	6%	2%	4%	5%	7%
Lot 5 - Cloisonnement intérieurs	[modules A-B-C]	13%	13%	7%	10%	0%	13%	17%
Lot 6 - Façades extérieures	[modules A-B-C]	14%	13%	11%	11%	1%	11%	14%
Lot 7 - Revêtements	[modules A-B-C]	7%	7%	7%	6%	6%	3%	6%
Lot 8 - CVC	[modules A-B-C]	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,19
Lot 9 - Installations sanitaires	[modules A-B-C]	3%	3%	2%	3%	0%	1%	4%
Lot 10 - Réseaux électriques	[modules A-B-C]	4%	4%	3%	3%	0%	0%	5%
Lot 11 - Sécurité	[modules A-B-C]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Lot 12 - Eclairage	[modules A-B-C]	1%	2%	1%	1%	0%	0%	3%
Lot 13 - Ascenseurs	[modules A-B-C]	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Lot 14 - Equipements de PLE	[modules A-B-C]	17%	18%	20%	19%	0%	26%	16%

Tableau 25 : Synthèse des résultats pour les maisons individuelles pour les 14 lots (échantillons 2010-2011 et 2012-2013, DVP : 50 ans)

Figure 29 : Un des tableaux illustrant le résultat des simulations du projet HQE Performance

Construction » et en colonne les indicateurs de performances environnementaux étudiés. A l'intersection des lignes et des colonnes, est donné le poids en pourcentage de l'impact de chaque lot sur les indicateurs.

2.2.3. Troisième source de données : Les simulations qui ont conduit aux résultats de l'étude Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance »

L'un des inconvénients des résultats de l'étude « Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance » (Lebert *et al*, 2013) est qu'ils ne sont pas assez précis. Ils permettent de compléter des informations jusqu'au lot mais ne donne pas d'informations sur les éléments qui composent les lots. Or, il aurait été intéressant de pouvoir aller plus loin.

Par exemple, les données de l'étude permettent de dire quelle est la contribution du lot « Fondations et Infrastructure ». Cependant, elles n'indiquent pas quel type de fondation, entre une fondation profonde, et une fondation superficielle laquelle a le plus de risques d'impacter l'environnement, en termes de production de déchets inertes et non dangereux. Or ce genre d'information est primordial pour assister le concepteur lors de ce type de choix crucial en phase esquisse. Pour remédier à ce manque d'informations, il a fallu remonter à la source et puiser dans les simulations réalisées pour l'étude.

En effet, comme expliqué précédemment, l'étude du CSTB, en partenariat avec de nombreux collaborateurs, s'appuie sur des simulations d'analyse de cycle de vie sur 115 bâtiments. Ces simulations ont été réalisées avec le logiciel d'analyse de cycle de vie ELODIE[19], développé par le CSTB. Chaque bâtiment a été saisi dans ELODIE par son concepteur.

Afin de pouvoir sortir des résultats pour chaque lot, les simulations ont dû calculer l'impact de tous les composants de ces lots. Il a donc fallu analyser chaque projet et les résultats des simulations pour pouvoir extraire les données des différentes solutions architecturales qui composent les lots. L'inconvénient est que chaque projet se présente sous le format d'un tableur Excel (Figure 30) et que le remplissage du projet dépend de l'utilisateur qui l'a rempli. Ainsi chaque projet est différent et a des compositions de lots différentes, ce qui a constitué un frein dans leur analyse. A noter également que les terminologies utilisées diffèrent entre chaque projet, ce qui demande une grande vigilance dans leur analyse. Cependant, l'analyse approfondie des résultats des simulations a constitué un

Métré saisi sous ELODIE

Batiment:		Calcul des indicateurs, exprimés par m² SHON, pour tout le cycle de vie du bâtiment (DVP)								
Lot	Composant	Consommation totale d'Energie	Consommation d'Energie	Changement climatique	Consommation d'eau (L /m²_shon)	Déchets dangereux (kg/m²	Déchets non dangereux	Déchets radioactifs (kg/m²	Acidification atmosphéric	Formation d'ozone photochimique
1. VRD (Voirie et Réseaux Divers)	**Voies piétonnes - dalle béton**	2,24E-01	2,09E-01	8,26E-02	3,58E-01	8,15E-05	1,50E-01	6,17E-06	2,99E-04	3,02E-05
	Bordures béton - bordure T2	9,25E-01	8,54E-01	4,18E-01	1,47E+00	2,95E-04	3,20E+00	2,29E-05	1,40E-03	1,20E-04
	Caniveau - caniveau CS1	7,49E-02	6,92E-02	3,39E-02	1,19E-01	2,39E-05	2,59E-01	1,85E-06	1,13E-04	9,69E-06
	Canalisations EU en PVC	5,87E-03	5,67E-03	6,31E-04	2,57E-02	1,24E-07	4,71E-04	9,26E-08	2,27E-06	2,78E-08
	Canalisations EP en béton	7,47E-01	7,07E-01	2,88E-01	1,14E+00	6,20E-04	1,90E+00	1,97E-05	9,57E-04	8,33E-05
	Refoulement des EP en PEHD	4,50E-02	4,40E-02	4,48E-03	1,26E-02	1,53E-06	2,11E-04	2,56E-07	1,66E-05	3,61E-06
	Regards en béton phi1000	4,55E-01	4,23E-01	1,75E-01	6,51E-01	2,71E-04	1,44E+00	1,12E-05	6,29E-04	5,17E-05
	Caniveau de bordure de chaussée avec	8,55E-01	7,89E-01	3,86E-01	1,36E+00	2,73E-04	2,96E+00	2,11E-05	1,29E-03	1,11E-04
	Bassin de rétention des EP	1,09E+00	1,04E+00	3,56E-01	4,92E+00	3,63E-04	6,96E+00	3,03E-05	1,64E-03	1,77E-04
	Caniveau de bordure de chaussée avec	5,44E-01	5,32E-01	1,27E-01	1,02E+01	5,15E-04	3,35E-02	5,57E-06	5,92E-04	2,63E-05
	Poste de refoulement des EP	3,53E-02	3,35E-02	1,15E-02	1,59E-01	1,17E-05	2,25E-01	9,79E-07	5,29E-05	5,71E-06
	Séparateur à hydrocarbures									
	Fourreaux PVC	7,56E-02	7,31E-02	8,78E-03	3,15E-01	1,86E-06	5,73E-03	1,37E-06	3,74E-05	3,36E-07
	Canalisation pour distribution eau	1,00E-01	9,81E-02	9,99E-03	2,81E-02	3,42E-06	4,71E-04	5,72E-07	3,71E-05	8,05E-06
	Poteau incendie									
	Drainage pour espaces verts	3,74E-01	3,67E-01	4,97E-02	1,05E-01	7,79E-05	1,83E-02	1,11E-06	2,89E-04	2,85E-04
	Dalles en pas japonais	4,67E-02	4,36E-02	1,71E-02	7,62E-02	1,57E-05	4,48E-02	1,34E-06	6,41E-05	6,80E-06
	Pieux géothermiques - colonnes inox	7,52E-01	6,43E-01	1,65E-01	3,35E+00	1,04E-05	2,89E-02	2,68E-06	1,76E-03	1,70E-05
	Crépine inox	1,94E-01	1,66E-01	4,25E-02	8,63E-01	2,69E-06	7,45E-03	6,91E-07	4,54E-04	4,40E-06
2. Fondations et infrastructure	**Pieux en béton**	1,14E+02	1,08E+02	5,33E+01	1,62E+02	1,95E-02	8,58E+01	2,86E-03	1,81E-01	1,59E-02
	Paroi en béton projeté	6,62E+01	6,25E+01	3,09E+01	9,39E+01	1,13E-02	4,97E+01	1,66E-03	1,05E-01	9,22E-03
	Acier de ferraillage	1,59E+02	1,55E+02	3,14E+01	3,86E+02	9,29E-03	1,37E+02	2,71E-03	1,37E-01	0,00E+00
	Polystyrène pour JD	1,17E-01	1,17E-01	1,79E-02	4,98E-02	7,74E-05	3,84E-03	1,20E-06	9,54E-05	7,08E-05
	Imperméabilisation des dalles des sous-	3,56E-01	3,39E-01	5,26E-02	3,69E-01	1,06E-03	1,33E-02	5,51E-06	3,72E-04	4,36E-05
	Imperméabilisation des parois parisienne	1,60E+00	1,26E+00	3,80E-01	7,08E-01	3,56E-04	2,40E-01	6,37E-05	2,62E-03	3,93E-04
	Fosse de relevage	4,69E-02	4,45E-02	1,53E-02	2,11E-01	1,56E-05	2,99E-01	1,30E-06	7,03E-05	7,60E-06
	Béton CEM III 16/20 MPa	1,91E+01	1,83E+01	7,20E+00	3,60E+01	3,23E-03	2,24E+01	5,98E-04	2,94E-02	3,38E-03
	Béton CEM I 25/30 MPa	1,33E+01	1,25E+01	6,08E+00	2,07E+02	2,24E-02	1,16E+02	3,52E-03	2,13E-01	2,00E-02

Présentation projet | Documentation | Résultats du Projet | Contributeur composant | Contributeur énergie | Contributeur eau | Contributeur DEplacement | Contri

Figure 30 : Aperçu du contenu d'un projet issu de la simulation d'un bâtiment sous le logiciel ELODIE

[19] http://www.elodie-cstb.fr/

important apport d'informations.
Tous les projets n'ont pas pu être utilisés, tous ne correspondaient pas aux typologies retenues pour SOCRATE (Bâtiment collectif, maison individuelle et bâtiment de bureau), certains étaient des commerces, des bâtiments industriels ou d'enseignement. Ainsi sur la soixantaine de projets initiaux, 27 ont été analysés pour SOCRATE.
Chaque projet a été classé selon la typologie du bâtiment auquel il était rattaché. Ainsi, 7 projets ont été utilisés pour les bâtiments collectifs, 13 pour les bâtiments de bureaux et 7 pour les maisons individuelles.

Ainsi, pour chaque typologie de bâtiments, un certain nombre de données ont pu être trouvées pour les solutions architecturales. Les informations trouvées ne proviennent pas à chaque fois de l'ensemble des projets, étant donné qu'ils sont tous différents, certains ne détenaient pas l'information. Il est donc assez rare de retrouver tous les projets d'une typologie en tant que détenteur d'informations pour une solution architecturale.

Concernant le traitement statistique des valeurs issues des projets, nous avons choisi de prendre en compte la médiane des valeurs prises pour chacun des indicateurs. En effet, pour chaque solution architecturale où plusieurs projets détenaient des données, c'est la médiane qui a été préférée à la moyenne car il existe dans l'échantillon des valeurs extrêmes. C'est également par souci d'homogénéisation avec l'étude HQE Performance (Lebert *et al.*, 2013) où l'on retrouve la même méthode de calcul qu'a été conservé le calcul des médianes.

III. Résultats et retours d'expérience

1. Etat de la capitalisation de SOCRATE à l'issue du stage

1.1 Les savoirs experts recueillis dans des articles, documents et divers études

Lecture des différents articles, documents et l'utilisation d'Eco-mod m'a permis d'ajouter des informations pour 15 entrées dans les solutions architecturales résumées dans ce tableau :

Solutions architecturales pour lesquelles on a pu apporter des informations	Indicateurs de performance sur lequel l'appréciation experte s'applique
Thématique de la mitoyenneté	Bbio
Structure construite sur site	Déchets inertes et non dangereux
Espaces tampons	Bbio
Forme du bâtiment	Bbio
Orientation par rapport au soleil	Bbio
Type de bâtiment	Bbio
Type de fondations	Déchets inertes et non dangereux
Qualité des vitrages	Bbio
Qualité des huisseries	Bbio / Consommation d'énergie non renouvelable / consommation d'eau
Traitement de la toiture	Indicateur du changement climatique
Plancher Bois	Consommation d'énergie non renouvelable
Façades légères	Consommation d'énergie non renouvelable
Réfend-Ossature bois	Consommation d'énergie non renouvelable

Tableau 12 : Appréciations expertes qui ont pu être complétées au cours de la phase de capitalisation

Pour rappel le Bbio est un indicateur qui traite de la problématique des besoins bioclimatiques du bâtiment. Il représente l'efficacité énergétique du bâtiment en prenant en compte les besoins en chauffage, refroidissement et éclairage.

On remarque que cet indicateur a été plusieurs fois renseigné. Cela est dû au fait que la thématique de l'énergétique est un sujet majeur dans les études et différents articles que j'ai pu lire. De tous les documents que j'ai pu lire, beaucoup traitaient des thématiques énergétiques et peu sur d'autres préoccupations environnementales telles que la gestion de l'eau ou les rejets de gaz à effet de serre.

1.2. Les données chiffrées issues de l'étude « Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance »

L'analyse des projets qui ont servi à construire l'étude HQE Performance (Lebert *et al.*, 2013) m'a permis d'apporter un nombre conséquent d'appréciation expertes pour chaque typologie.

En effet, pour la typologie « Immeubles Collectifs », 90 solutions architecturales se sont vues attribuer des informations sur leur impact sur les 4 indicateurs de performance environnementaux, ce qui représente l'ajout de 360 appréciations expertes. Pour la typologie « Maisons Individuelles », 49 solutions architecturales ont pu bénéficier d'un apport d'informations, ce qui revient à dire que 196 appréciations expertes ont pu être apportées pour cette typologie. Pour finir, 159 solutions architecturales (soit 636 appréciations expertes) pour les « Bâtiments de Bureaux » ont pu être complétées par la valeur de leur impact sur les 4 indicateurs de performance environnementaux.

2. Retours critiques sur la méthodologie de travail et sur SOCRATE

2.1 Limites de la méthodologie

2.1.1. Les contraintes d'une méthodologie multi-source

Avoir fait le choix d'utiliser de multiples sources pour fournir SOCRATE en données s'est imposé de lui-même. En diversifiant les sources d'informations, leur nombre augmente et permet d'avoir un outil plus fourni et robuste. Cependant, toute donnée nécessite d'être validée et vérifiée. Or les données issues de différentes études peuvent être contestées par d'autres auteurs ou invalidée par de nouveaux résultats. C'est pourquoi SOCRATE reste très transparent sur l'origine des données fournies.

2.1.2. Une seule étude pour évaluer le poids des composants des différents lots

A l'inverse, les données qui ont servi à donner l'impact environnemental des solutions architecturales qui composent les lots sont issues d'une seule étude. Cette étude se base sur l'analyse statistique de 115 bâtiments, mais seulement 27 projets ont pu être utilisés dans la capitalisation de SOCRATE. Ce qui d'un point de vue statistique peut sembler assez faible. D'autant plus que ce nombre diminue lorsque l'on passe aux typologies. Pour rappel, 7 projets ont été utilisés pour les bâtiments collectifs, 13 pour les bâtiments de bureaux et 7 pour les maisons individuelles. Il est donc compliqué de déduire des savoirs experts robustes à partir de calculs de médianes sur de si petits échantillons. Cependant, dans l'onglet de justification pour chaque solution architecturale, il est spécifié le nombre de projet qui ont été utilisé pour construire la donnée. Ainsi, SOCRATE permet de valoriser une étude, tout en affichant clairement ses limites. Cependant, les informations à l'échelle des lots et des macro-lots sont bien issues de l'étude des 115 bâtiments, ce qui peut être plus satisfaisant d'un point de vue statistique.

SOCRATE se veut être un outil évolutif, au même titre que le sont le domaine de la construction et ses innovations. Ainsi une appréciations experte donnée n'est pas immuable. Elle pourra être modifiée par l'utilisateur l'ayant renseignée ou même par un autre utilisateur (sous couvert d'une vérification et d'une validation par l'administrateur de l'outil)

2.2. SOCRATE : Retour d'expérience

2.2.1 Rappel du questionnement

Au cours du processus de développement de SOCRATE, outre le fait de remplir ses objectifs directement liés aux performances du bâtiment, l'enjeu était de savoir si SOCRAE et la méthodologie suivie pour sa conception sont capables de répondre aux critères à la fois généraux d'un outil d'aide à la décision et à ceux plus spécifique de la phase esquisse ? La question était de savoir si les appréciations expertes consignées dans l'outil et mises à disposition des utilisateurs pressentis sont pertinentes et permettent-elles de rendre l'outil efficient? La problématique graphique s'est également posée au cours du développement. Le support technique utilisé est-il adapté à l'usage envisagé pour cet outil? Quelle ergonomie lui donner pour que son utilisation soit effective et efficace? D'un point de vue plus global, il est aussi intéressant de pouvoir identifier les limites et les apports de SOCRATE dans le paysage des outils d'aide à la décision.

2.2.2. Retour d'expérience

2.2.2.1. Les points de satisfaction

Les points positifs à retenir à propos de SOCRATE, et notamment à propos de sa deuxième version sont tout d'abord sa grande marge d'amélioration entre la première et la deuxième version. En effet, toute l'ergonomie de l'outil a été repensée, ce qui l'a rendu beaucoup plus compréhensible et plus facilement manipulable pour l'utilisateur.
La structure même de l'outil qui a été établie dès SOCRATE 1.0 est robuste. En effet, les recherches peuvent se faire selon différents angles d'attaque : les performances du bâtiment ou ses composants. De ce fait, l'outil n'impose pas une façon de penser à l'utilisateur et lui laisse le choix d'orienter ses recherches selon ce qui l'intéresse ou ce qui lui fait défaut.
Ainsi, on peut affirmer que SOCRATE a rempli l'objectif de la communication. Sa perpétuelle amélioration graphique lui permet d'avoir une bonne ergonomie. Cette bonne ergonomie participe à la facilité de son utilisation durant la phase esquisse, ne ralentissant pas l'architecte dans son processus de conception.

L'interface et l'ergonomie de l'outil se sont beaucoup améliorées et rendent celui-ci beaucoup plus convivial. Les icônes et différents boutons ont été retravaillés, tout comme la façon dont l'utilisateur peut se déplacer dans l'outil ; rien n'a été laissé au hasard pour faciliter la navigation du concepteur dans SOCRATE.

Le côté pédagogique de l'outil n'est pas laissé de côté, avec la constitution de pages récapitulatives et synthétiques sur les indicateurs de performances mais aussi avec le développement des définitions de chaque solution architecturale. (Figure 31)

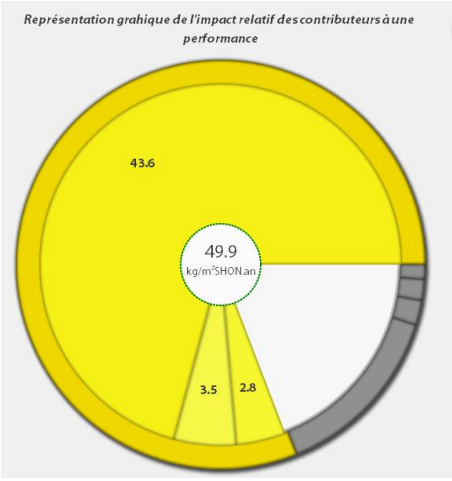


Figure 31 : Définition d'un indicateur dans SOCRATE

Les bases de données, bien que n'étant pas encore entièrement complétées, ont vu leur enrichissement bien amorcé grâce à l'apport notamment des résultats des différentes simulations opérées pour le rapport HQE Performance (Lebert *et al.*, 2013) mais aussi des autres lectures faites tout au long du stage. Ainsi un grand nombre de solutions architecturales a pu être enrichi, qu'elles soient générales ou plus précises, et SOCRATE s'est doté de plusieurs niveaux d'informations précieux. Un total de 715 appréciations expertes a pu être ajouté aux bases de données

Ainsi, les appréciations expertes renseignées rendent l'outil efficient grâce à des bases de données déjà bien complétées. Il a le potentiel d'être utilisé par un plus grand nombre d'utilisateurs.

2.2.2.2. Les points à revoir et suggestions d'amélioration



Bien que l'interface de SOCRATE se soit beaucoup améliorée, celle-ci n'est pas encore complètement terminée, et nécessite encore du travail. Il manque encore des icônes pour décrire les différentes solutions architecturales par exemple. Certaines couleurs sont aussi encore par défaut et nécessitent d'être modifiées pour faciliter la compréhension de certaines sorties graphiques (Figure 32).

Figure 32 : Exemple de sortie graphique qui pourrait être améliorée en diversifiant les couleurs pour plus de lisibilité

En ce qui concerne la base de données de SOCRATE, celle-ci demande bien entendu à être complétée et les données déjà entrée à être validées. L'une des faiblesses majeures des bases de données est le faible nombre de données utilisées pour aboutir à un savoir expert, donnant une certaine fragilité à l'ensemble des résultats de SOCRATE. Certes, de nombreuses solutions architecturales ont pu être enrichies, mais cela s'est réalisé avec relativement peu de données. Cela s'explique tout d'abord par l'utilisation d'une source unique : l'étude HQE Performance (Lebert *et al*., 2013) mais aussi par le manque de disponibilités d'autres informations de ce type. Cependant, toutes les sources et méthodologies sont décrites de façon transparente.

Durant tout mon stage, j'ai travaillé sur des matrices Excel, et non des bases de données, de ce fait je n'ai pas pu automatiser mes recherches et ma capitalisation. Faire tout ce travail manuellement demande beaucoup de rigueur et d'attention pour éviter des erreurs d'inattention. Ainsi, il est possible que des erreurs viennent s'insérer dans les bases de données informatiques. Il m'aurait sans doute fallu plus de temps pour vérifier très précisément tout ce que j'ai pu faire.

Je retiens de ce stage et de la mission que l'on m'a confiée, la difficulté à obtenir des informations précises pour pouvoir constituer des appréciations expertes. Je n'ai, pour ma part, par exemple pas trouvé énormément de guides complets dont les informations sont validées. Il me reste cependant à la fin de mon stage encore une dizaine de documents que je n'ai pas eu le temps de lire et qui méritent d'être étudiés.

Pour pallier ce manque d'information et pour rendre plus robuste les résultats, il serait peut être intéressant de prendre contact et de rencontrer des acteurs et de les faire participer à l'enrichissement de SOCRATE. Cependant, cette phase a déjà été commencée mais il s'avère qu'il est encore difficile de mobiliser des acteurs sur un outil encore en construction. Ceux-ci semblent intéressés, mesurent l'étendue du travail nécessaire pour faire fonctionner un outil ambitieux comme SOCRATE et comprennent l'intérêt d'un tel outil mais il est encore difficile de pleinement mobiliser certains acteurs. Il existe cependant des personnes qui ont très rapidement envoyé des documents pour venir en aide à la capitalisation. Le processus s'enclenche donc doucement, mais une fois à plein régime, il semble certain que les résultats peuvent devenir de plus en plus robustes.

Il parait également évident que cette deuxième version de SOCRATE doit subir un nouveau test auprès d'un public test, des étudiants en architecture semblent convenir comme public cible. Il est prévu au début de l'année scolaire de faire ce genre d'exercice, et il serait intéressant de refaire circuler un questionnaire avec le même type de questions et en plus des questions qui permettraient de voir quels changements et évolutions sont le plus appréciées entre les deux versions. Le problème est qu'il semble compliqué de refaire tester aux même élèves SOCRATE 2.0 car ceux-ci auront apparemment déjà fini leurs études.

Pour y remédier, on peut organiser deux sessions de test à la fois pour SOCRATE 1.0 et pour SOCRATE 2.0 sur un même groupe d'étudiant pour pouvoir correctement noter les points qu'ils trouvent améliorés ou encore améliorables.

Conclusion

Mon stage au sein de l'équipe EICV du CSTB de Grenoble fut une très belle expérience professionnelle.

J'ai pu aborder la vaste thématique des outils d'aide à la décision et à l'évaluation selon des angles d'approches multiples. J'ai pu participer au développement de SOCRATE et être confrontée à toutes les problématiques induites auxquelles on peut être confronté au cours des différentes étapes de la construction d'un outil d'aide à la décision. J'ai fait face aux difficultés que l'on peut rencontrer pour nourrir un tel outil qui nécessite des bases de données bien fournies pour pouvoir exprimer tout son potentiel. J'ai également beaucoup apprécié les groupes de travail sur l'ergonomie et les sorties graphiques de SOCRATE, qui ont été très enrichissante.

J'ai également pu prendre du recul au cours de la constitution de la synthèse bibliographique. Elle m'a permis de dresser un état des lieux sur ce qui se fait à ce jour en termes d'outils d'aide à la décision et à l'éco-conception. J'ai pu mettre en perspective mon propre travail en étudiant d'autres outils. J'ai ainsi pu m'intéresser de façon un peu plus poussée au fonctionnement d'un outil d'aide à la décision et d'analyse du cycle de vie en travaillant sur ELODIE à la fois pour la traduction mais aussi dans ma collecte d'informations. ELODIE renferme notamment un grand nombre d'informations sur les performances de nombreux matériaux utilisés dans la conception de bâtiments.

Bibliographie

(Abdesselam Mohamed, Traisnel Jean-Pierre, Caron André , 2008) Abdesselam Mohamed, Traisnel Jean-Pierre, Caron André *et al.*, *Performance Environnementale des logement*, Argumentaire Technique et Commercial, Arene Ile de France, EPA Senart et SAN de Senart, 2008, p.164

(Ademe, 2014), *Glossaire économise d'énergie*, 2014. Dernière consultation le 25/08/2014. Directement consultable au : http://www2.ademe.fr/servlet/KBaseShow?sort=1&cid=96&m=3&catid=12843&p1=5&p2=12564

(Arantes, 2014) Arantes Laëtitia, *Du choix des données à l'appréciation experte des bâtiments durable,* Rapport d'avancement, CSTB, 2014, 45p.

(Archiwizard, 2003), Archiwizard, 2003. Dernière consultation le 25/08/2014.
Directement consultable au : http://www.archiwizard.fr/fr

(Association HQE, 2006), Pour une contribution au développement durable dans le bâtiment, 2006, 67 p.
Directement consultable : http://www.cinov.fr/uploads/media_items/guide-des-bonnes-pratiques.original.pdf

(BDM, 2014) : *Bâtiments Durables Méditerranéens,* 2014. Dernière consultation le 25/08/2014
Directement consultable au : http://polebdm.eu/

(Bignon *et al.* , 2011) : *Eco.mod*, 2011. Dernière consultation le 25/08/2014.
Directement consultable au : http://www.crai.archi.fr/eco.mod/eco.mod/N1Accueil.html

(BRE Global, 2010) BREEAM, 1990. Dernière consultation le 25/08/2014.
Directement consultable au : http://www.breeam.org/index.jsp

(CLEAR, 2004) : Comfortable Low Energy Architecture, 2004. Dernière consultation le 25/08/2014.
Directement consultable au : http://new-learn.info/packages/clear/index.html

(CR Bourgogne, 2010) Conseil Général de Bourgogne, *Des fenêtres performantes,* 2010, Clé 3, 2p.

(Depecket *et al.*, 2000) Depecker Patrick, Menezo Christophe, Bastos Leopoldo, QueirozTeresa, « *Aide à la décision et structure d'outils pour la conception thermique des bâtiments, typologie, modes d'usages, incertitudes* », 2ème Conférence Internationale sur l'aide à la décision dans le domaine génie civile et urbain, Lyon, 2000, pp.869-884.

(Design Builder, 2005), DesignBuilder, 2005. Dernière consultation le 25/08/2014.
Directement consultable au : http://www.designbuilder.co.uk/

(Diaz-Pedregal, 2000) Diaz-Pedregal Pierre, *Logements à faibles besoins en énergie. Guide de recommandations et d'aide à la conception*, Cabinet Olivier Sidler, Ingénieurs conseils, Région Rhône-Alpes, ODH 26, ADEME, Conseil Général de Savoie, mars 2000, 124 p. Disponible en ligne sur le site d'Autoconstruction Construire sa maison soi-même : http://www.autoconstruction.info/sites/www.autoconstruction.info/IMG/pdf/guide.pdf.

(Eco2initiative) : Simulation Thermique Dynamique. Dernière consultation le 31/08/2014. Directement consultable au : http://www.eco2initiative.com/notre-expertise/analyser-mesurer-et-comprendre-43/simulation-thermique-dynamique-88

(Eiffinergie, 2009) *Recherche des paramètres influençant la qualité environnementale des bâtiments à basse consommation énergétique – Comparaison des impacts environnementaux,* Rapport de synthèse, 2009, 274 p.
Directement consultable au : http://www.effinergie.org/index.php/base-documentaire/dernier-document/701-recherche-des-parametres-influencant-la-qualite-environnementale-des-batiments-bbc-comparaison-des-impacts-environnementaux

(Evatool, 2011), Environnmental Viable Architecture, 2011. Dernière consultation le
Directement consultable au : https://www.evatool.com/

(GADS, 2006), Usama Mohamed Ahmed El Feky, *Toward Applicable Green Architecture*, Thèse de doctorat, Université d'Eindhoven, 2006, 249p.

(Gholipour, 2011) Gholipour V., *Eco-conception collaborative de bâtiments durables*, Thèse de doctorat, Nancy-Université, Institut National Polytechnique de Lorraine, 1er juillet 2011, 269p.

(Gustavsen *et al.*, 2011) Arild Gustavsena, Steinar Grynninga, Dariush Arastehb , Bjørn Petter Jellec, Howdy Goudey, *Key elements of and material performance targets for highly insulating window frames,* Elsevier, 2011, 12 p.

(IBGE, 2007) Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement*, Construire un bâtiment compact*, Guide pratique pour la construction et la rénovation durables de petits bâtiments, 2007 4 p.

(Ivanka *et al*., 2010) *Librearchi*, 2010. Dernière consultation le 25/08/2014.
Directement consultable au : http://www.librearchi.umontreal.ca/

(IZUBA énergies, 1993-2014), PLEIADES, 1993-2014. Dernière consultation le 25/08/2014.
Directement consultable au : http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie

(Lebert *et al*., 2013) Lebert A., Lasvaux S., Grannec F., Nibel S., Achim F., Schiopu N., *Capitalisation des résultats de l'expérimentation HQE Performance. Analyse Statistique Action 22*, CSTB, Octobre 2013, p.235

(Liébard et De Herde, 2006) *Guide de l'architecture bioclimatique*, 2006. Dernière consultation le 25/08/2014

Directement consultable au : http://www.energies-renouvelables.org/observer/learnet/learnet/accueil.asp

(Lycée Pierre Caraminot, 2008), *Les fondations profondes*, Lycée Pierre Caraminot, 2008 14p.
Directement consultable au : http://www.cours-genie-civil.com/IMG/pdf/cours_fondations-profondes1_procedes-generaux-de-construction-2.pdf

(Marique, Meester, de Herde *et al.,* 2012) Marique A-F., de Meester T., de Herde A. et Reiter S. *Suburban Areas Favoring Energy Efficiency [SAFE] Rapport Scientifique et Technique Final*, LEMA [ULg] – Architecture & Climat [UCL], 31 mai 2012, 765 p.

(Midler, 1993) Midler Christophe, *L'auto qui n'existait pas, management de projet et transformation de l'entreprise*, Éditions Dunod, Coll. Stratégies et management, Paris, 1993, 216 p.

(Perez-Garcia, 2005) Perez-Garcia J., Lippke B., Briggs D., Wilson James B., Bowyer J., Meil J., *The Environmental Performance Of Renewable Building Material In The Context Of Residential Construction*, Wood and Fiber Science, 37 Corrim Special Issue, 2005 pp. 3-17

(planbâtimentdurable, 2014), *Comprendre la RT 2012*, 2014. Dernière consultation le 25/08/2014.
Directement consultable au : http://www.planbatimentdurable.fr/comprendre-la-rt-2012-r174.html#Application

(rb-architecte, 2014), Les différentes phases d'un projet d'architecture, 2014. Dernière consultation le 25/08/2014
Directement consultable au : http://www.rb-architectes.com/rb-architectes-cabinet-d-architecte-bilingues-a-paris/les-competences-et-services-d-architecte-proposes/les-differentes-phases-d-un-projet-d-architecture-320.html

(Safin, 2007) Safin Stéphane, Leclercq Pierre, Decortis Françoise, « *Impact d'un environnement d'esquisses virtuelles et d'un modèle 3D précoce sur l'activité de conception architecturale* », Revue d'Interaction Homme-Machine, Vol.8, n°2, 2007, pp.65-98

(Université de Sherbrook, 2010) *Chapitre V : Fondations profondes,* 2010.
Directement consultable au : http://www.civil.usherbrooke.ca/cours/gci315/Chapitre%205.pdf

(US Green Building Council, 2014) : LEED, 2009. Dernière consultation le 25/08/2014.
Directement consultable au : http://www.usgbc.org/leed

(Weissenstein, 2012) : Weissenstein C., *Eco-profil : un outil d'assistance à l'éco-conception architecturale*, Thèse de doctorat, Université de Lorraine, 11 décembre 2012, 234 p.

Table de figures

Figure 1 : Schématisation du cycle de vie d'un bâtiment (adapté d'après présentation power point non diffusée du CSTB Formation, 2014) 9
Figure 2 : Schématisation des grandes étapes d'un projet de conception d'un bâtiment (adapté de Laëtitia Arantes, 2014) 10
Figure 3: Schématisation des grandes étapes de la conception d'un bâtiment 13
Figure 4 : Capacité d'action et niveau de connaissance d'un projet au cours de la conception (adapté de Laaroussi, 2007, d'après les travaux de Christophe Midler (Midler, 1993) cité dans Arantes, 2014) 14
Figure 5 : Répartition des outils analysés selon leur langue de développement 17
Figure 6 : Répartition chronologie des outils analysés 18
Figure 7 : Répartition des outils du corpus selon leur nature 19
Figure 8 : Choix de recherche disponibles dans Eco-mod 22
Figure 9 : Fenêtre de création d'une paroi dans PLEIADES 26
Figure 10 : Les cibles de la démarche HQE 28
Figure 11 : Capture d'écran de la matrice Excel, interface principale de la première version de SOCRATE 32
Figure 12 : Capture d'écran de la fenêtre pop-up qui donne une appréciation experte plus précise .. 34
Figure 13 : Capture d'écran de la boite de dialogue où la valeur de l'impact doit être renseignée sur une échelle de 1 à 4 35
Figure 14 : Fenêtre de justification à remplir en mode Capitalisation 35
Figure 15 : Pourcentage d'étudiants qui trouvent que SOCRATE a une valeur ajoutée 36
Figure 16 : Pourcentage d'étudiants qui utiliseraient quotidiennement SOCRATE 36
Figure 17 37
Figure 18 : Ecran d'accueil de SOCRATE 2.0 37
Figure 19 : Capture d'écran du commencement de la partie recherche dans SOCRATE 38
Figure 20 : Capture d'écran de la sortie graphique principale de SOCRATE 40
Figure 21 : Capture d'écran de la décomposition du pilier Matériaux et produit de construction 40
Figure 22 : Décomposition du macro-lot "Gros œuvre" 41
Figure 23 : Les 6 piliers de la conception architecturale dans SOCRATE 42
Figure 24 : Exemple des contributions du lot "Gros-Œuvre" sur les différents indicateurs de performance 42
Figure 25 : Fenêtre "Pour en savoir plus" dans SOCRATE 2.0 43
Figure 26 : Schéma conceptuel sur le processus de capitalisation de SOCRATE durant mon stage 44
Figure 27 : Différence de surface déperditive pour un même volume mais pour des formes de bâtiments différentes. Vues en plan 45
Figure 28 : Exemple de l'affichage d'appréciations experts dans Eco.mod 47
Figure 29 : Un des tableaux illustrant le résultat des simulations du projet HQE Performance 49
Figure 30 : Aperçu du contenu d'un projet issu de la simulation d'un bâtiment sous le logiciel ELODIE 50
Figure 31 : Définition d'un indicateur dans SOCRATE 55

Figure 32 : Exemple de sortie graphique qui pourrait être améliorée en diversifiant les couleurs pour plus de lisibilité 55
Figure 33 : Environnement principal d'ELODIE 65
Figure 34 : Le graphique radar : l'une des sorties graphiques d'ELODIE 65

Table des tableaux

Tableau 1: Besoins du concepteur pendant la phase esquisse 15
Tableau 2 : Critères descriptifs utilisés pour chaque outil de la synthèse bibliographique 16
Tableau 3: Outils non retenus dans le corpus final 17
Tableau 4 Répartition des outils étudiés en fonction des thématiques qu'ils abordent 19
Tableau 5 Points forts et faibles des outils de l'approche méthodologique générale 21
Tableau 6 : Points forts et faibles d'Eco-mod au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse 23
Tableau 7 Thématiques abordées par les 80% d'outils issus de "l'approche orientée" 24
Tableau 8 Points forts et faibles des outils à l'approche orientée au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse 25
Tableau 9 Points forts et faibles de Pléiades + Comfie au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse 26
Tableau 10 : Points forts et faibles des outils de certifications par rapport aux besoins de l'utilisateurs pendant la phase esquisse du projet 27
Tableau 11 Points forts et faibles de la démarche HQE au regard des besoins du concepteur lors de la phase esquisse 28
Tableau 12 : Appréciations expertes qui ont pu être complétées au cours de la phase de capitalisation 52

Annexes

Annexe 1 : Présentation d'ELODIE.....67

Annexe 2 : Liste des 101 outils retenus pour la synthèse bibliographique.....69

Annexe 3 : Aperçu de la grille de lecture et des outils étudiés.....73

Annexe 4 : Les 16 outils qui peuvent être regroupés sous l'approche méthodologique générale.....75

Annexe 5 : Les 82 outils de l'approche orientée.....76

Annexe 6 : Les 5 outils de l'approche référentiel et certification.....79

Annexe 7 : Les 40 indicateurs de performance.....80

Annexe 1 : Présentation d'ELODIE

Les informations suivantes sont directement issues du site : http://www.elodie-cstb.fr/

ELODIE est un logiciel collaboratif en ligne d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) développé par la division Environnement du CSTB de Grenoble depuis 2006. ELODIE s'intéresse au pilier environnemental du développement durable. Il permet de quantifier les impacts environnementaux : énergie primaire, émission de gaz à effet de serre, déchets générés, consommations d'eau sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments.

Voici l'environnement principal du logiciel et un type de sortie graphique :

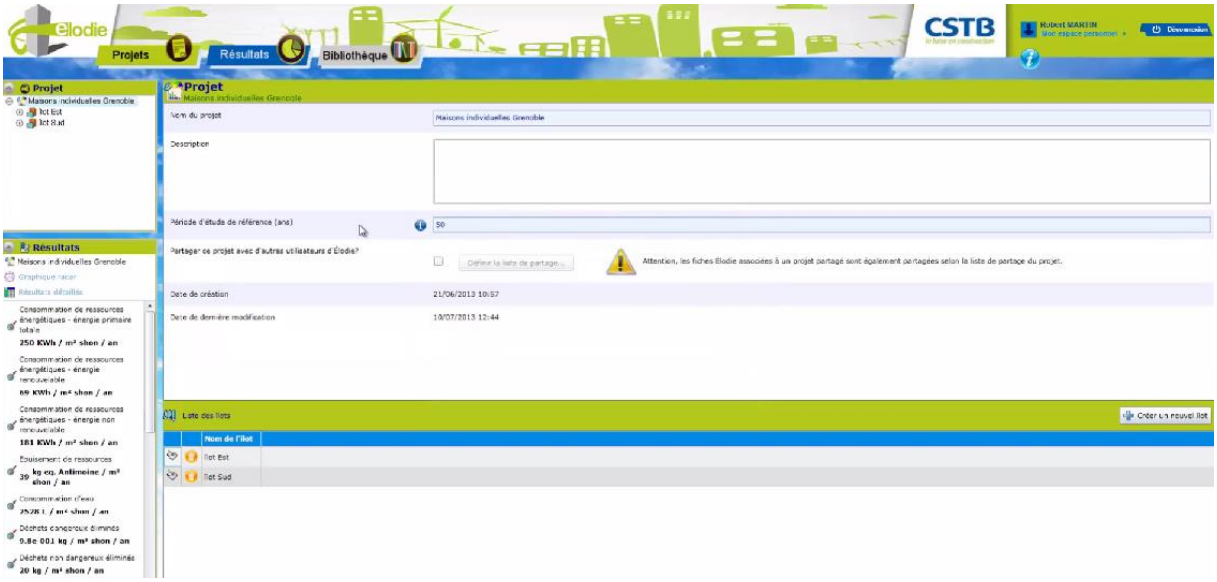


Figure 33 : Environnement principal d'ELODIE



Figure 34 : Le graphique radar : l'une des sorties graphiques d'ELODIE

ELODIE s’affirme aujourd’hui comme l’outil de référence pour l’ACV des bâtiments. Il permet d’étudier les performances environnementales des ouvrages de manière multicritère et dans le cadre d'une approche globale. Le logiciel permet d’objectiver les prises de décisions, d’éco-concevoir et d’évaluer les performances des bâtiments. ELODIE est en perpétuelle évolution, à termes il permettra d’étudier les éléments de conforts thermiques et acoustiques ainsi que le coût global du bâtiment.

ELODIE est utilisable par un grand nombre d’utilisateurs au profil différent :

Maîtres d'ouvrages : Le logiciel Elodie peut être utilisé comme un outil d'aide à la construction des appels d'offre (choix technologiques...) et à l'évaluation/comparaison des projets.

Architectes : Le logiciel Elodie peut être utilisé comme un outil d'aide à l'éco-conception de bâtiments. Plusieurs choix de variantes peuvent être comparés (à partir de résultats de calculs thermiques dynamiques ou règlementaires). Le concepteur dispose alors d'un outil d'aide à la décision pour éco-concevoir les yeux grand ouverts.

Bureaux d'étude : Le logiciel Elodie permet de dimensionner un ouvrage en intégrant les critères environnementaux et facilite la réponse aux appels d'offre dans le cadre de la démarche HQE.

Industriels : Le logiciel Elodie peut être utilisé comme un outil d'identification et d'évaluation des impacts des produits au cours de leur cycle de vie et dans l'ouvrage. Elodie permet ainsi de dégager des axes de progrès : amélioration des produits de construction, création des FDES...

Entreprises de BTP : Le logiciel Elodie peut être utilisé comme un outil d'évaluation des impacts environnement des chantiers de construction ou démolition (mise en œuvre, transport, installation de matériels, excavations des terres etc.)

Annexe 2 : Liste des 101 outils retenus pour la synthèse bibliographique

Outils	Sources
Abatia	http://www.abatia.fr/
Acoubat Sound	http://www.cstb.fr/dae/fr/nos-produits/logiciels/acoubat-sound.html
AcouS Propa®	http://gamba-logicielacoustique.fr/logiciel-acous-propa
AcouS STIFF®	http://gamba-logicielacoustique.fr/logiciel-acous-stiff
AcouSYS	http://www.cstb.fr/dae/fr/nos-produits/logiciels/acousys.html
Archelios Pro	http://www.archelios-pv.fr/
Archiwizard Esquisse	http://www.archiwizard.fr/fr
ATHENA - Environmental Impact Estimator	http://calculatelca.com/software/impact-estimator/overview/
Autocad	http://www.autodesk.fr/products/autodesk-autocad/features/all/gallery-view
ClimaWin	http://www.bbs-slama.com/espaceclient/produits/climawin/
EcoDiag	
DiagDPE	http://www.bbs-slama.com/espacedecouverte/produits/diagdpe/
Physalis	http://www.bbs-slama.com/espacedecouverte/produits/physalis/
Transol 3.0	http://boutique.cstb.fr/fr/transol-3-0.html
BDM (Bénéfices Durables Méditerranée)	http://polebdm.eu/
BDPV - Base de données Sites Photovoltaïques	http://www.bdpv.fr/index.php
Be Global	http://www.be-global.be/
BEES	http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm
BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)	http://www.pwc.lu/en/sustainability/docs/pwc-certification-breeam.pdf
Carnaval	http://www.sober-software.com/fr/produits/carnaval.html
CALSOL	http://ines.solaire.free.fr/
CASSSC	http://www.incub.net/spip.php?article29
CLEAR (Comfort and Low Energy ARchitecture)	http://new-learn.info/packages/clear/index.html
Cocon	http://www.eosphere.fr/COCON-comparaison-solutions-constructives-confort.html
Dayligth 1-2-3	http://wwe12.bchydro.com/businessevents/forum/wp-content/uploads/presentations/ashrae/ASHRAE%20Workshop%202-4-Daylight%20123.pdf http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/realisations/saillants/2007/distribution_autonomie_eclairage.html
DAYSIM	http://daysim.ning.com/
DescWord	http://www.batiweb.com/produits_btp/logiciel-pour-la-maitrise-doeuvre-descword-264251.html http://www.ajsoft.fr/descword.html
Design Builder	http://www.designbuilder.co.uk/ http://www.designbuilder.co.uk/documents/DesignBuilder-flyer-v1a.pdf
DIAL+ - Module "Cooling"	http://www.estia.ch/index.php?id=248

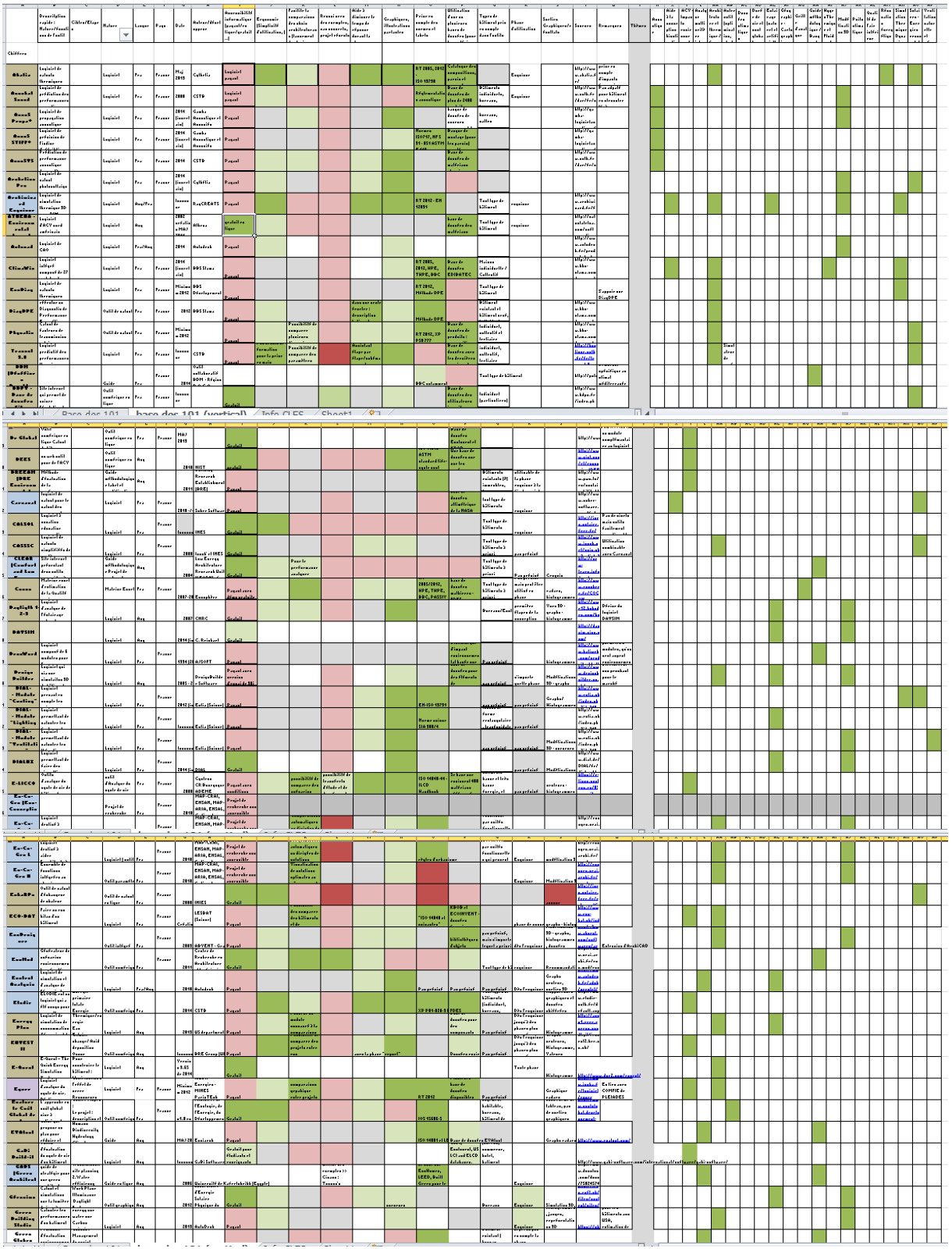
DIAL+ - Module "Lighting"	http://www.estia.ch/index.php?id=248
DIAL+ - Module "Ventilation"	http://www.estia.ch/index.php?id=248
DIALUX	http://www.dial.de/DIAL/fr/dialux.html
E-LICCO	https://e-licco.cycleco.eu/#!accueil
Ec-Co-Gen (Eco-Conception Générative)	http://eccogen.crai.archi.fr/wordpress/resultats/ec-co-gen-n/
Ec-Co-Gen L	http://eccogen.crai.archi.fr/wordpress/resultats/ec-co-gen-l/
Ec-Co-Gen N	http://eccogen.crai.archi.fr/wordpress/resultats/ec-co-gen-n/
EchaRPs	http://ines.solaire.free.fr/echarps/Calcul_echangeur_simplifie.htm
ECO-BAT	http://www.eco-bat.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=64&Itemid=61
EcoDesigner	http://www.abvent.com/softwares/archicad/
EcoMod	http://www.crai.archi.fr/eco.mod/eco.mod/InfoEco.Mod.html
Ecotect Analysis	http://www.autodesk.fr/adsk/servlet/pc/index?siteID=458335&id=15062033
Elodie	http://www.elodie-cstb.fr/default.aspx
Energy Plus	http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm
ENVEST II	http://envest2.bre.co.uk/ http://www.bfafh.de/inst4/45/ppt/2envest.pdf
E-Quest	http://www.doe2.com/equest/
Equer	http://www.izuba.fr/logiciel/equer
Évaluer le Coût Global de la construction	http://www.coutglobal.developpement-durable.gouv.fr/
EVAtool	http://www.evatool.com/
GaBi Build-it	http://www.gabi-software.com/international/software/gabi-software/
GADS (Green Architecture Design Strategies)	http://www.docstoc.com/docs/75024574/Culturally-Accepted-Green-Architecture-Toolbox---Pre-design---DDSS http://alexandria.tue.nl/extra2/200611880.pdf
Géronimo	http://leso.epfl.ch/files/content/sites/leso/files/download/diverse/Geronimo_Manual_V2.0.pdf
Green Building Studio	https://gbs.autodesk.com/GBS/
Green Globes Design	http://www.greenglobes.com/home.asp
Grille ECOPASS	http://www.energieinstitut.at/HP/Upload/Dateien/OeWB_2007_Ecopass_du_Vorarlberg_2007-10.pdf
Guide des Bonnes Pratiques	http://www.cinov.fr/uploads/media_items/guide-des-bonnes-pratiques.original.pdf
HEED (Home Energy Efficient Design)	http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/ http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/pdfs/HEED%20WORKSHOPS%20CALIFORNIA%202010.pdf
HQE	http://assohqe.org/hqe/IMG/pdf/fiche_Demarche_HQE.pdf
IES VE-Ware	http://www.iesve.com/
IMPACT (Integrated Material Profile and Costing Tool)	http://www.impactwba.com/index.jsp

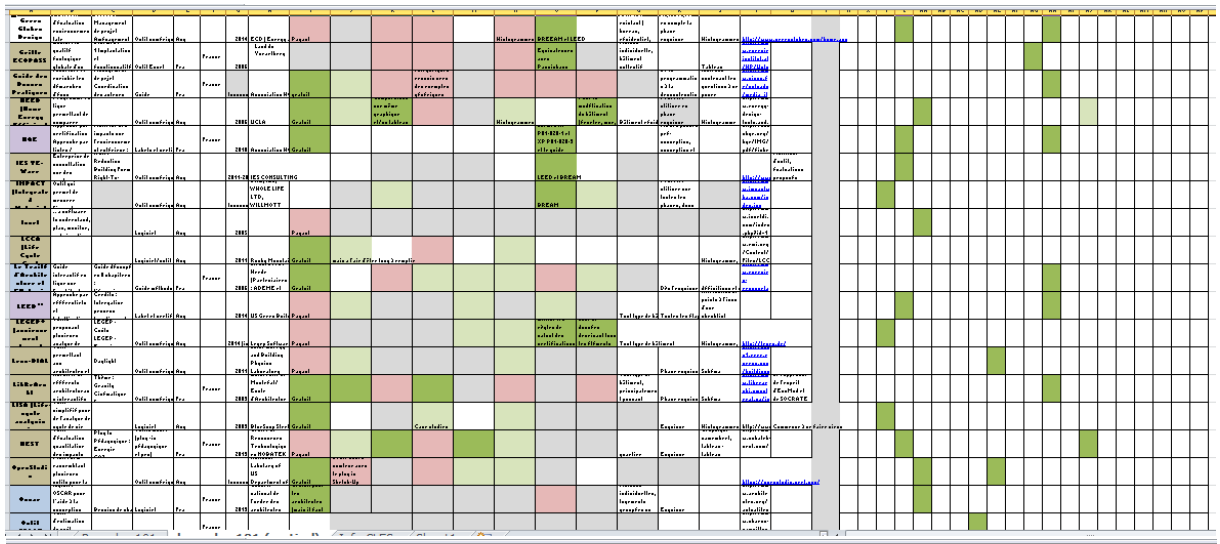
Insel	http://www.inseldi.com/index.php?id=138&L=1
LCCA (Life Cycle Cost Analysis for integrative design)	http://www.rmi.org/Content/Files/LCCAiduserguide.pdf
Le Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatique	http://www.energies-renouvelables.org/observ-er/learnet/learnet/accueil.asp
LEED™	http://www.usgbc.org/leed
LEGEP® (anciennement Legoe)	http://legep.de/
Leso-DIAL	http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=250/pagename=alpha_list_sub
LibReArchI	http://www.librearchi.umontreal.ca/index.php
LISA (Life-cycle analysis in Sustainable Architecture)	http://www.lisa.au.com/screenshots.html
NEST	http://www.nobatek-nest.com/ http://www.nobatek-nest.com/file/pro/NEST-pro_plaquette.pdf
OpenStudio	https://openstudio.nrel.gov/
Oscar	http://www.architectes.org/actualites/le-cnoa-lance-oscar-logiciel-d2019aide-a-la-conception-thermique-pour-les-architectes/ http://www.batiactu.com/edito/oscar-un-logiciel-d-aide-a-la-conception-thermique-35251.php
Outil CR&ON	http://www.charon-rampillon.com/des-objectifs.php
Outil Solaire Thermique de TECSOL	http://www.tecsol.fr/
PAPOOSE	http://www.tribu-concevoirdurable.fr/baby-papoose-interactif/baby-papoose-interactif.html
Plateforme de prise en compte de la durée de vie dans le bâtiment	http://www.eva-perfs.fr/
Pleiades+Comfie	http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie
Polysun	http://www.velasolaris.com/francais/produit/le-logiciel.html http://www.velasolaris.com/files/general_fr_dig.pdf
Eco-Profil	http://meurthe.crai.archi.fr/wordpressFr/wp-content/plugins/Lab_BD/media/pdf/TheseCharlineWeissenstein.pdf
PVAnalysis	http://forum-photovoltaique.fr/viewtopic.php?t=8632
PV Geographical Information System / PV Potential Estimation Utility	http://sunbird.jrc.it/pvgis/
PVSYS	http://www.pvsyst.com/fr/
RÉGIME - Réduire l'Énergie Grise et l'Impact des Matériaux sur l'Environnement	http://www.ale-lyon.org/le-centre-de-ressources/outils-calculateurs-tableaux/calculateur-regime.html
RELUX Pro Suite	http://www.relux.biz/index.php?lang=fr
RETSCREEN	http://www.retscreen.net/fr/home.php
SACE - Solar Air Conditioning in Europe	http://www.solair-project.eu/218.0.html http://www.solair-project.eu/uploads/media/SolarCoolingLight-User-Guidelines.pdf

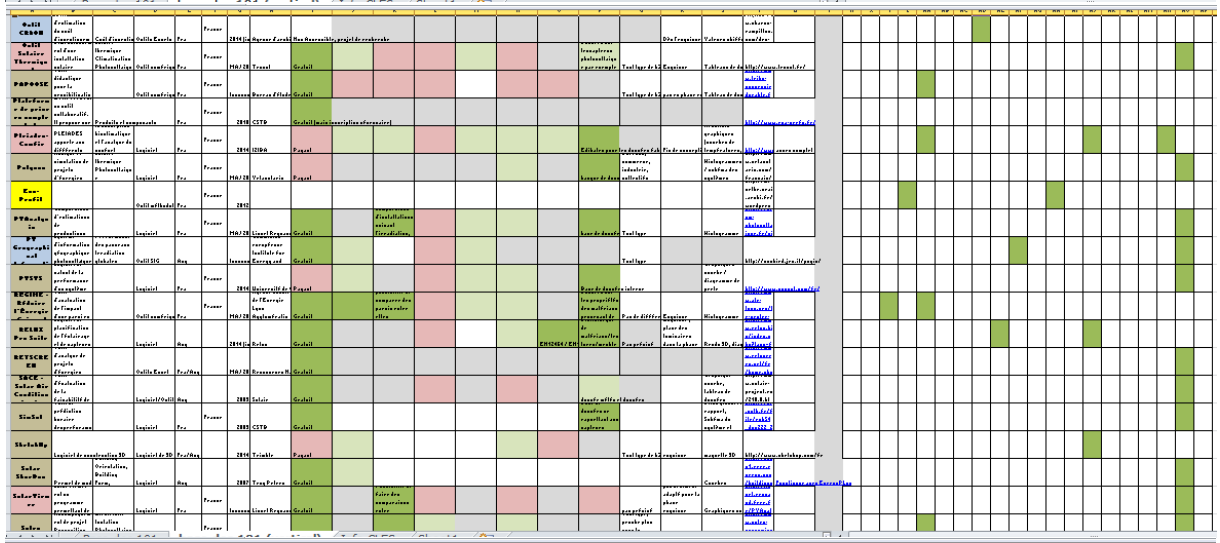
SimSol	http://enr.cstb.fr/file/rub54_doc222_2.pdf http://enr.cstb.fr/webzine/preview.asp?id_une=222
SketchUp	http://www.sketchup.com/fr
Solar ShoeBox	http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=515/pagename_submenu=energy_simulation/pagename_menu=whole_building_analysis/pagename=subjects http://www.solarshoebox.com/help/Welcome.html
SolarViewer	http://lionel.reynaud.free.fr/PVAnalysis/Aide_SolarViewer.pdf
Solen	http://www.solen-economies-energie.fr/
SOLO	http://enr.cstb.fr/webzine/preview.asp?id_une=241
Table de Mahoney	http://univ-biskra.dz/enseignant/hamel/2014/TD%205%20Confort%20Thermique%2002.pdf
TEAM™ Bâtiment	http://ecobilan.pwc.fr/fr/boite-a-outils/team.jhtml
TechTouch	http://www.techtouch-by-technal.fr/ http://www.technal.fr/ecatalog/techtouch_by_technal_2010/index.html
Time To Innovate (Méthode Triz en ligne)	http://www.time-to-innovate.com/
Transol 3.1	http://boutique.cstb.fr/fr/transol-3-0.html
TRNSYS	http://www.trnsys.com/
Vasari	http://autodeskvasari.com/
Versus	Informations tirées de l'analyse faite par Lalaina à partir de ? (lui demander ses sources).
Ves40	http://enr.cstb.fr/file/rub54_doc161_2.pdf
VesTh	http://ines.solaire.free.fr/vesth/Calcul_vase_d_expansion.htm

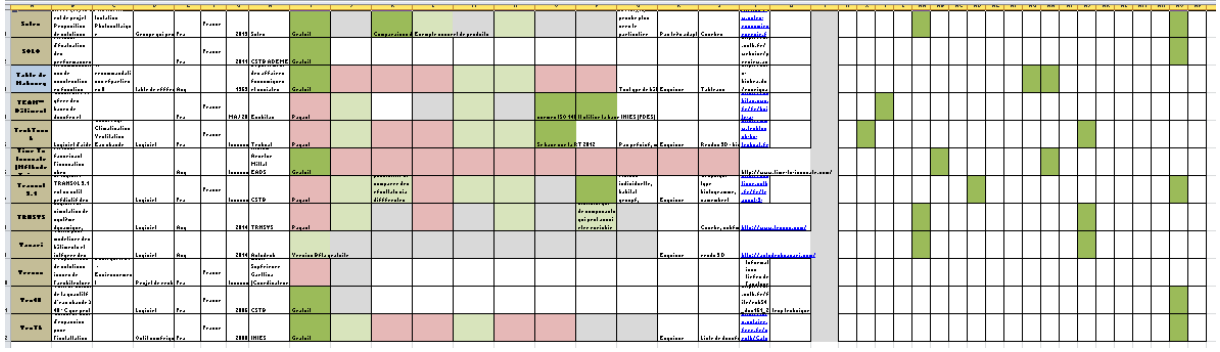
Figure 35 : Liste des outils utilisés pour la synthèse bibliographique

Annexe 3 : Aperçu de la grille de lecture et des outils étudiés









Annexe 4 : Les 16 outils qui peuvent être regroupés sous l'approche méthodologique générale

Outils	Sources
BDM (Bénéfices Durables Méditerranée)	http://polebdm.eu/
BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)	http://www.pwc.lu/en/sustainability/docs/pwc-certification-breeam.pdf
CLEAR (Comfort and Low Energy ARchitecture)	http://new-learn.info/packages/clear/index.html
DescWord	http://www.batiweb.com/produits_btp/logiciel-pour-la-maitrise-doeuvre-descword-264251.html http://www.ajsoft.fr/descword.html
EcoMod	http://www.crai.archi.fr/eco.mod/eco.mod/InfoEco.Mod.html
EVAtool	http://www.evatool.com/
GADS (Green Architecture Design Strategies)	http://alexandria.tue.nl/extra2/200611880.pdf
Green Globes Design	http://www.greenglobes.com/home.asp
Guide des Bonnes Pratiques	http://www.cinov.fr/uploads/media_items/guide-des-bonnes-pratiques.original.pdf
HQE	http://assohqe.org/hqe/IMG/pdf/fiche_Demarche_HQE.pdf http://assohqe.org/hqe/IMG/pdf/DP_HQE.pdf
Le Traité d'Architecture et d'Urbanisme Bioclimatique	http://www.energies-renouvelables.org/observer/learnet/learnet/accueil.asp
LEED™	http://www.usgbc.org/leed
LibReArchI	http://www.librearchi.umontreal.ca/index.php
NEST	http://www.nobatek-nest.com/ http://www.nobatek-nest.com/file/pro/NEST-pro_plaquette.pdf
Eco-Profil	http://meurthe.crai.archi.fr/wordpressFr/wp-content/plugins/Lab_BD/media/pdf/TheseCharlineWeissenstein.pdf
Table de Mahoney	http://univ-biskra.dz/enseignant/hamel/2014/TD%205%20Confort%20Thermique%2002.pdf

Annexe 5 : Les 82 outils de l'approche orientée

Outils	Sources
Abatia	http://www.abatia.fr/
Acoubat Sound	http://www.cstb.fr/dae/fr/nos-produits/logiciels/acoubat-sound.html
AcouS Propa®	http://gamba-logicielacoustique.fr/logiciel-acous-propa
AcouS STIFF®	http://gamba-logicielacoustique.fr/logiciel-acous-stiff
AcouSYS	http://www.cstb.fr/dae/fr/nos-produits/logiciels/acousys.html
Archelios Pro	http://www.archelios-pv.fr/
Archiwizard Esquisse	http://www.archiwizard.fr/fr
ATHENA - Environmental Impact Estimator	http://calculatelca.com/software/impact-estimator/overview/
Autocad	http://www.autodesk.fr/products/autodesk-autocad/features/all/gallery-view
ClimaWin	http://www.bbs-slama.com/espaceclient/produits/climawin/
EcoDiag	http://www.bbs-developpement.com/produits/ecodiag/
DiagDPE	http://www.bbs-slama.com/espacedecouverte/produits/diagdpe/
Physalis	http://www.bbs-slama.com/espacedecouverte/produits/physalis/
Transol 3.0	http://www.dailymotion.com/video/xe6iic_9mn-pour-decouvrir-transol-3-0_tech
BDPV - Base de données Sites Photovoltaïques	http://www.bdpv.fr/index.php
Be Global	http://www.be-global.be/
BEES	http://www.nist.gov/el/economics/BEESSoftware.cfm
Carnaval	http://www.sober-software.com/fr/produits/carnaval.html
CALSOL	http://ines.solaire.free.fr/
CASSSC	http://www.incub.net/spip.php?article29
Cocon	http://www.eosphere.fr/COCON-comparaison-solutions-constructives-confort.html
Dayligth 1-2-3	http://wwe12.bchydro.com/businessevents/forum/wp-content/uploads/presentations/ashrae/ASHRAE%20Workshop%202-4-Daylight%20123.pdf http://www.nrc-cnrc.gc.ca/fra/realisations/saillants/2007/distribution_autonomie_eclairage.html
DAYSIM	http://daysim.ning.com/
DescWord	http://www.batiweb.com/produits_btp/logiciel-pour-la-maitrise-doeuvre-descword-264251.html http://www.ajsoft.fr/descword.html
Design Builder	http://www.designbuilder.co.uk/ http://www.designbuilder.co.uk/documents/DesignBuilder-flyer-v1a.pdf
DIAL+ - Module "Cooling"	http://www.estia.ch/index.php?id=248
DIAL+ - Module "Lighting"	http://www.estia.ch/index.php?id=248
DIAL+ - Module "Ventilation"	http://www.estia.ch/index.php?id=248
DIALUX	http://www.dial.de/DIAL/fr/dialux.html
E-LICCO	https://e-licco.cycleco.eu/#!accueil
Ec-Co-Gen L	http://eccogen.crai.archi.fr/wordpress/resultats/ec-co-gen-l/

Ec-Co-Gen N	http://eccogen.crai.archi.fr/wordpress/resultats/ec-co-gen-n/
EchaRPs	http://ines.solaire.free.fr/echarps/Calcul_echangeur_simplifie.htm
ECO-BAT	http://www.eco-bat.ch/index.php?option=com_content&view=article&id=64&Itemid=61
EcoDesigner	http://www.abvent.com/softwares/archicad/
Ecotect Analysis	http://www.autodesk.fr/adsk/servlet/pc/index?siteID=458335&id=15062033
Elodie	http://www.elodie-cstb.fr/default.aspx
Energy Plus	http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm
ENVEST II	http://envest2.bre.co.uk/ http://www.bfafh.de/inst4/45/ppt/2envest.pdf
E-Quest	http://www.doe2.com/equest/
Equer	http://www.izuba.fr/logiciel/equer
Évaluer le Coût Global de la construction	http://www.coutglobal.developpement-durable.gouv.fr/
GaBi Build-it	http://www.gabi-software.com/international/software/gabi-software/
Géronimo	http://leso.epfl.ch/files/content/sites/leso/files/download/diverse/Geronimo_Manual_V2.0.pdf
Green Building Studio	https://gbs.autodesk.com/GBS/
Grille ECOPASS	http://www.energieinstitut.at/HP/Upload/Dateien/OeWB_2007_Ecopass_du_Vorarlberg_2007-10.pdf
HEED (Home Energy Efficient Design)	http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/ http://www.energy-design-tools.aud.ucla.edu/heed/pdfs/HEED%20WORKSHOPS%20CALIFORNIA%202010.pdf
IES VE-Ware	http://www.iesve.com/
IMPACT (Integrated Material Profile and Costing Tool)	http://www.impactwba.com/index.jsp
Insel	http://www.inseldi.com/index.php?id=138&L=1
LCCA (Life Cycle Cost Analysis for integrative design)	http://www.rmi.org/Content/Files/LCCAiduserguide.pdf
LEGEP® (anciennement Legoe)	http://legep.de/
Leso-DIAL	http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=250/pagename=alpha_list_sub
LISA (Life-cycle analysis in Sustainable Architecture)	http://www.lisa.au.com/screenshots.html
OpenStudio	https://openstudio.nrel.gov/
Oscar	http://www.architectes.org/actualites/le-cnoa-lance-oscar-logiciel-d2019aide-a-la-conception-thermique-pour-les-architectes/ http://www.batiactu.com/edito/oscar-un-logiciel-d-aide-a-la-conception-thermique-35251.php
Outil CR&ON	http://www.charon-rampillon.com/des-objectifs.php
Outil Solaire Thermique de TECSOL	http://www.tecsol.fr/
PAPOOSE	http://www.tribu-concevoirdurable.fr/baby-papoose-interactif/baby-papoose-interactif.html
Plateforme de prise en compte de la durée de vie dans le bâtiment	http://www.eva-perfs.fr/
Pleiades+Comfie	http://www.izuba.fr/logiciel/pleiadescomfie

Polysun	http://www.velasolaris.com/francais/produit/le-logiciel.html http://www.velasolaris.com/files/general_fr_dig.pdf
PVAnalysis	http://forum-photovoltaique.fr/viewtopic.php?t=8632
PV Geographical Information System / PV Potential Estimation Utility	http://sunbird.jrc.it/pvgis/
PVSYS	http://www.pvsyst.com/fr/
RÉGIME - Réduire l'Énergie Grise et l'Impact des Matériaux sur l'Environnement	http://www.ale-lyon.org/le-centre-de-ressources/outils-calculateurs-tableaux/calculateur-regime.html
RELUX Pro Suite	http://www.relux.biz/index.php?lang=fr
RETSCREEN	http://www.retscreen.net/fr/home.php
SACE - Solar Air Conditioning in Europe	http://www.solair-project.eu/218.0.html http://www.solair-project.eu/uploads/media/SolarCoolingLight-User-Guidelines.pdf
SimSol	http://enr.cstb.fr/file/rub54_doc222_2.pdf http://enr.cstb.fr/webzine/preview.asp?id_une=222
SketchUp	http://www.sketchup.com/fr
Solar ShoeBox	http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=515/pagename_submenu=energy_simulation/pagename_menu=whole_building_analysis/pagename=subjects http://www.solarshoebox.com/help/Welcome.html
SolarViewer	http://lionel.reynaud.free.fr/PVAnalysis/Aide_SolarViewer.pdf
SOLO	http://enr.cstb.fr/webzine/preview.asp?id_une=241
TEAM™ Bâtiment	http://ecobilan.pwc.fr/fr/boite-a-outils/team.jhtml
TechTouch	http://www.techtouch-by-technal.fr/ http://www.technal.fr/ecatalog/techtouch_by_technal_2010/index.html
Time To Innovate (Méthode Triz en ligne)	http://www.time-to-innovate.com/
Transol 3.1	http://boutique.cstb.fr/fr/transol-3-0.html
TRNSYS	http://www.trnsys.com/
Vasari	http://autodeskvasari.com/
Ves40	http://enr.cstb.fr/file/rub54_doc161_2.pdf
VesTh	http://ines.solaire.free.fr/vesth/Calcul_vase_d_expansion.htm

Annexe 6 : Les 5 outils de l'approche référentiel et certification

Outils	Sources
BDM (Bénéfices Durables Méditerranée)	http://polebdm.eu/
BREEAM (BRE Environmental Assessment Method)	http://www.pwc.lu/en/sustainability/docs/pwc-certification-breeam.pdf
HQE	http://assohqe.org/hqe/IMG/pdf/fiche_Demarche_HQE.pdf
LEED™	http://www.usgbc.org/leed
DGNB	http://www.dgnb.de/en/

Annexe 7 : Les 40 indicateurs de performance

PERFORMANCES ENERGETIQUES PENDANT LA VIE EN ŒUVRE DU BÂTIMENT

Consommation d'énergie primaire totale en exploitation
Consommation d'énergie primaire renouvelable
Bbio

ENVIRONNEMENT (IMPACTS GLOBAUX)

Consommation d'énergie primaire non renouvelable
Consommation d'eau totale
Épuisement des ressources
Changement climatique
Déchets (inertes et non dangereux

ENVIRONNEMENT (IMPACTS LOCAUX)

Contribution à la biodiversité
Imperméabilisation des sols
Autres performances environnementales

SANTE

Qualité de l'air intérieur
Taux de renouvellement d'air
Radon
Qualité de l'eau
Autres impacts sur la santé

CONFORT

Confort hygrothermique hivernal
Confort hygrothermique estival
Confort acoustique
Confort visuel
Confort olfactif

DURABILITE

Durée de vie
Robustesse à la mise en œuvre
Maintien des performances
Maintenabilité

SECURITE

Sécurité incendie
Stabilité mécanique
Autre

ECONOMIE

Coût global
Coût initial
Coût de fonctionnement et d'exploitation
Coût de démantèlement et de recyclage

QUALITES D'USAGES

Accessibilité du bâtiment et des locaux
Nuisances générées par le chantier
Facilité de chantier (accessibilité, manutention, etc.)
Protection contre l'intrusion
Impacts architecturaux
Evolutivité des locaux

IMPACTS URBAINS

Consommation de foncier
Impacts sur l'aménagement urbain
Îlot de chaleur urbain