

Gible

CIBLE : CAHIER DES PRESCRIPTIONS

Vers le futur moteur de calcul pour l'évaluation de la
performance environnementale des bâtiments

RAPPORT FINAL

Novembre
2024

REMERCIEMENTS

Contributions :

Rachel CHERMAIN (Alliance HQE-GBC)

Baptiste FOURNIER (CSTB)

Marie GRACIA (Collectif Effinergie)

Gwenn LE SEAC'H (Alliance HQE-GBC)

Emilien PARON (CSTB)

Juliette ROCCA (Alliance HQE-GBC)

Angélique SAGE (Collectif Effinergie)

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

ADEME

20, avenue du Grésillé

BP 90 406 | 49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 2204D0019

Étude réalisée et cofinancée par le CSTB, le Collectif Effinergie et l'Alliance HQE-GBC pour ce projet cofinancé par l'ADEME

Projet de recherche coordonné par : CSTB (Emilien PARON)

Appel à projet de recherche : 2021 – Axe 2 « Caractérisation et modélisation des impacts environnementaux et du confort des bâtiments »

Coordination technique - ADEME : SCHOEFFTER Marc

Direction/Service : Villes et territoires Durables / Bâtiment

SOMMAIRE

RESUME.....	6
ABSTRACT.....	7
1. CONTEXTE DU PROJET	8
1.1. Des outils à renouveler	8
1.1.1. Des codes en fin de vie.....	8
1.1.2. De nouveaux enjeux.....	9
1.1.3. Une hétérogénéité des outils et des méthodes	9
1.1.4. Des usages hors cadre réglementaire	10
1.1.5. Besoin de transparence et facilité de contributions	10
1.2. Un premier objectif face aux constats.....	11
2. METHODOLOGIE.....	12
2.1. Besoin de co-construire avec les acteurs.....	12
2.1.1. Les entretiens.....	13
2.1.2. Questionnaire en ligne	14
2.1.3. Les ateliers	14
A – CONSTRUCTION DU CAHIER DES CHARGES	15
3. RECUEIL DES BESOINS - BILAN / PRINCIPAUX RESULTATS OBTENUS	15
3.1. Les pratiques actuelles des outils d'éco-conception.....	15
3.1.1. Pratique des outils en projets neufs	16
3.1.2. Pratique des outils en rénovation	17
3.1.3. Pratique des outils en exploitation	17
3.1.4. Synthèse	18
3.2. Les attentes et besoins vis-à-vis du futur moteur national de simulation pour l'éco-conception du bâtiment	19
3.2.1. Périmètre de l'outil : thématiques, échelles de travail et indicateurs	19
3.2.1.1. Périmètre thématique	19
3.2.1.2. Échelle de travail	30
3.2.1.3. Indicateurs	33
3.2.2. Fonctionnalités de l'outil.....	34
3.2.3. Pilotage, gouvernance et modèle économique	45
3.2.3.1. Modalités de gouvernance	45
3.2.3.2. Modèle économique	46
3.2.4. Temporalité et déploiement	47
3.3. Réactions au produit minimum viable proposé.....	48
3.3.1. Convergence Neuf / Existant.....	48
3.3.2. Convergence Énergie / ACV / Confort d'été.....	50
3.3.3. Convergence Réglementaire / Conception	50
3.3.4. Cœur de calcul transparent, voire open source.....	51
3.4. Cas d'usage	52
4. CAHIER DES CHARGES - RECOMMANDATIONS	53

4.1. Cahier des charges détaillé	53
4.1.1. Un même moteur pour le neuf et l'existant	53
4.1.2. Périmètre thématique.....	53
4.1.3. Echelle de travail	54
4.1.4. Indicateurs.....	54
4.1.6. Fonctionnalités.....	55
4.1.7. Gouvernance	55
4.1.8. Modèle économique	56
4.2. Vue synthétique du cahier des charges	57
B - CAHIER DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES	58
5. METHODOLOGIE : LA TRADUCTION DU BESOIN EN CAHIER DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES.....	58
6. PRESCRIPTIONS TECHNIQUES PRINCIPALES.....	58
6.1. Un moteur modulaire évolutif et transformable selon les usages	58
6.1.1. Préambule	59
6.1.2. COLIBRI : concept général et définitions.....	60
6.1.3. Architecture du code COLIBRI : descriptions avancées.....	62
6.1.4. La création d'un modèle de donnée d'entrée générique	69
6.2. Un langage de programmation propice à la collaboration.....	72
6.3. Schéma Colibri	73
6.4. Une gouvernance et une diffusion centrée sur l'open-source	75
6.4.1. Rappels sur l'open source, le logiciel libre et les licences	75
6.4.2. Quels enjeux de gouvernance pour Colibri?	76
6.4.3. Un cœur réglementaire ouvert aux contributions, mais sous contrôle du comité stratégique et de l'Etat. 76	
6.4.4. Construction d'une communauté	76
6.4.5. Quelle forge ? La plateforme de code et diffusion	77
7. VALIDATION FAISABILITE TECHNIQUE AVEC LA PROOF-OF-CONCEPT (POC)	78
8. ADEQUATION AVEC LE CAHIER DES CHARGES	79
8.1. Respect des thématiques	79
8.2. Respect des fonctionnalités	80
8.3. Adéquation BIM.....	81
8.4. Compatibilité avec les normes européennes.....	84
8.5. Compatibilité avec CAP2030	86
8.6. Compatibilité avec les cas d'usage	87
8.6.1. Cas d'usage : Conception et Dimensionnement [Bureaux d'étude, MOE]	88
8.6.2. Cas d'usage : Définir le moteur de calcul pour du calcul réglementaire [Pouvoirs publics]	89
8.6.3. Cas d'usage : Diagnostic, Audit et Vérification de conformité réglementaire [Bureaux d'étude et Diagnostiqueurs]	90
8.6.4. Cas d'usage : Estimation amont de conformité réglementaire ou aux labels [Architectes et Maîtrises d'ouvrage]	91
8.6.5. Cas d'usage : Garantie de performance et suivi d'exploitation [Occupants Propriétaires Exploitants Bureaux d'étude]	92
8.6.6. Cas d'usage : Modéliser un système innovant dans le moteur de calcul ou Proposer une amélioration de modèle [Industriel Chercheur]	92
8.6.7. Cas d'usage : Contrôles de conformité réglementaire - label / certification [Bureau de contrôle Certificateur]	93

8.6.8. Cas d'usage : Développer une interface et distribuer le moteur de calcul dans un logiciel commercial [Editeurs de logiciel]	93
8.7. Compatibilité avec la rénovation	94
CONCLUSION / PERSPECTIVES	96
9. ANNEXE : GRILLE D'ENTRETIEN	97
10. ANNEXE : SCHEMA DE CALCUL COLIBRI	99
INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES	102
SIGLES ET ACRONYMES	103

Résumé

Depuis 1974, des réglementations encadrent la consommation énergétique des bâtiments, avec en 2022 l'intégration d'indicateurs sur l'impact climatique dans la RE2020. Les outils et moteurs de calcul actuels sont souvent désuets ou incomplets, et ne répondent plus aux défis contemporains. Le projet CIBLE a permis de définir les prescriptions pour un outil d'éco-conception du bâtiment national, de référence, pour accompagner l'ensemble des acteurs du bâtiment sur les 15 ans qui suivront sa mise en service, soutenant tous les acteurs du bâtiment dans leurs besoins et usages de la simulation (réglementaire ou non).

Le CSTB, fort de son expérience en moteurs de calcul et d'évaluation de la performance du bâtiment, a coordonné le projet CIBLE en collaboration avec divers acteurs du secteur (pouvoirs publics, architectes, industriels, etc.), à travers une démarche collaborative. Ce cahier des prescriptions pour le futur moteur a été créé avec la contribution de ces acteurs, notamment via les réseaux de l'Alliance HQE – GBC et d'Effinergie, partenaires du projet.

Ainsi, le cahier des prescriptions détaillé, reflète les besoins et idées de tous les participants et participantes transcrites dans le cahier des charges, avec des prescriptions techniques pour y répondre. Ce cahier des prescriptions couvre des aspects scientifiques, techniques, organisationnels et de diffusion, assurant l'interopérabilité, l'efficacité et la pérennité du moteur de demain, ainsi que sa transparence et appropriation par le plus grand nombre.

ABSTRACT

Since 1974, regulations have governed the energy consumption of buildings, with the integration of climate impact indicators in 2022 through RE2020. Current calculation tools and engines are often outdated or incomplete, failing to meet contemporary challenges. The CIBLE project aims to design a national simulation engine for the next 15 years, supporting all building sector stakeholders in their simulation needs (regulatory or otherwise).

The CSTB, leveraging its expertise in calculation engines and building performance evaluation, leads the CIBLE project, in collaboration with various sector stakeholders (public authorities, architects, industrialists, etc.), through a collaborative approach. The engine will be designed with contributions from these actors, especially through the networks of the Alliance HQE – GBC and Effinergie, partners in the project.

This collaborative process is essential for the success of this new engine. Since 1974, regulations have governed the energy consumption of buildings, with the integration of climate impact indicators in 2022 through RE2020. Current calculation tools and engines are often outdated or incomplete, failing to meet contemporary challenges. The CIBLE project defined requirements for a national simulation engine for the next 15 years, supporting all building sector stakeholders in their simulation needs (regulatory or otherwise).

The CSTB, leveraging its expertise in calculation engines and building performance evaluation, has led the CIBLE project in collaboration with various sector stakeholders (public authorities, architects, industrialists, etc.), through a collaborative approach. The requirements for this calculation engine were designed with contributions from these actors, especially through the networks of the Alliance HQE – GBC and Effinergie, partners in the project.

Thus, the detailed specifications reflect the needs and ideas of all the participants. This set of specifications will cover scientific, technical, organizational, and dissemination aspects, ensuring interoperability, efficiency, and longevity of the future engine, as well as its transparency and adoption by the widest audience., with technical prescriptions to respond to them. This set of specification covers scientific, technical, organizational and dissemination aspects, ensuring the interoperability, efficiency and sustainability of the future calculation engine, as well as its transparency and appropriation by the widest audience.

1. Contexte du projet

CIBLE : Cahier des prescriptions pour l'Innovation et la co-construction de l'outil de calcul de demain de l'impact du Bâtiment, Largement partagé et adapté à l'évaluation holistique de la performance Environnementale.

Les outils de simulation historiques qui ont accompagné les démarches réglementaires et de conception des 15 dernières années ne sont plus en mesure de répondre efficacement aux nouveaux enjeux (nouveaux indicateurs environnementaux) et aux nouveaux usages (conception multi-indicateurs, réglementation, garantie de performance...). Le projet CIBLE a pour objectif de définir les caractéristiques d'un moteur de simulation national de référence appelé COLIBRI (Cœur Libre des Bâtiments Résilients). Ce cœur de calcul sera intégré dans les futurs outils de conception et d'évaluation des bâtiments, offrant un soutien efficace à tous les acteurs de l'industrie du bâtiment au cours des 15 années suivant son déploiement.

Le projet CIBLE se veut fortement collaboratif. L'objectif est de prendre le temps de co-construire, avec les acteurs de la filière bâtiment, l'écosystème du futur moteur national de simulation pour l'éco-conception du bâtiment en remplacement des moteurs et méthodes actuelles. Ce projet est coordonné par le CSTB et mené en partenariat avec le Collectif Effinergie et l'Alliance HQE-GBC, et avec le soutien financier de l'ADEME.

Dans le cadre de ce projet, nous menons d'une part une étude des besoins en outils de modélisation des acteurs du bâtiment en termes de thématiques couvertes, fonctionnalités attendues, utilisations espérées. D'autre part, nous étudions comment traduire ce besoin en un cahier de prescriptions techniques pour guider la réalisation opérationnelle du moteur souhaité COLIBRI à l'issue du projet CIBLE.

Ce projet a donc pour finalité la réalisation du cahier des prescriptions détaillé, ainsi que la production d'éléments sur le modèle économique et la gouvernance du projet. Une partie du projet consiste également à tester les hypothèses du cahier des prescriptions dans une preuve de concept du code moteur. A l'issue du projet, les livrables permettront d'aborder les phases ultérieures du développement du moteur et des outils associés avec des éléments partagés et validés avec les acteurs du bâtiment.

Le présent livrable revient sur les raisons nécessitant de renouveler les moteurs et méthodes de calculs de la performance environnementale du bâtiment et présente les résultats de l'étude des besoins de modélisation en outils d'éco-conception du bâtiment menée auprès des acteurs du bâtiment, définissant ainsi le cahier des charges pour le futur moteur COLIBRI.

1.1. Des outils à renouveler

L'évaluation scientifique et technique du bâtiment s'est fortement accélérée ces 10 dernières années avec l'avènement réglementaire de l'analyse en cycle de vie pour le neuf et la multiplication des besoins des acteurs et de la société pour de nouveaux indicateurs de performance (carbone, économie circulaire, économie...), pour l'utilisation de la mesure (compteurs intelligents) ou des données de plus en plus disponibles pour fiabiliser le calcul, ou encore par la volonté d'étendre le périmètre d'évaluation au quartier ou à l'usager du bâtiment.

Toutes ces innovations et forces motrices ont démultiplié les éléments de méthode existants et la galaxie d'outils de calculs dédiés, et accéléré l'obsolescence des outils de références ou réglementaires historiques du début de la décennie précédente.

La nécessité de se lancer dans la réalisation d'un nouveau moteur de référence pour la simulation et l'évaluation de la performance environnementale du bâtiment découle de plusieurs constats et limites, autant méthodologiques que techniques. Ces constats, présentés ci-dessous en partie 1, sont le fruit de réflexion et d'atelier menés par le CSTB avant le projet CIBLE, fin 2021, où plusieurs représentants des acteurs de la filière ont été conviés : ministère (DHUP), ADEME, bureaux d'étude, éditeurs de logiciels, associations (Alliance HQE-GBC, Effinergie), institut de recherche, industriels et fédérations ou encore énergéticiens. Le projet CIBLE a été initié pour compléter et challenger les observations faites par le groupe de réflexion avec les opinions d'un public plus large et représentatif (résultat en partie 0 de ce document).

1.1.1. Des codes en fin de vie

Les cœurs de calculs utilisés aujourd'hui pour le calcul réglementaire, contrairement au bon vin, ne se bonifient pas avec le temps. La plupart d'entre eux ont en effet été mis en place il y a plus de 15 ans. En raison de l'obsolescence des langages utilisés, mais aussi des couches supplémentaires de développements mis en œuvre toutes ces années pour prendre en compte les dernières innovations réglementaires (la RE2020 étant la dernière en date), les algorithmes s'avèrent de plus en plus difficiles à maintenir dans un périmètre d'utilisation qui a fortement évolué.

Il est nécessaire d'anticiper le renouvellement de ces moteurs de calcul. COLIBRI est l'opportunité de remettre à plat l'architecture, le fonctionnement et le périmètre des prochains outils de calculs.

1.1.2. De nouveaux enjeux

Ce constat est renforcé par l'accélération des enjeux et indicateurs à prendre en compte ces prochaines années autour du bâtiment et au-delà. Initié par la RE2020 avec la prise en compte de l'Analyse en Cycle de Vie (ACV) en plus des consommations énergétiques et du confort, la volonté de prise en compte de nouveaux périmètres d'évaluations et d'indicateurs environnementaux (économie circulaire, biodiversité, économie, gestion de l'eau...) s'accélère aujourd'hui au travers des travaux du groupe RBR-T du plan bâtiment durable puis de l'initiative CAP2030 portée par le GIE visant à établir un cadre commun de référence au-delà de la RE2020. Au niveau européen, on observe également un besoin similaire d'évaluation multi-indicateurs, illustré par des initiatives telles que LEVEL(S).

Les outils et moteurs actuellement utilisés ne sont pas conçus pour intégrer et évaluer une grande variété de thématiques. Cela conduit souvent à l'utilisation successive de plusieurs outils (par exemple, le calcul énergétique avec COMETH suivi d'une modélisation additionnelle avec des outils d'Analyse du Cycle de Vie comme Elodie ou Nova-Equer). Cette approche complique les études pour les utilisateurs et génère des erreurs, comme des incohérences entre les données (telles que le niveau d'isolation et l'inertie des parois) fournies au moteur énergétique et celles fournies aux outils d'ACV (comme le type et la quantité d'isolants et de matériaux des murs). Elle entraîne également des surcoûts.

Développer un moteur de référence qui intègre naturellement plusieurs indicateurs et thématiques (et qui est idéalement conçu pour pouvoir en intégrer de nouveaux à l'avenir) à partir d'une même description bâimentaire fiabiliserait l'évaluation des performances et rendrait son utilisation plus aisée en comparaison avec les solutions actuelles.

1.1.3. Une hétérogénéité des outils et des méthodes

Bien que la RE2020 apporte des innovations sans précédent en Europe, comme l'analyse du cycle de vie dans la réglementation, ces avancées ne s'appliquent qu'aux bâtiments neufs, qui représentent seulement 1 % du parc immobilier chaque année. Pour les 99 % restants, c'est-à-dire le parc existant, les méthodes sont très variées et souvent obsolètes. L'évaluation de la rénovation des bâtiments existants se fait uniquement sur la thématique énergie, en utilisant une méthode et un moteur de calcul énergétique encore plus anciens (2008) que ceux utilisés pour les nouveaux bâtiments (2012). De plus, le diagnostic des bâtiments résidentiels existants repose sur une troisième méthode, la méthode DPE, qui a certes été mise à jour en juin 2021, mais qui s'appuie toujours sur les mêmes principes de ratio simplifié et de méthode mensuelle datant de plus de 30 ans.

L'utilisation de moteurs de calcul différents pour les bâtiments neufs et existants est fondée sur une mauvaise compréhension du rapport entre la précision des données d'entrée et celle des modèles. Les lois de la physique ne varient pas avec l'âge du bâtiment, ce qui implique que la différence de traitement entre bâtiments neufs et existants n'est pas justifiée sur le plan scientifique.

Pour les bâtiments neufs, des méthodes de calcul avancées sont employées, tirant partie de données d'entrée précises et facilement accessibles. En revanche, pour les bâtiments existants dont les données d'entrée sont moins accessibles, il a été observé une simplification non seulement des données d'entrées mais aussi des méthodes de calcul. Cette approche résulte en une double approximation - une simplification des données et une simplification des méthodes de calcul - alors qu'en réalité, seule la première serait nécessaire.

L'idée que la disponibilité limitée des données devrait entraîner une réduction de la précision des modèles de calcul est contestable. Il serait plus logique de maintenir des modèles de calcul précis, même si les données d'entrée sont moins détaillées ou plus difficiles à obtenir (et donc estimées au travers d'enrichisseurs), afin de garantir des évaluations énergétiques aussi précises que possible pour tous types de bâtiments.

L'utilisation d'un moteur de calcul unifié pour les bâtiments neufs et existants offre plusieurs avantages. Premièrement, elle garantit la cohérence des résultats de performance énergétique tout au long de la vie du bâtiment, étant donné qu'un bâtiment existant est simplement un bâtiment neuf ayant plus de deux ans. Deuxièmement, cela permet le partage d'indicateurs communs évalués sur les mêmes bases. Enfin, cette unification facilite l'atteinte des objectifs de la nouvelle Directive sur la Performance Énergétique des Bâtiments (EPBD), qui vise dans son article 12 à imposer aux bâtiments neufs comme existants une méthode de calcul au pas de temps horaire, complète, s'appuyant sur les normes européennes. Ce type de méthode de calcul étant aujourd'hui réservé en France aux bâtiments neufs (RT2012, RE2020). Comme nous le verrons, il a résulté des entretiens menés dans le cadre de CIBLE qu'il y a une forte volonté des acteurs de voir une homogénéisation des méthodes de calcul entre neuf et existant.

1.1.4. Des usages hors cadre réglementaire

Depuis leur introduction, les moteurs de calcul réglementaires, devenus incontournables et largement répandus, ont régulièrement été envisagés pour des applications au-delà de leur usage réglementaire, spécialement en phase de conception, par divers professionnels :

- ✓ les architectes et maîtres d'ouvrage (MOA) veulent les employer pour élaborer des plans préliminaires tout en cherchant à évaluer l'impact de ces plans et esquisses sur les indicateurs réglementaires en « quasi-temps réel » pour guider leur conception ;
- ✓ les bureaux d'études aspirent à examiner les performances d'un bâtiment sous des conditions plus proches de la réalité, se détachant ainsi des scénarios d'occupation standardisés. Ce faisant, ils évitent de devoir recréer le modèle du bâtiment dans un autre outil de Simulation Énergétique Dynamique (SED), grâce à l'utilisation de descriptions déjà établies pour l'évaluation réglementaire ;
- ✓ les chercheurs et industriels veulent utiliser ces moteurs pour expérimenter des innovations, en analysant l'impact de nouveaux produits ou modèles au sein d'un moteur de calcul de référence.

Ces possibilités d'utilisation « hors cadre réglementaire » n'ayant pas été anticipées dès le départ dans les moteurs actuels, l'intégration de ces nouveaux développements est soit quasiment impossible (cas des bâtiments existants) ou n'a pas été facile et surtout a fragilisé la pérennité du code pour ces différentes applications (cas des bâtiments neufs et du moteur réglementaire COMETH).

Au vu de l'existence de ces usages, COLIBRI est imaginé comme un moteur de calcul modulaire permettant et facilitant à la fois son utilisation pour un calcul réglementaire mais plus largement pour un cadre de conception para-réglementaire, d'ajouts d'innovations ou d'actions de recherche.

1.1.5. Besoin de transparence et facilité de contributions

Si les méthodes réglementaires sont documentées et rendues publiques, leur implémentation sous forme de code n'est généralement pas facilement ou du tout accessible. Lorsque les acteurs soupçonnent des erreurs ou des divergences par rapport à ces méthodes, leur seule option est de les tester en "boîte noire" et de faire remonter leurs préoccupations à des organismes tels que la DHUP, le CSTB (pour les méthodes RTex, RT2012, RE2020) ou Tribu Energie (pour le DPE) par le biais de canaux plus ou moins organisés.

Il serait considérablement plus efficace de rendre le code accessible à l'ensemble des utilisateurs et d'établir un processus structuré pour la remontée de leurs observations. De cette manière, non seulement les éventuels défauts pourraient être identifiés plus aisément, mais les auteurs du code ou de la détection du problème pourraient également soumettre des solutions, assurant ainsi un traitement plus rapide des problèmes par les équipes responsables.

Si le projet CIBLE vise à créer le cahier des charges d'un noyau de calcul transparent et partagé avec la profession, il est également essentiel de réfléchir aux moyens concrets de le diffuser, de le gérer (par le biais d'une gouvernance dédiée) et de le rendre accessible à long terme. De plus, le moteur de calcul de demain devrait être utilisable dans diverses applications, pas seulement à des fins réglementaires, mais aussi pour la recherche et le développement. Il est donc crucial qu'une communauté se forme pour contribuer à son évolution et à la proposition de suggestions.

COLIBRI devra probablement atteindre un niveau de transparence sans précédent pour un outil de ce type, en offrant un code en accès libre (open-source) avec un mécanisme d'acceptation des contributions à mettre en place, ainsi qu'un modèle de gouvernance adapté à son utilisation, que ce soit à des fins réglementaires ou de conception/R&D.

1.2. Un premier objectif face aux constats

Face à ces constats, il devient urgent d'harmoniser, mettre à jour et unifier les méthodes et outils de calculs sous-jacents à chaque contexte (neuf et existant, application réglementaire ou R&D, énergie et carbone...) pour **arriver à une base commune d'évaluation au travers du développement du moteur de demain pour le calcul de la performance environnementale du bâtiment : COLIBRI**. Le bâtiment est un objet complexe et ses performances essentielles gagneraient à être calculées et appréciées à travers une structure de calcul commune, reconnue et partagée par tous.

Il ressort de ces premiers constats que le moteur de demain devra a minima poursuivre les objectifs suivants :

- ✓ **Convergence Neuf/Existant** : création d'un moteur de calcul « universel », capable de calculer la performance de bâtiments neufs ou existants ;
- ✓ **Multi-indicateurs** : un moteur de calcul qui, à partir d'une même description du bâtiment, est capable de calculer plusieurs indicateurs de performances, a minima sur les thématiques ACV, Energie, Confort d'été (correspondant au périmètre actuel de la RE2020 pour le neuf) ;
- ✓ **Multi-usages** : un moteur de calcul utilisable pour les applications réglementaires mais aussi pour de la conception libre et de la R&D ;
- ✓ **Transparent** : un moteur de calcul de référence dont le code source est open-source, organisé autour d'une communauté et ouvert aux contributions.

Les objectifs présentés ici définissent ce qui est désigné comme le PMV (Produit Minimum Viable). Le PMV constitue la base du cahier des charges pour le moteur de demain, que le projet CIBLE vise à esquisser.

Cette base du cahier des charges a été ensuite confrontée, rediscutée et surtout complétée sur de nombreux sujets au travers d'une vaste campagne de recueil d'observations et de besoins. Cette campagne, organisée tout au long de l'année 2023, a impliqué un échantillon large et représentatif des acteurs du secteur.

Les résultats de ces échanges sont présentés dans la suite de ce livrable.

2. Méthodologie

Le programme de travail du projet CIBLE s'articule autour de six lots : un lot dédié au management de projet (Lot 1), un dédié aux échanges et à la concertation avec les acteurs (Lot 2), un dédié aux activités de valorisation et de diffusion (Lot 6) et trois lots de recherche & développement dont l'objectif est de lever les verrous scientifiques et conceptualiser techniquement l'outil de demain à partir des enjeux identifiés ci-dessus et des retours des acteurs (Lots 3, 4 et 5).

Notre stratégie est de co-construire l'outil d'évaluation de demain avec les différents acteurs du bâtiment afin d'enrichir le champ de réflexion et d'accroître l'adhésion aux résultats du projet. Ainsi, une place de choix est faite à la concertation tout au long du projet.

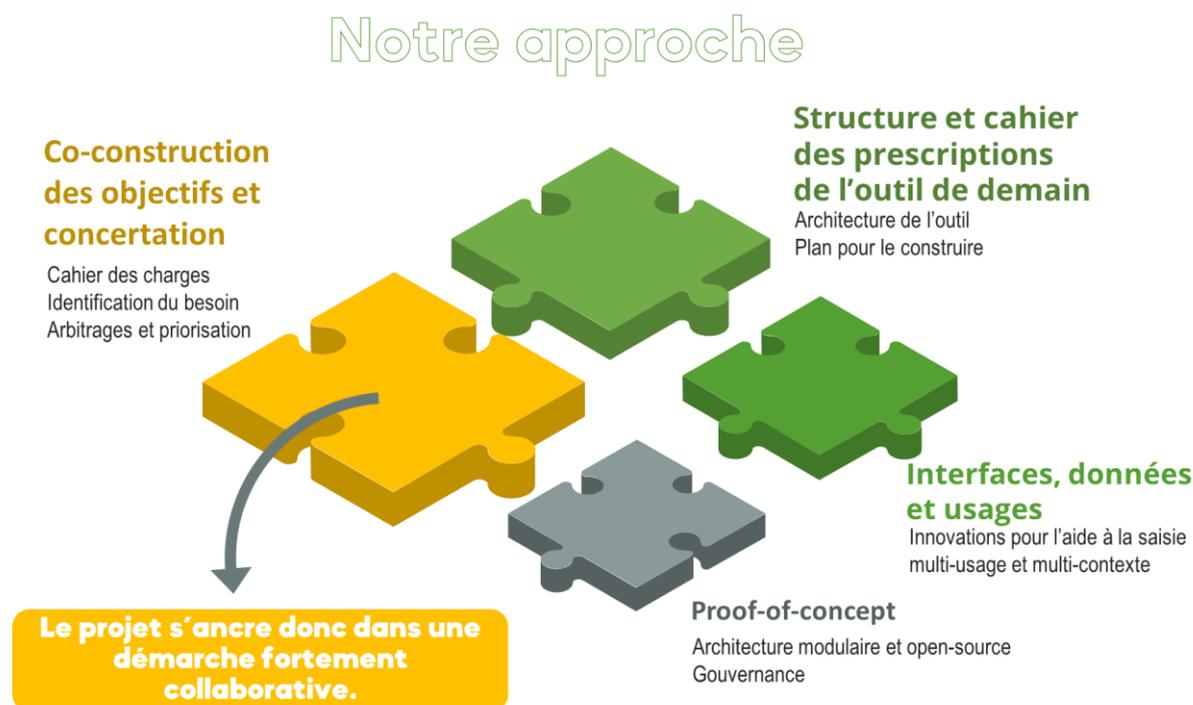


Figure 1 - Organisation du projet CIBLE

Le projet CIBLE se déroule en deux grandes temporalités :

- **première année (2023)** : Cette période est marquée par une phase intensive d'échanges, d'entretiens et de concertation avec la filière (Lot 2), avec pour objectif principal de **définir le cahier des charges pour les besoins** du futur moteur de simulation environnementale des bâtiments. Ce document présente les conclusions de cette phase initiale ;
- **deuxième année (2024)** : Phase dédiée à l'**élaboration d'un cahier de prescriptions techniques**. L'objectif est de convertir le cahier des charges des besoins initial en une prescription technique bien définie, qui servira de base pour le développement futur du moteur de simulation.

2.1. Besoin de co-construire avec les acteurs

CIBLE vise à assurer que l'élaboration du moteur de calcul de demain et de l'écosystème d'outils et de bases de données associées s'appuie bien sur les besoins des acteurs du bâtiment et permettra effectivement de répondre aux enjeux collectifs mais aussi individuels, et aux manques ou critiques sur les outils d'évaluation actuels (réglementaires ou non). Cette co-construction du « cahier des charges » de l'outil est centrale dans le déroulement du projet et permet de cadrer le périmètre effectif du moteur, d'arbitrer et de prioriser les développements prévus dans les Lots 3, 4 et 5. Le moteur se veut le plus holistique et complet possible mais ne pourra pas tout faire, au risque de devenir une « usine à gaz ». Il est donc important de définir des cas d'usage clairs. La concertation avec les acteurs de terrain a permis de trier et d'identifier les bons choix.

La concertation s'est organisée autour de 5 grandes étapes :

- **Réunion de lancement publique (4 janvier 2023)** : présentation du projet CIBLE et inscription des volontaires pour contribuer à différents niveaux au développement du futur moteur (entretiens, sondage en ligne, atelier de travail, contribution à la modélisation ou simplement suivi du projet et participation aux réunions publiques).

- **Entretiens (mars – septembre 2023)** : entretiens de 2h avec différents acteurs (petits groupes de 1 à 4 acteurs du même type) pour comprendre leurs besoins en moteur de simulation, recueillir leurs attentes et leur avis sur le cahier des charges envisagé avec le PMV (Produit Minimum Viable).
- **Sondage élargi (septembre – novembre 2023)** : concertation en ligne via la réponse à un sondage élargi à tous les acteurs du bâtiment volontaires et sur la base de la synthèse des entretiens individuels et de la grille d'entretien. L'objectif est de pondérer auprès d'un groupe d'acteurs encore plus large (avec une représentation statistique) l'intérêt pour les différentes thématiques et les différents besoins identifiés (besoins qui portent sur les données d'entrée, les indicateurs de sortie, et les périmètres d'utilisation de l'outil) et caractérisés lors des entretiens individuels et des travaux de l'équipe projet.
- **Webinaire de restitution des contributions (12 mars 2024)** : le cahier des charges, élaboré sur la base de l'ensemble des contributions reçues, a été présenté aux acteurs mobilisés dans le cadre du projet à l'occasion d'un webinaire. Ce webinaire a permis de valider la synthèse des besoins et les principales orientations prises et de définir les sujets nécessitant des discussions complémentaires.
- **Ateliers thématiques (mars-avril 2024)** : suite à la présentation du cahier des charges, quatre ateliers ont été organisés afin d'approfondir certaines thématiques.

2.1.1. Les entretiens

20 entretiens semi-directifs, d'une durée de 2h à 3h selon le nombre de participants, ont été réalisés entre mars et septembre 2023. La sélection des acteurs interrogés s'est faite sur la base des personnes s'étant déclarées volontaires à l'issue de la réunion de lancement public et dans un objectif d'être le plus représentatif possible de la filière bâtiment et des acteurs impactés par le projet. Au total cela représente plus de 60 personnes interrogées.

Chacun des entretiens a suivi une trame commune (disponible en annexe) permettant de s'assurer de l'exhaustivité des sujets traités et de la comparabilité des réponses entre entretiens. Le CSTB, en collaboration avec au moins l'une des associations (Alliance HQE-GBC ou Collectif Effinergie), menait les entretiens.

Les entretiens ont été réalisés par métier ou type d'acteurs de la filière bâtiment (selon les configurations, un entretien peut regrouper plusieurs acteurs) :

- ✓ **Industriels et représentants : 4 entretiens réalisés ;**
- ✓ **Bureaux d'études et syndicats ingénieurs modélisation : 3 entretiens réalisés ;**
- ✓ **Architectes : 2 entretiens réalisés ;**
- ✓ **Chercheurs et affiliés : 2 entretiens réalisés. Pouvoirs publics : 1 entretien réalisé ;**
- ✓ **Ingénierie et bureau de contrôle : 1 entretien réalisé.**
- ✓ **Bailleurs sociaux et représentants : 1 entretien réalisé ;**
- ✓ **Energéticiens : 1 entretien réalisé ;**
- ✓ **Editeurs de logiciels : 1 entretien réalisé ;**
- ✓ **Certificateurs : 1 entretien réalisé ;**
- ✓ **Aménageurs : 1 entretien réalisé ;**
- ✓ **Collectivités : 1 entretien réalisé ;**
- ✓ **AMO : 1 entretien réalisé.**

2.1.2. Questionnaire en ligne

Le questionnaire en ligne a permis de récolter **138 réponses** entre le 5 octobre et le 10 novembre 2023. 97 entités sont représentées et 2 personnes ont répondu au questionnaire à titre personnel.

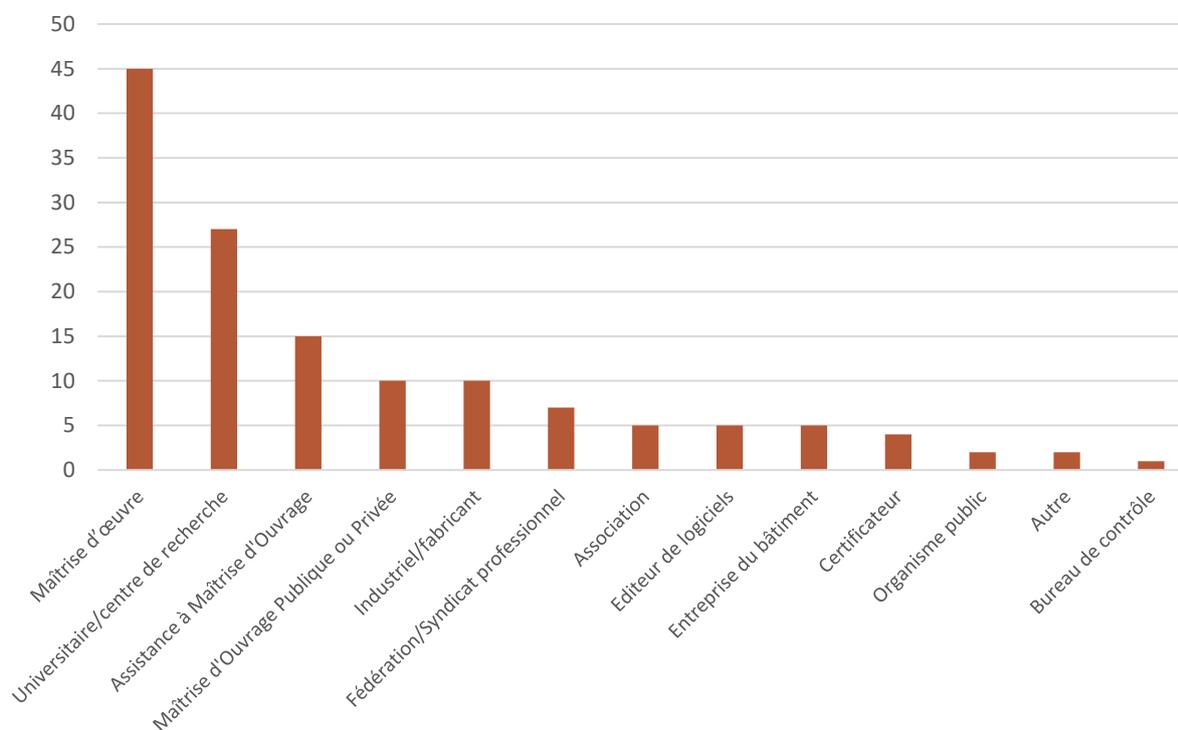


Figure 2 - Nombre de réponses au sondage en ligne par type d'entité

La maîtrise d'œuvre est particulièrement représentée avec 34 structures qui ont répondu au questionnaire (pour 45 réponses au questionnaire). Les assistants à maîtrise d'ouvrage sont également représentés avec 13 entités (pour 13 réponses au questionnaire).

Si le nombre de réponses des universitaires et centres de recherche est marqué (26 personnes ayant répondu au questionnaire), il est tout de même à noter que seulement 5 entités distinctes sont recensées dans les personnes ayant répondu au questionnaire en ligne.

Près de la moitié (68 réponses) des personnes ayant répondu au questionnaire en ligne estiment découvrir le projet CIBLE. D'autres sont plus informées, ayant déjà participé à réunion de lancement du 4 janvier 2023 (30 personnes) et/ou participé à un entretien (23 personnes). Plusieurs ont suivi les différentes communications sur le projet (52 réponses).

2.1.3. Les ateliers

Les différents entretiens et le questionnaire en ligne ont permis d'établir un cahier des charges qui a été présenté à l'occasion d'un webinaire le 12 mars 2024. A cette occasion, certaines thématiques nécessitant des approfondissements ont été identifiés et ont mené à l'organisation de quatre ateliers participatifs :

- adéquation avec les directives et normes européennes ou internationales (28 mars) ;
- modèle économique et gouvernance (28 mars) ;
- modalités de prise en compte du volet économique (2 avril) ;
- consommations et fonctionnement réel du bâtiment (2 avril).

Ces ateliers étaient ouverts à tous les acteurs volontaires, et ont été l'occasion de présenter des initiatives de la filière. Les conclusions de ces ateliers ont ensuite été intégrées au cahier des charges initial (voir ci-après).

A – CONSTRUCTION DU CAHIER DES CHARGES

3. Recueil des besoins - Bilan / Principaux résultats obtenus

3.1. Les pratiques actuelles des outils d'éco-conception

Cette partie nous informe sur les pratiques actuelles des outils. Pour segmenter les outils et leur utilisation -afin de permettre des réponses plus spécifiques- on distingue :

- les outils réglementaires / outils de conception ;
- les outils de calcul énergétique et thermique / d'ACV / ou qui portent sur d'autres thématiques diverses (humidité paroi, calcul de ponts thermiques, contrôle de cohérence en réglementaire, ...) ;
- les outils pour la rénovation / pour le neuf / en exploitation ;
- les outils utilisés en phase amont / conception (d'un projet ou d'une rénovation) ;
- les outils internes des organisations / outils commerciaux ;
- parmi les outils de calcul énergétique : les outils dynamiques (STD, RT/RE énergie...) / les outils de calcul statiques (DPE).

Les répondants à l'enquête utilisent plutôt des logiciels pour des projets en neuf (116 réponses) ou en rénovation (120 réponses). Il y a moins d'utilisations dans un cadre d'exploitation parmi les répondants (42 réponses).

Figure 3 : Type de projets sur lesquels travaillent les répondants

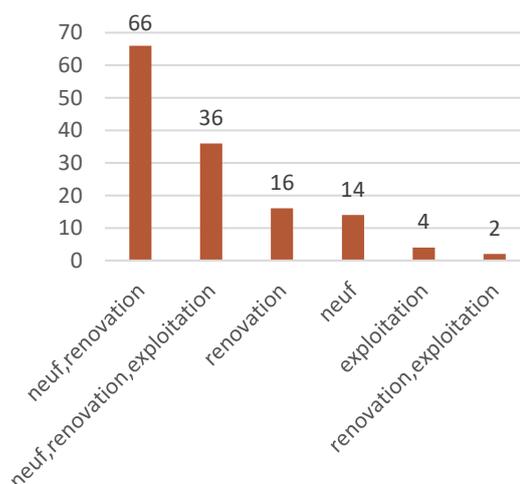
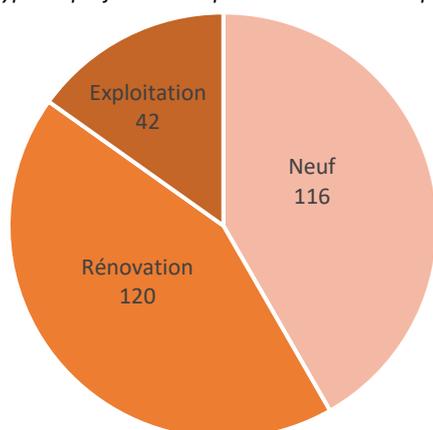


Figure 4 : Nombre de répondants par type de projet

Une large majorité de répondants utilisent les logiciels pour travailler sur **plusieurs** types de projets (*neuf et rénovation* -66 réponses- ou bien *neuf, rénovation et exploitation* -36 réponses). Cela rejoint les résultats des entretiens : les acteurs interrogés peuvent être amenés à utiliser différents outils, ou des outils qui s'adressent simultanément à différents segments (neuf et existant, réglementaire et conception...), et doivent s'adapter à des modes de saisie ou des méthodes de calcul différentes. Ainsi, si par souci de lisibilité les résultats de l'enquête en ligne sont présentés en séparant les segments neuf, rénovation, existant, il faut bien noter que les modélisateurs travaillent majoritairement sur plusieurs de ces segments. Les réponses à l'enquête et les entretiens vont dans le sens d'un rapprochement des outils de modélisation, et des différentes conventions.

3.1.1. Pratique des outils en projets neufs

Pour les projets neufs les calculs réglementaires sont plébiscités en premier lieu puis les Simulation Thermique Dynamique (STD) et les calculs en Analyse du Cycle de Vie (ACV) suivant la répartition suivante :

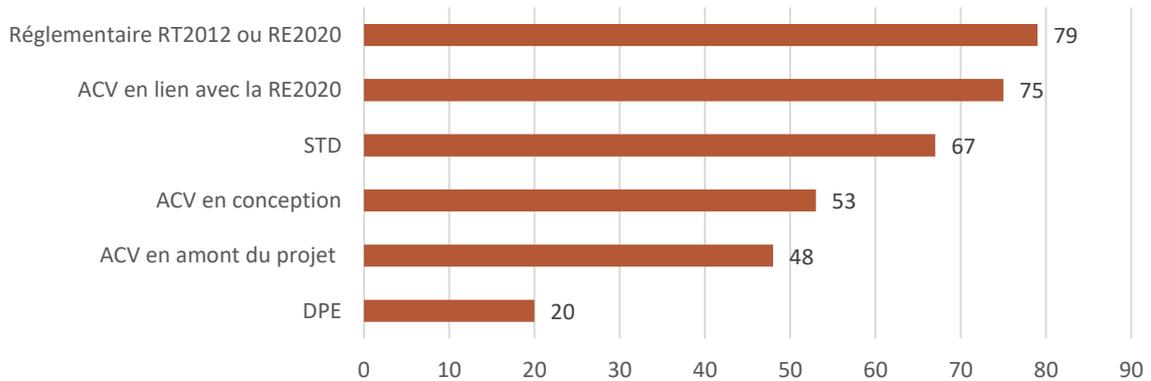


Figure 5 : Type de calculs réalisés par les répondants pour le **Neuf**

La majorité des répondants réalise les calculs réglementaires avec les logiciels suivants : Archiwizard, Climawin, CypeTherm, DesignBuilder, Pleiades, U21 Win et U22Win. D'autres logiciels sont également cités par certains répondants : CypeCAD, Lesosai, Visual TTH, Caprenov+, COMETH, Time to Beem, BAO PROMODUL EVOLUSION SED, Rhino GrassHopper – Urbawind, U48/ BAO Promodul et des tableurs internes.

La plupart des répondants réalisent les calculs ACV en lien avec la RE2020 avec : Archiwizard, ClimaWin 2020, Elodie by Cype, Kompozite, Nooco, OneClick LCA, Pleiades, SustainEcho, U21Win, U22Win et Vizcab Eval. Ils citent également d'autres logiciels : TIME to BEEM, SIMAPRO (échelle produit), UrbanPrint (échelle quartier), e-LICCO, GoBuild! et tableurs internes.

D'autres calculs sont cités dans les réponses au questionnaire en ligne, c'est le cas des calculs :

- D'éclairage naturel, facteur de lumière du jour
- D'acoustique
- En lien avec des démarches, certifications, labels
- Coûts, quantitatifs de matériaux
- De ponts thermiques et caractéristiques de l'enveloppe
- SED et conception hygrothermique
- De dimensionnement chaud et climatisation notamment suivant norme dédiée
- D'estimation de consommation en eau
- Du caractère perspirant des parois (perméabilité à la vapeur d'eau)
- Étude d'impact
- De sensibilité selon différents paramètres
- De consommation de matière
- QAI
- Biodiversité

Plusieurs logiciels sont cités : WUFI (cité plusieurs fois), Pléiades, DesignBuilder, Trisco (cité plusieurs fois), Physibel (cité plusieurs fois), Ulys, phpp, ubakus, Phanie / MathisPhanieIR, cometh, M2M, Cype, BTPFlux, PolyCarb, CarbonRapid, EC2, GoBuild! (cité plusieurs fois), Rhino GrassHopper, MithraSIG, Acoubat (cité plusieurs fois), Acoubat bim, multidoc, Quantiplan, Attic, ecotect, dialux, dial+ et des tableurs internes.

3.1.2. Pratique des outils en rénovation

En rénovation, les calculs les plus réalisés au sein des répondants sont ceux permettant de répondre à la réglementation globale puis les calculs STD et les audits. Les réponses suivent la répartition suivante :

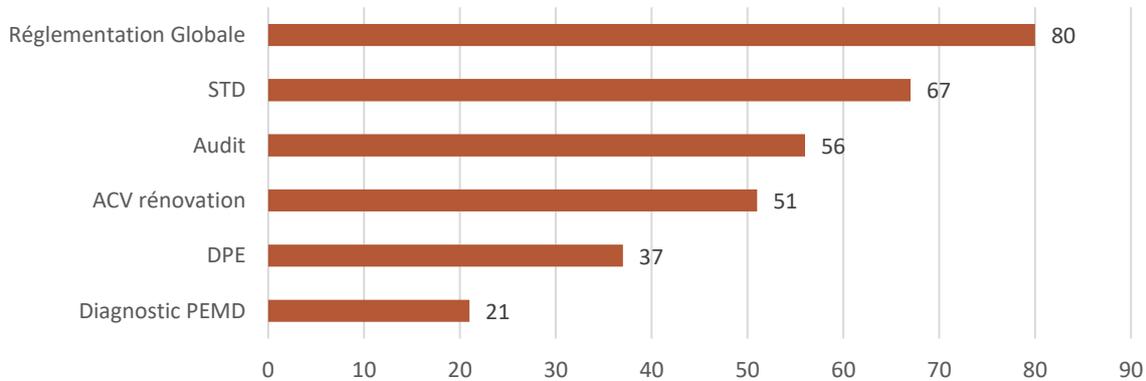


Figure 6 : Type de calculs réalisés par les répondants en rénovation

En rénovation également d'autres types de calculs sont réalisés (qui pour plusieurs recourent ceux cités en construction) :

- SED et conception hygrothermique
- Eclairage naturel, facteur de lumière du jour en lien avec la RT dite par éléments
- Acoustique
- Ponts thermiques et caractéristiques de l'enveloppe
- Estimation de consommation en eau
- Suivi des consommations
- Étude d'impact
- Consommation de matière

Les logiciels cités en complément dans la rénovation recourent ceux cités en construction : WUFI (cité plusieurs fois), Physibel (cité plusieurs fois), Ulys, PHPP, Phanie / MathisPhanieIR (calcul fin de rayonnement), GoBuild!, MithraSIG, et des tableurs/outils internes. Le logiciel Deepki est également cité.

3.1.3. Pratique des outils en exploitation

Enfin, en exploitation les répondants pratiquent des Audits, des STD et DPE, selon la répartition suivante :

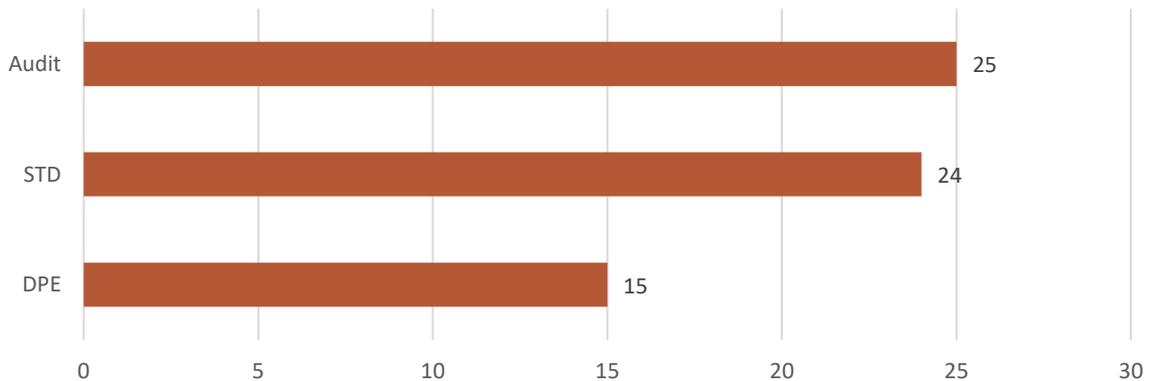


Figure 7 : Type de calculs réalisés par les répondants en exploitation

En **exploitation** également d'autres types de calculs sont plébiscités, c'est le cas des calculs :

- Acoustique
- CPE : recalage de contrats de performance énergétique
- Éclairage naturel
- Structure
- Biodiversité

Le commissionnement avec des mesure in-situ et réglages dans le cadre d'un rétro commissionnement sont cités. Le monitoring et le suivi des consommations sont également mis en avant pour l'exploitation.

Les logiciels évoqués pour ces calculs complémentaires sont : Amapola, Smart Impulse, Cometh, ClimaWin, MithraSIG ainsi que des outils, tableurs et base de données internes.

Le questionnaire en ligne met en avant les logiciels utilisés pour les **calculs DPE** suivants : DPEWIN, Pleiades et ClimaWin, qui sont majoritairement cités. Les répondants citent également LICIEL Diagnostics, WINDPE, AnalysImmo et des outils internes.

En ce qui concerne les **audits**, les logiciels principalement utilisés par les répondants sont là encore : DPEWIN, Pleiades et ClimaWin 2020. Mais les répondants citent aussi : WINDPE, AnalysImmo, Cap'Rénov, BAO de Perrenoud, un outil en ligne BBC par étapes, TRNSYS, Oplus/Odyssée, CypeTherme ainsi que des tableurs et outils internes.

Enfin pour les **STD** les logiciels principalement utilisés sont : Archiwizard, ClimaWin, CYPETherm, EnergyPlus (éventuellement via DesignBuilder), Pleiades, ThermSTD, Trnsys, mais d'autres logiciels sont cités ponctuellement : Modelica (Dymola) - BuildSysPro / Buildings, Oplus/Odyssée, Virtual Environment, Rhino GrassHopper et des outils internes.

3.1.4. Synthèse

En complément des différentes typologies de projets traitées (construction, rénovation, etc.) les pratiques actuelles des outils remontées dans l'enquête montrent bien que les répondants utilisent plusieurs outils pour leurs différents calculs, ou bien des outils qui s'adressent à plusieurs types de calculs à la fois en intégrant différentes méthodes de calcul sous-jacentes (RE2020 énergie, RE2020 ACV, DPE, STD...).

Comme discuté dans les entretiens avec les modélisateurs, la multiplication des outils et méthodes de calcul sous-jacentes entraîne des doublons de saisie, avec des données d'entrée pas forcément cohérentes même lorsque cela serait possible. De même, dans les moteurs de calcul sous-jacents, les méthodes de calculs peuvent être différentes, ce qui ne permet pas les comparaisons des sorties même lorsque le même type d'indicateur est affiché.

Un point qui a été demandé explicitement par les modélisateurs et éditeurs de logiciels lors des entretiens est le rapprochement des méthodes de calcul Th-BCE, TH-C-ex et 3CL.

Ici le large éventail d'outils présentée donne bien un aperçu de la difficulté à travailler en transversal sur ces sujets avec une base de comparaison commune. Cela explique largement les demandes de convergence Neuf / Existant, multi-indicateurs ou encore réglementaire / conception validées lors de l'enquête, comme nous le reverrons dans la partie §3.3 consacrée aux réactions au produit minimum viable.

3.2. Les attentes et besoins vis-à-vis du futur moteur national de simulation pour l'éco-conception du bâtiment

Après l'état des lieux des pratiques actuelles, cette nouvelle partie traite des retours des répondants sur ce que devrait être le futur des outils de modélisation, notamment en termes de périmètre (thématique, échelle de travail, type d'indicateurs), de fonctionnalités, de gouvernance et de modèle économique. Il s'agissait bien là de répondre dans une dimension plus prospective sur les éléments à intégrer dans le moteur d'éco-conception du bâtiment Colibri.

3.2.1. Périmètre de l'outil : thématiques, échelles de travail et indicateurs

3.2.1.1. Périmètre thématique

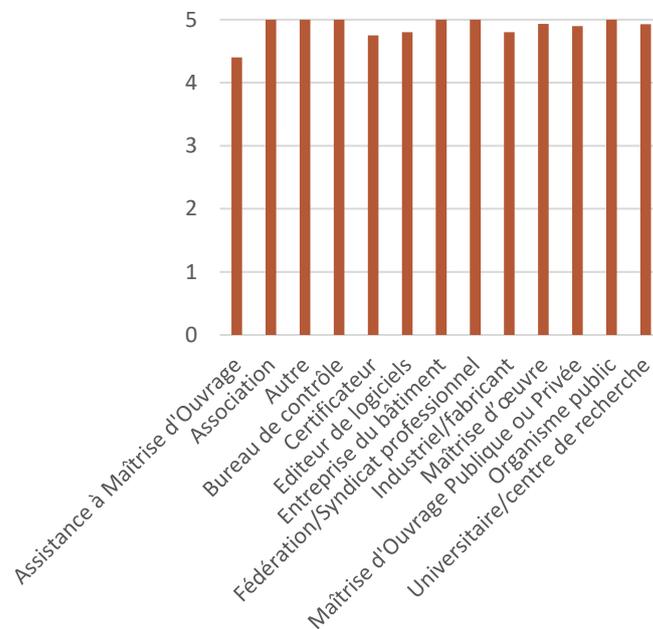
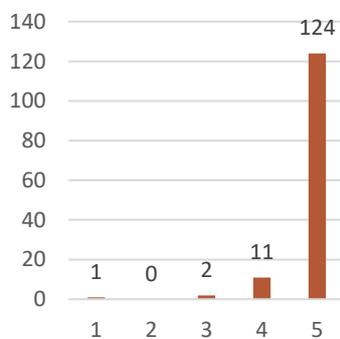
Le questionnaire en ligne demandait d'apprécier les thématiques proposées en fonction de leur pertinence suivant l'échelle de notation suivante :

1. Pas à intégrer – je pense que ça ne devrait pas être intégré : précisez pourquoi dans la question suivante
2. Pas nécessaire – je n'en ai pas le besoin, ça m'est égal
3. Pourquoi pas – c'est du bonus, mais ce n'est pas indispensable
4. Pertinent – ça répond à un besoin, il le faudrait
5. Indispensable – il le faut absolument, impossible de s'en passer

Les résultats du questionnaire en ligne sont référencés dans le tableau ci-dessous. Pour chaque thématique, les graphiques à gauche montrent la répartition des notes, le graphique à droite la moyenne des notes selon le type d'entité des répondants.

Energie

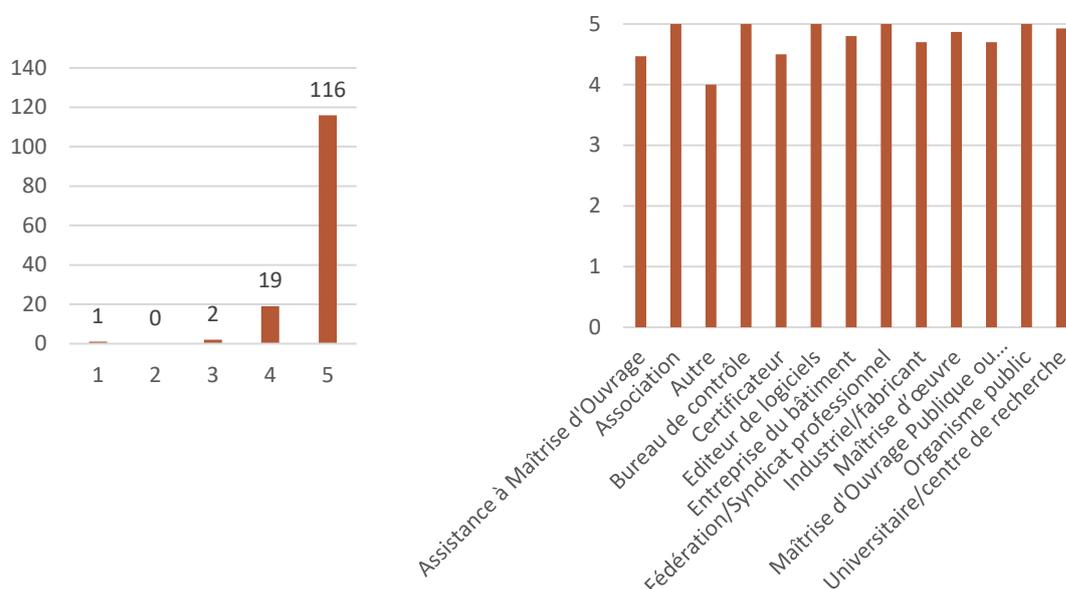
138 réponses avec une moyenne de 4,86 :



Les notes montrent clairement que la thématique énergie est indispensable pour l'ensemble des acteurs. Les entretiens indiquaient également que la thématique énergie était désormais acquise en éco-conception, et indispensable.

Confort d'été

138 réponses avec une moyenne de 4.80 :



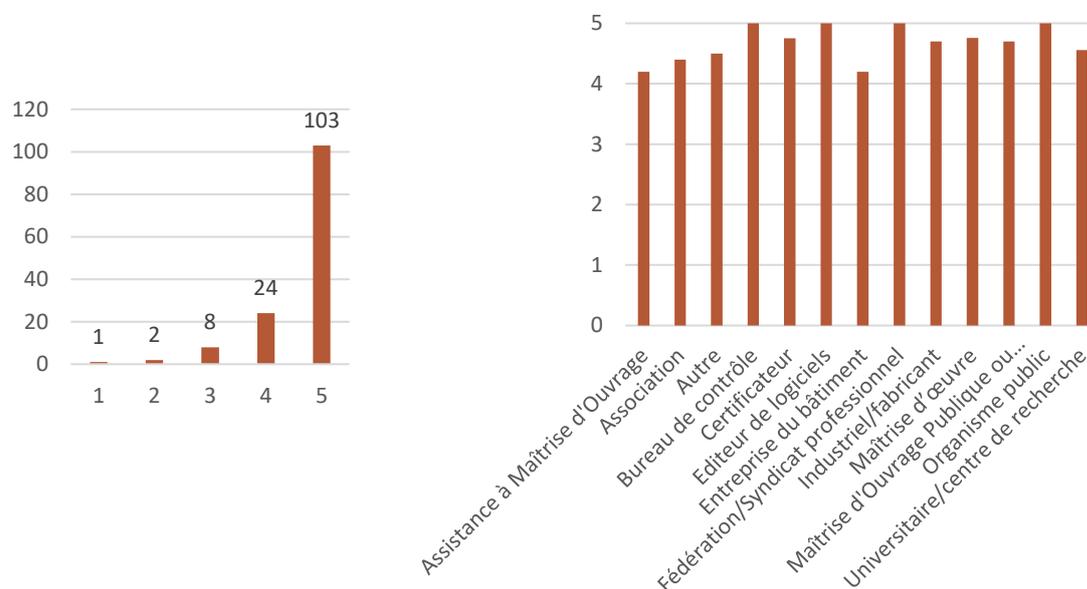
Le confort d'été est indispensable pour tous les acteurs. Lors de l'entretien, les pouvoirs publics ont indiqué que pour les bâtiments existants, il pourra être nécessaire de travailler à une méthodologie robuste sur le confort d'été, en réglementaire ou dans le cadre d'un label.

ACV Bâtiment

138 réponses avec une moyenne de

4.64

:



La thématique ACV est indispensable pour tous les répondants.

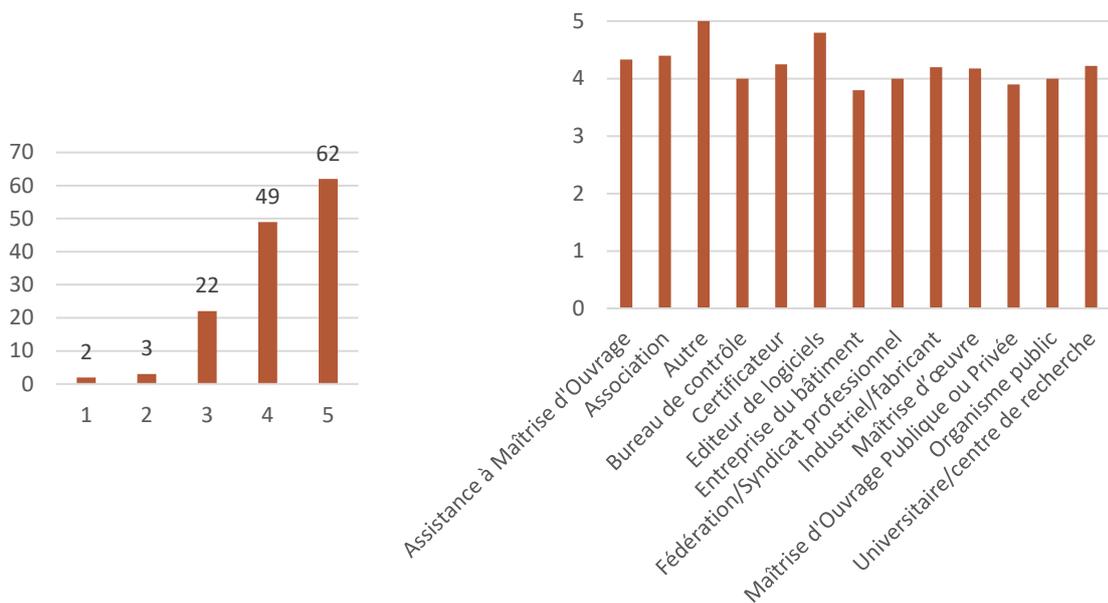
L'entretien avec les pouvoirs publics a également confirmé que l'ACV en rénovation devra pouvoir être calculée au moins dans le cadre de labels, même si pour l'instant son intégration en réglementaire n'est pas prévue.

Les éditeurs de logiciels ont alerté dans l'entretien sur le fait que l'ACV pourrait aussi être réalisée par des acteurs différents des acteurs traditionnels de la modélisation, par exemple les économistes, qui n'auront peut-être pas les mêmes besoins en termes de logiciels et d'interface.

En complément, les entretiens valident la nécessité d'un environnement outil capable d'être utilisé par l'ensemble de l'équipe projet.

Adaptation au changement climatique et résilience

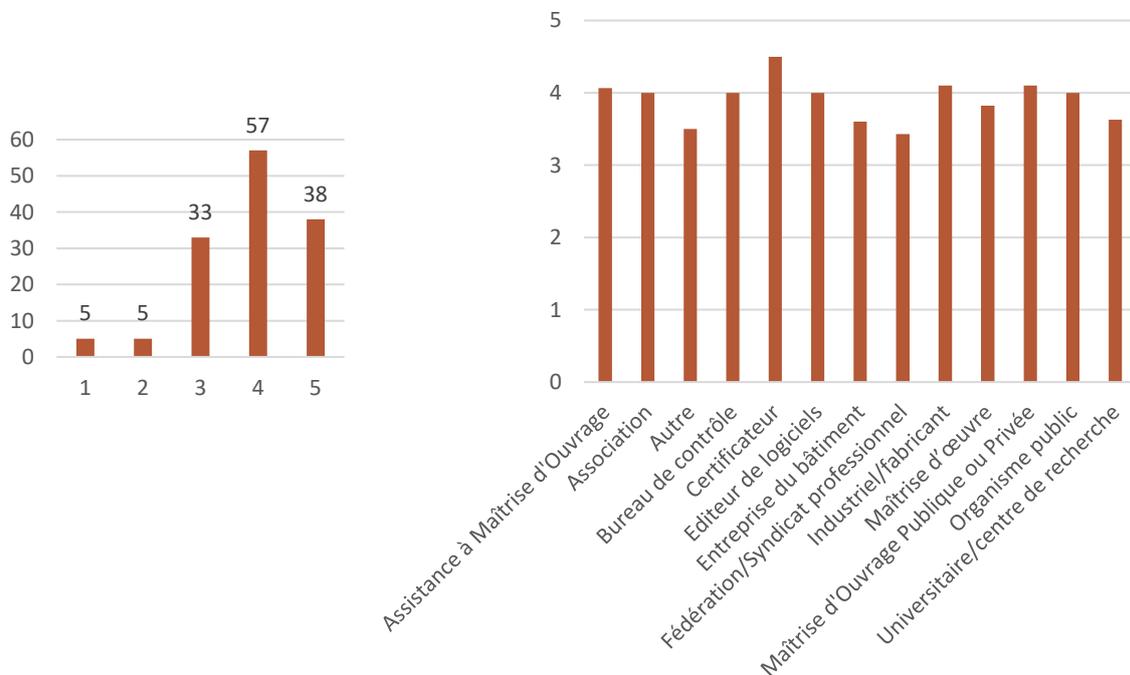
138 réponses avec une moyenne de 4.20 :



Les réponses notent la pertinence de prendre en compte l'adaptation au changement climatique et la résilience des bâtiments, une forte part des réponses considère qu'il le faudrait, voire que c'est indispensable. Des commentaires précisent qu'il faut anticiper l'évolution du climat et, en particulier, la multiplication des périodes de canicules sur la durée de vie du bâtiment. Une attention est également mise pour plusieurs acteurs sur la nécessaire prise en compte de problématiques que pourra engendrer le changement climatique sur les bâtiments.

QAI qualité de l'air intérieur

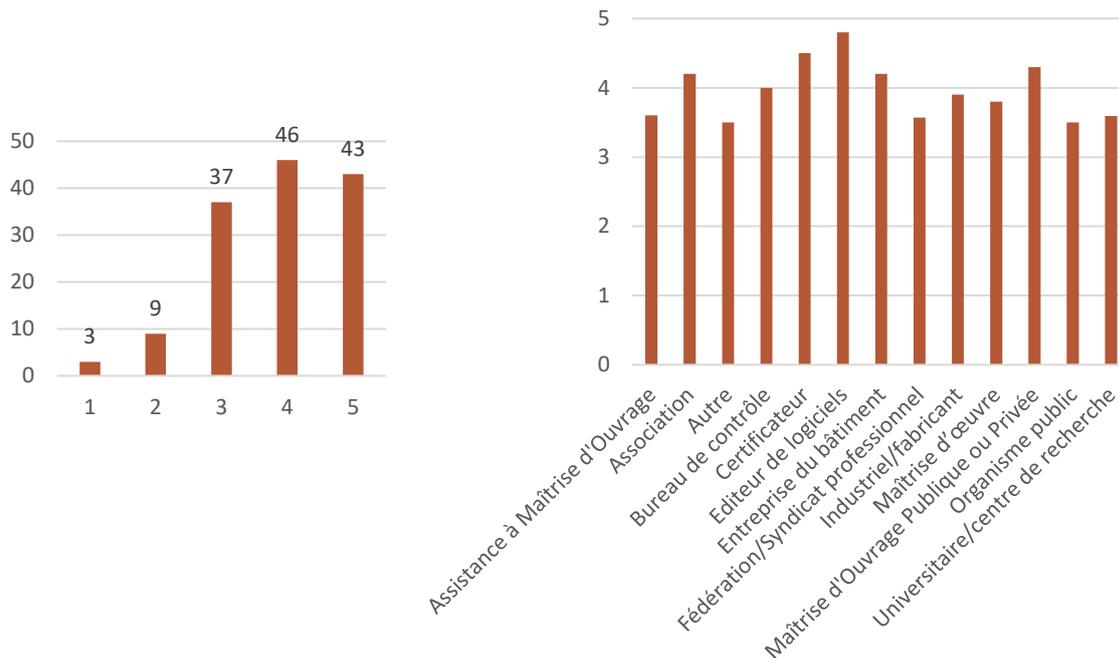
138 réponses avec une moyenne de 3.86 :



La qualité de l'air intérieur est une thématique retenue comme pertinente par les acteurs.

Autoconsommation, flexibilité (dont autres consommations du bâtiment), stockage

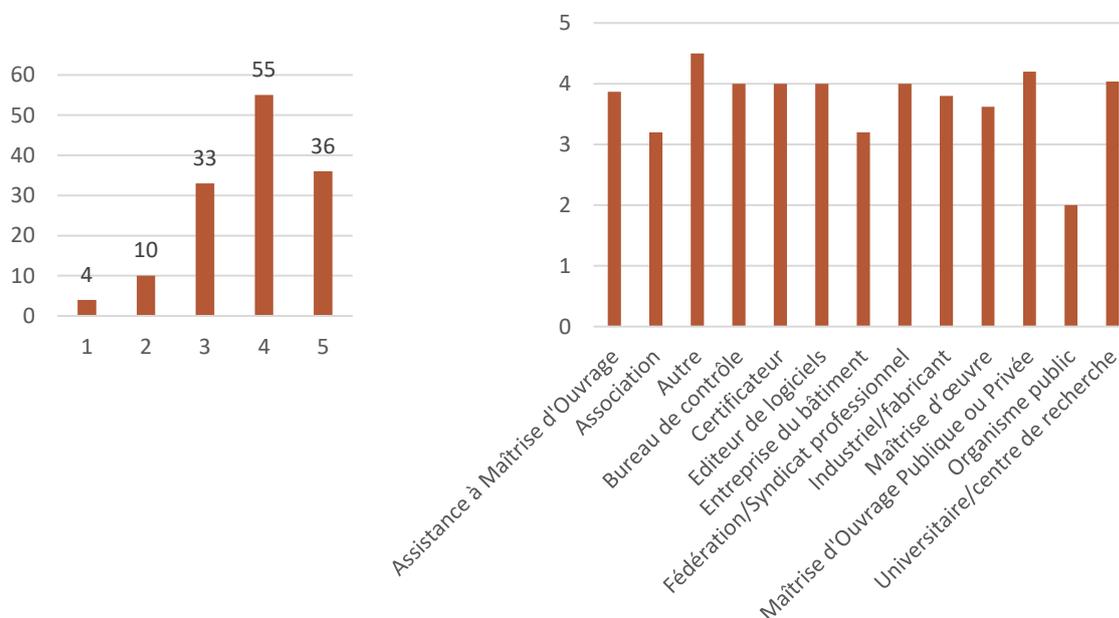
138 réponses avec une moyenne de 3.85 :



Le calcul de l'autoconsommation et la prise en compte de la flexibilité sont perçus comme des sujets pertinents, avec même 43 répondants qui les jugent indispensables. Lors des entretiens, les industriels des BACs (systèmes d'automatisation et contrôle pour le bâtiment) avaient mis l'accent sur l'importance de prendre en compte cet aspect.

Economie Circulaire / Réemploi / Recyclabilité

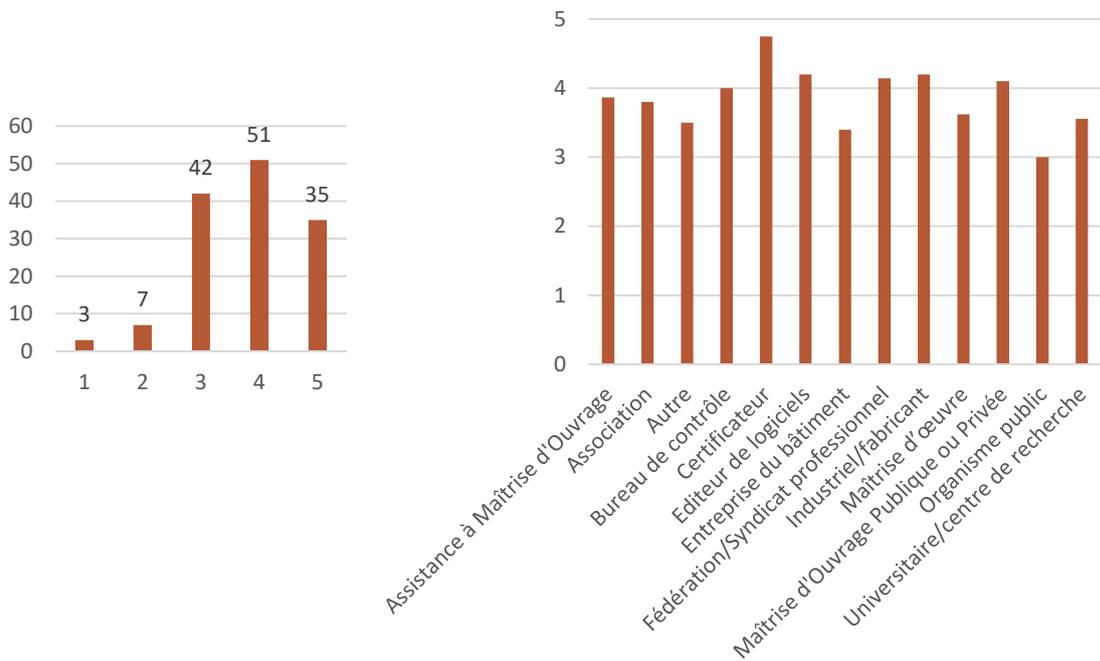
138 réponses avec une moyenne de 3.79 :



Les réponses montrent la pertinence de la thématique économie circulaire, réemploi, recyclabilité pour les acteurs.

Consommation / gestion de l'eau

138 réponses avec une moyenne de 3.78 :

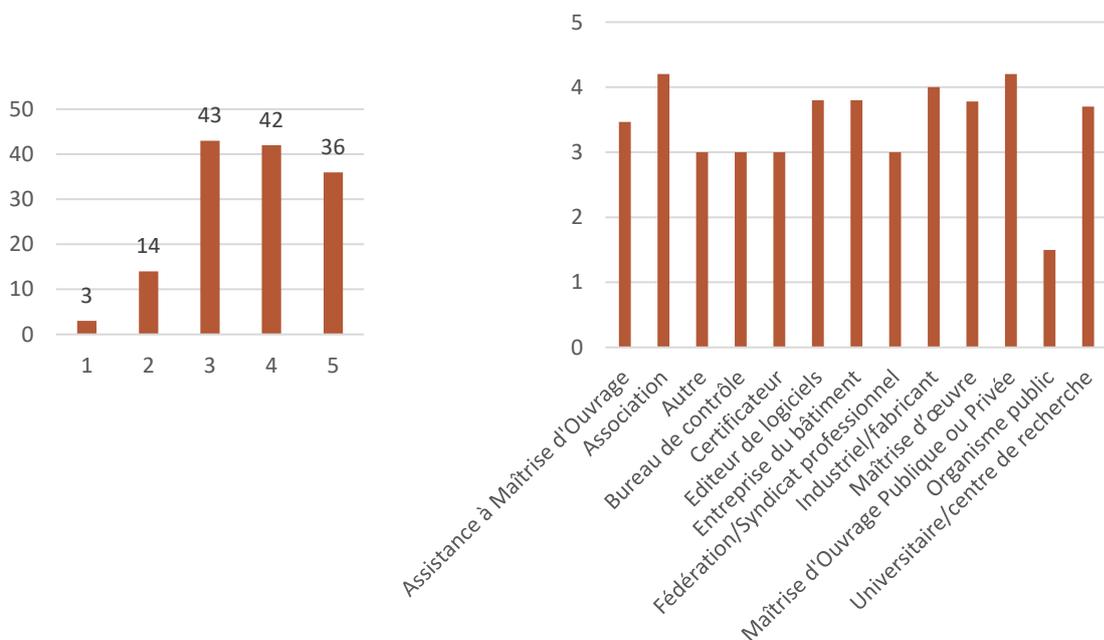


Les réponses montrent la pertinence de la thématique liée à la consommation et gestion de l'eau.

Une des réponses de bureau d'étude nuance l'importance des consommations d'eau en résidentiel, mais propose de prendre en compte dans le périmètre les consommations d'eau les piscines qui, lorsqu'elles sont présentes, ont un impact dimensionnant sur la consommation annuelle d'un foyer.

Eclairage

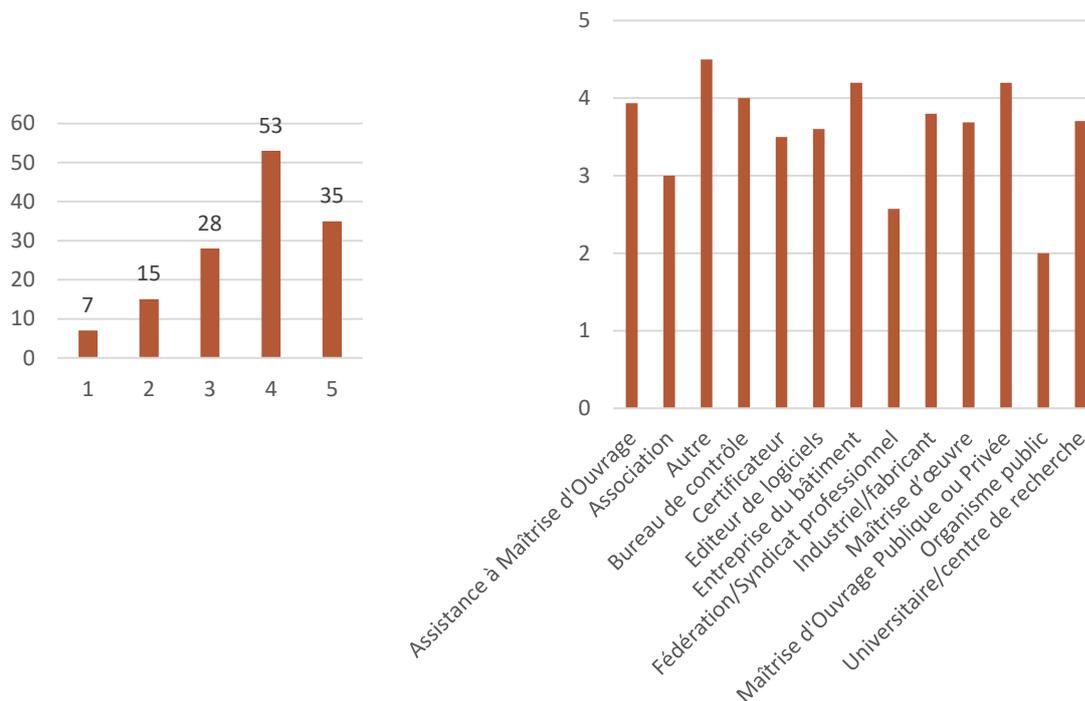
138 réponses avec une moyenne de 3.68 :



L'éclairage est considéré comme un bonus par 43 acteurs, pertinent par 42 répondants et indispensable pour 36 répondants. Cette thématique serait un bonus ou pertinente, mais moins prioritaire par rapport aux thématiques précédentes.

Economie, coût global

138 réponses avec une moyenne de 3.68 :



Les réponses montrent que le sujet économique et le calcul en coût global sont des thématiques pertinentes. Le besoin d'indicateurs de coût global avait déjà été remonté lors des entretiens avec les interlocuteurs des bailleurs sociaux, des foncières et des aménageurs.

[ATELIER Indicateurs économiques mené le 02/04/2024 – 16 participants]

Un atelier spécifique a été mené avec des acteurs pour préciser les besoins associés au volet économique dans le moteur de calcul d'éco-conception. Il est ressorti de cet atelier les points suivants :

Le besoin d'indicateurs économiques pour les maîtrises d'ouvrage est de nouveau ressorti.

Il y a également un besoin pour les pouvoirs publics de prendre en compte l'impact économique lors de la préparation d'une réglementation.

Le calcul de coût est nécessaire pour l'aide à la décision.

Il faut éviter que le périmètre du coût utilisé comme indicateur ne recouvre des coûts associés aux impacts environnementaux. En effet, comme des indicateurs environnementaux seront définis par ailleurs dans le moteur d'éco-conception, il faut éviter le double comptage des impacts. Ainsi, il faut prendre en compte le coût global élémentaire qui couvre la construction, exploitation, maintenance et fin de vie (investissement, exploitation, maintenance), mais pas le coût global étendu qui englobe les externalités environnementales. D'autant plus que l'estimation des externalités est moins maîtrisée et sujette à discussions.

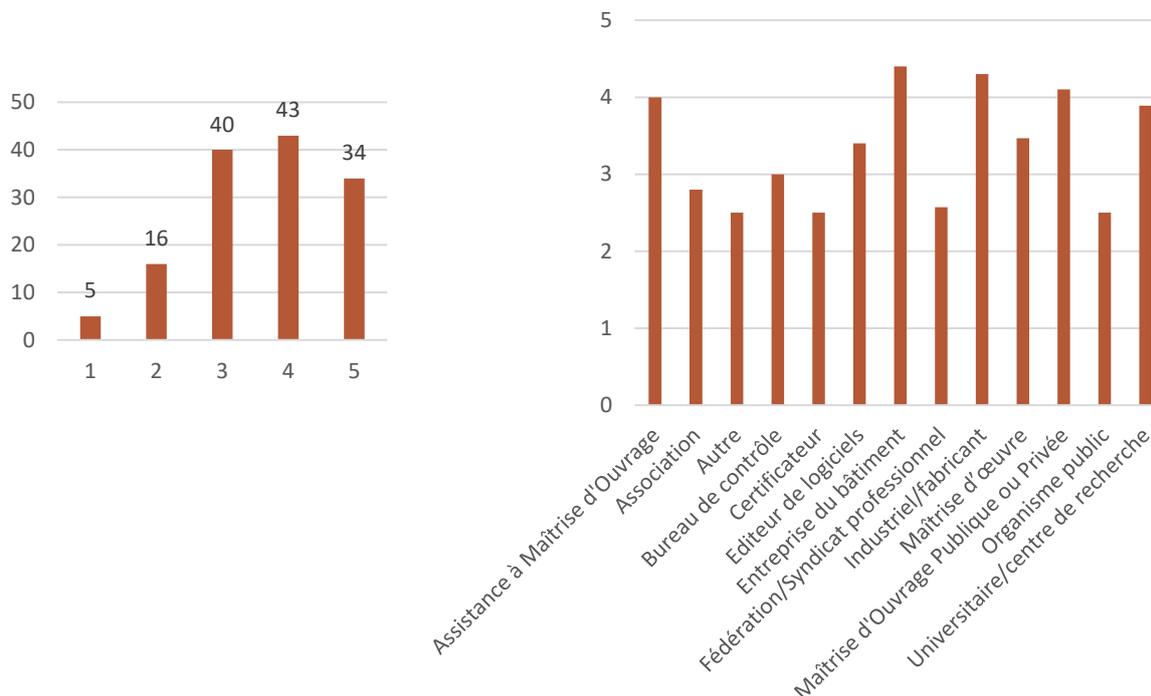
Il faut également considérer que les coûts n'échoient pas aux mêmes personnes selon la phase de projet : par exemple l'investisseur et la personne qui paient en exploitation ne sont pas forcément les mêmes, dans les sorties du calcul, il faut donc pouvoir afficher les coûts par phase.

Il faut pouvoir prendre en compte les coûts des équipements et matériaux sur la base de la matérialité, mais aussi prévoir de prendre en compte ou non les coûts de mise en œuvre selon la base de données utilisée.

La granulométrie de l'information à entrer dans le moteur doit être discutée avec les économistes.

Humidité

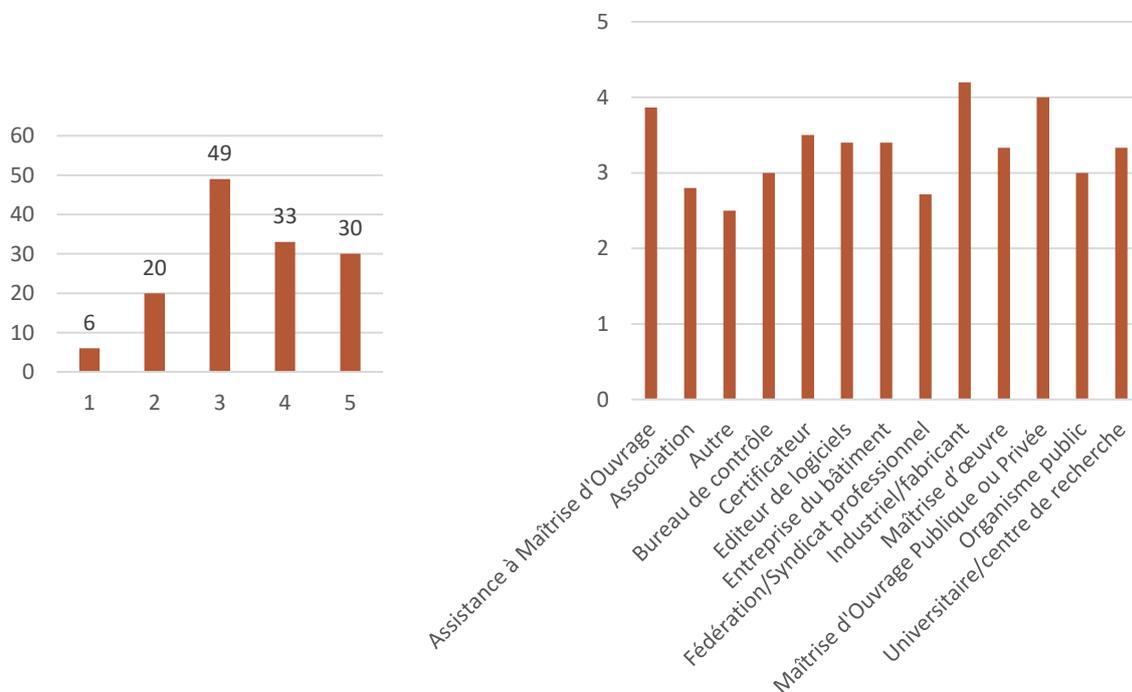
138 réponses avec une moyenne de 3.62 :



Les réponses montrent que le sujet de l'humidité serait également pertinent mais là encore, plutôt de l'ordre du bonus.

Acoustique

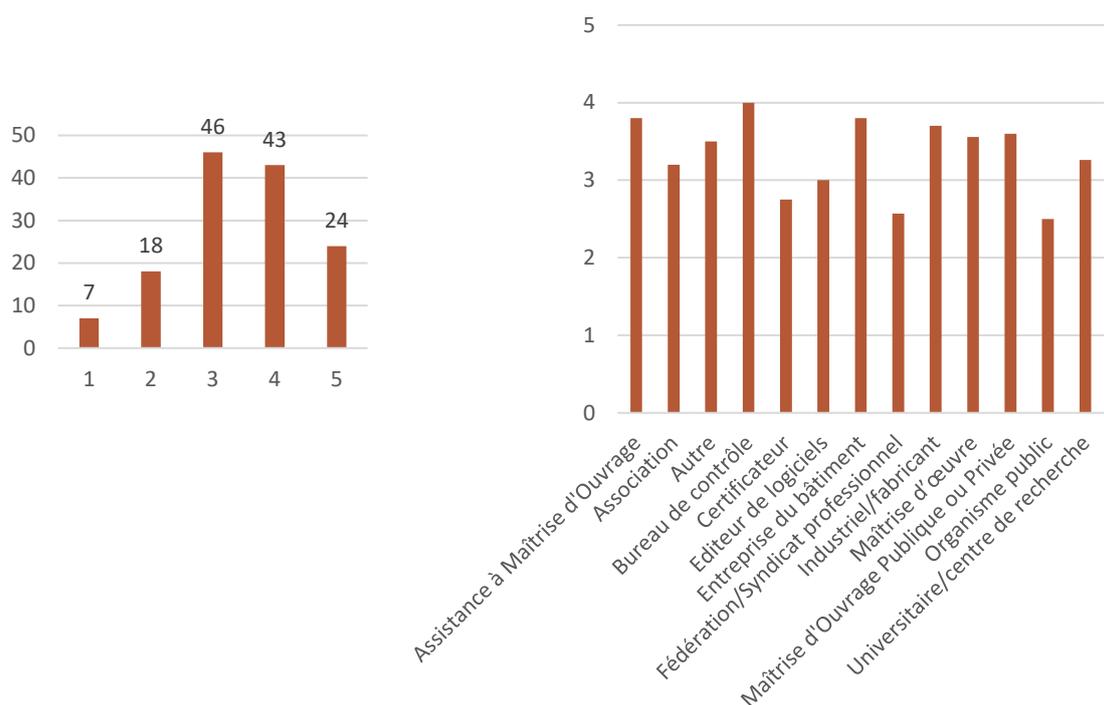
138 réponses avec une moyenne de 3.44 :



La thématique de l'acoustique est plutôt jugée comme un bonus non indispensable. Une remarque faite dans l'enquête explique probablement ce résultat : l'acoustique concerne « le confort du quotidien mais sans impact sur le sujet fondamental du réchauffement climatique ». Le lien avec l'éco-conception n'est pas évident.

Qualité d'usage

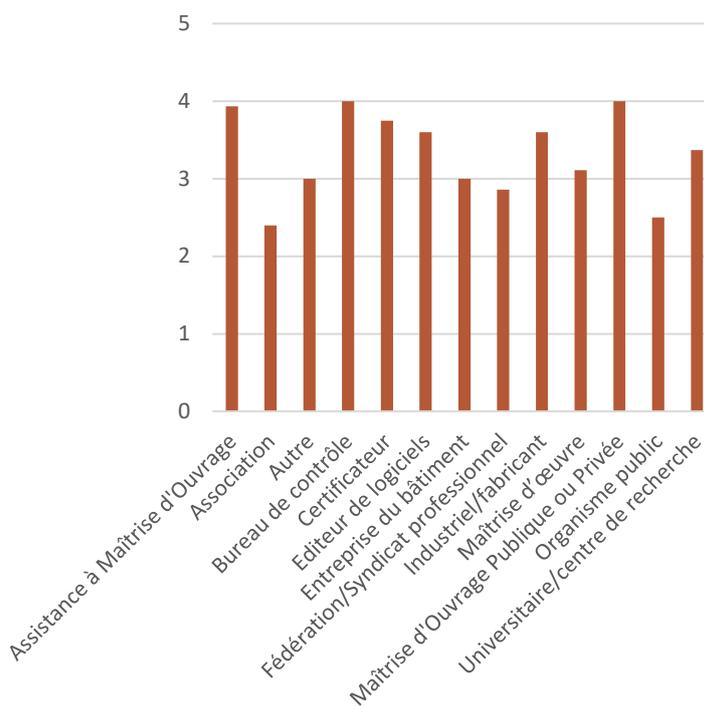
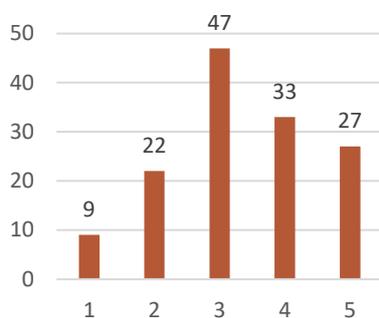
138 réponses avec une moyenne de 3.43 :



Les réponses montrent là encore qu'il pourrait s'agir d'un bonus pertinent. Des remarques alertent sur le fait que la qualité d'usage est très subjective et pourra s'avérer difficile à prendre en compte, d'ailleurs d'autres réponses interrogent sur le type d'indicateurs qui seraient mis en place.

Biodiversité

138 réponses avec une moyenne de 3.34 :

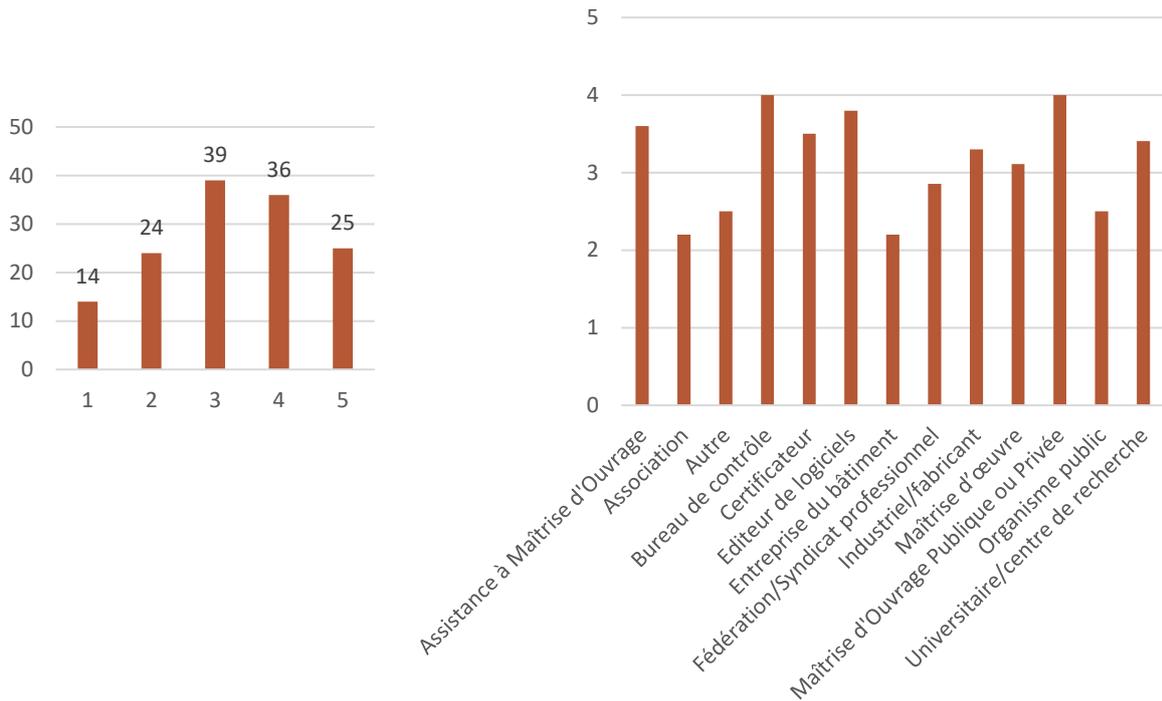


La biodiversité est considérée comme un bonus non indispensable d'après les votes. Une des réponses provenant d'un organisme de recherche précise que prendre en considération la biodiversité dans un calcul d'éco-conception peut aboutir à des conclusions différentes sur le choix de solutions par rapport à simplement regarder les périmètres énergie ou ACV. Il semble donc d'importance de pouvoir prendre en compte ce sujet au plus tôt afin que le programme travaux soit élaboré en conséquence.

La biodiversité fait également partie des sujets abordés dans le cadre de CAP2030, son intégration dans le cahier des charges comme sujet souhaité permettrait donc de mieux couvrir le périmètre CAP2030. La nécessité de la compatibilité du moteur avec CAP2030 est remontée lors des entretiens et donc la biodiversité a de nouveau été citée lors des ateliers thématiques, ainsi, en adéquation avec ces retours il est proposé de remonter d'un niveau la priorité de cette thématique dans le cahier des charges, par rapport au cahier des charges initial. A noter que lors des calculs, la thématique biodiversité peut aujourd'hui être traitée de manière assez indépendante des autres thématiques dans un module spécifique, sa prise en compte ne changera pas l'architecture informatique du moteur de calcul, il est donc plutôt aisé de prévoir son intégration.

Artificialisation

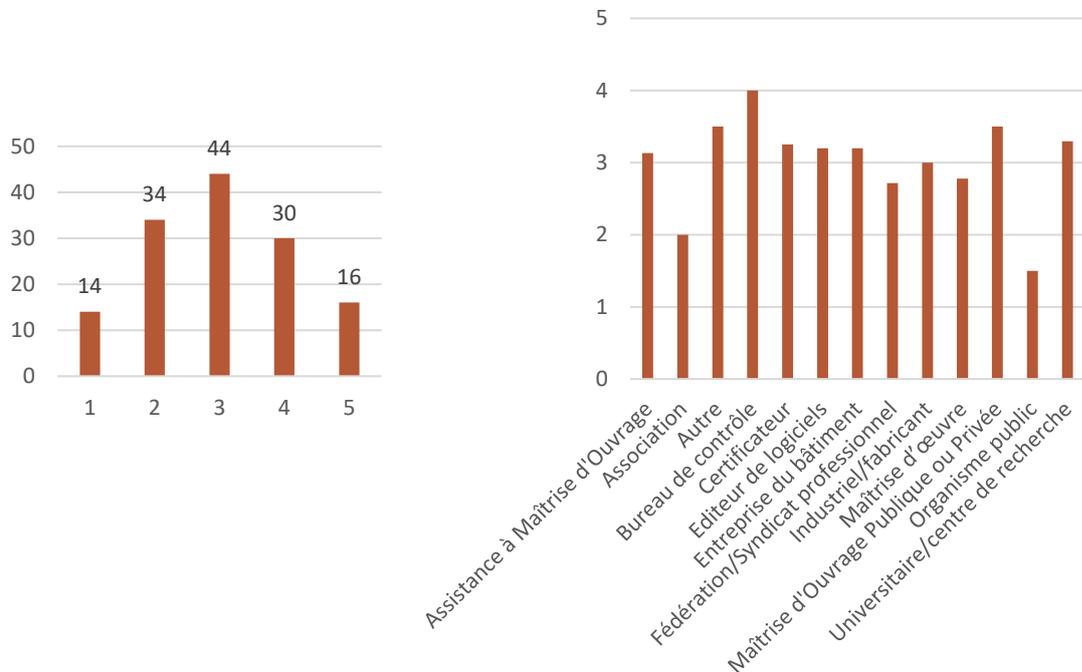
138 réponses avec une moyenne de 3.25 :



Les réponses montrent que la prise en compte de l'artificialisation des sols est une thématique qui relève plutôt du bonus, bienvenue, mais pas prioritaire dans l'outil de demain : même si cette thématique d'actualité doit par ailleurs être traitée.

Mobilités et déplacement

138 réponses avec une moyenne de 3 :



Les réponses matérialisent que les mobilités et déplacements ne sont pas prioritaires mais plutôt vus comme un bonus. Plusieurs réponses soulignent que le concepteur n'a généralement pas le choix sur l'implantation du bâtiment. Une des réponses de bureau d'étude alerte sur le fait que si l'on ne considère que la mobilité des personnes, on oublie la mobilité des biens ce qui favorise les centres urbains sans considération de leur dépendance au transport pour l'alimentation, ce qui augmente encore considérablement la difficulté de prendre en compte cette thématique.

Figure 8 : Tableau récapitulatif de l'enquête en ligne et des entretiens par thématique

Le graphique suivant présente l'ordre de priorisation des thématiques, basé sur la moyenne des notes, matérialisant l'importance des sujets énergie, confort d'été et ACV pour ne citer que les trois premiers :

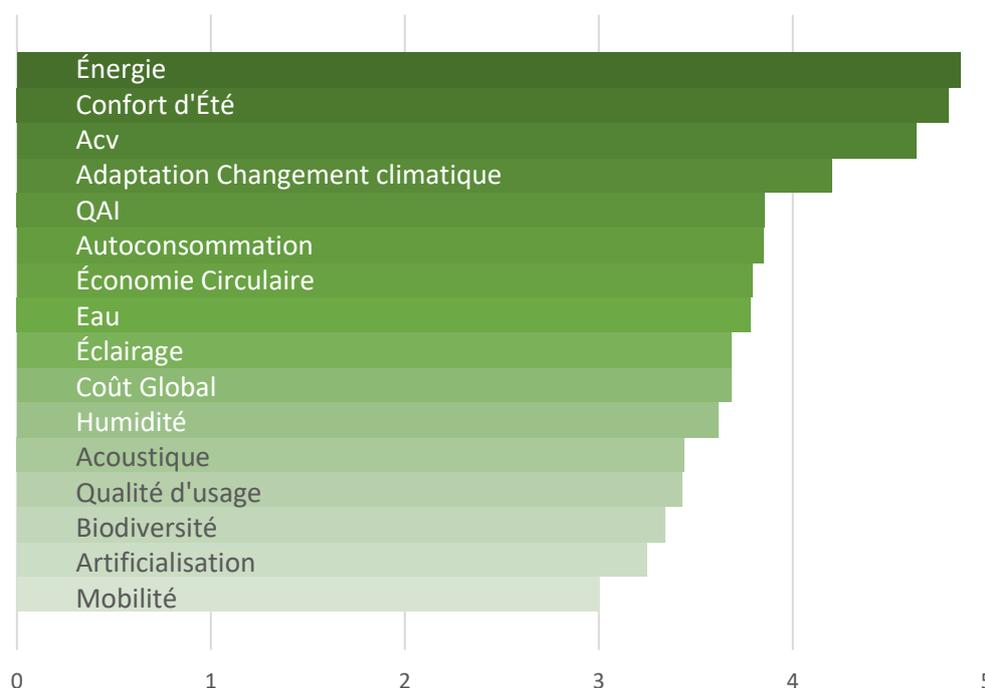


Figure 9 : Note moyenne par thématique

A noter que toutes les thématiques sont considérées comme indispensables ou pertinentes par un socle d'au-moins 60 répondants, sauf l'axe mobilité avec 46 répondants. Ainsi, les thématiques, si elles étaient intégrées, trouveraient probablement des utilisateurs.

Les remarques des personnes ayant répondu aux questionnaires mettent en avant l'importance des sujets en lien avec le dérèglement climatique et parfois le sujet de l'indépendance énergétique. L'outil doit donc prioriser ces notions, les personnes ont répondu au questionnaire en ligne en ayant à l'esprit que le niveau de détail des différentes thématiques traitées dans l'outil ne pourra être le même, la volonté était donc d'identifier les thématiques principales.

Le sujet de mobilité a été peu plébiscité, les commentaires indiquent que la mobilité doit plutôt être intégrée dans les notions d'urbanisme qui ne sont pas propres au projet mais aux réglementations en lien avec la ville, les déplacements, etc. Pour ce qui est du bâtiment, il se doit d'atteindre un niveau de performance identique quel que soit son accès aux transports et choix de mobilité associés.

Sur le sujet de l'eau, un commentaire du questionnaire en ligne invite à se questionner non pas sur l'usage de l'eau dans un bâtiment qui, dans le cas général, est relativement limité, mais plutôt sur les usages particulièrement consommateurs comme les consommations d'eau des piscines.

Enfin certaines réponses au questionnaire rappellent qu'il existe déjà des logiciels sur une ou plusieurs thématiques citées, mais pour ces logiciels les méthodes de calcul ne sont pas harmonisées entre cas d'usage : conception/réglementaire, neuf/existant, etc.

3.2.1.2. Échelle de travail

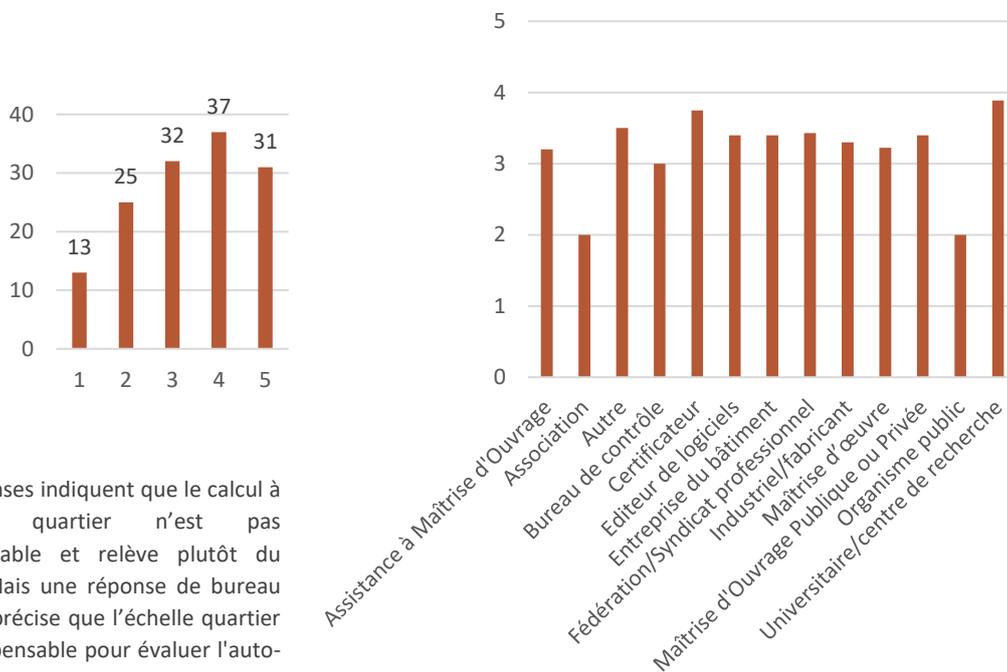
Concernant l'échelle de travail qui paraît pertinente, le questionnaire en ligne apporte les éléments suivants, toujours en utilisant une échelle de notation ainsi répartie :

1. Pas à intégrer – je pense que ça ne devrait pas être intégré : précisez pourquoi dans la question suivante
2. Pas nécessaire – je n'en ai pas le besoin, ça m'est égal
3. Pourquoi pas – c'est du bonus, mais ce n'est pas indispensable
4. Pertinent – ça répond à un besoin, il le faudrait
5. Indispensable – il le faut absolument, impossible de s'en passer

Pour chaque échelle on reproduit à gauche la répartition des notes et à droite la note moyenne attribuée par chaque type d'entité à laquelle appartient le répondant.

Quartier

138 réponses avec une moyenne de 3.35 :

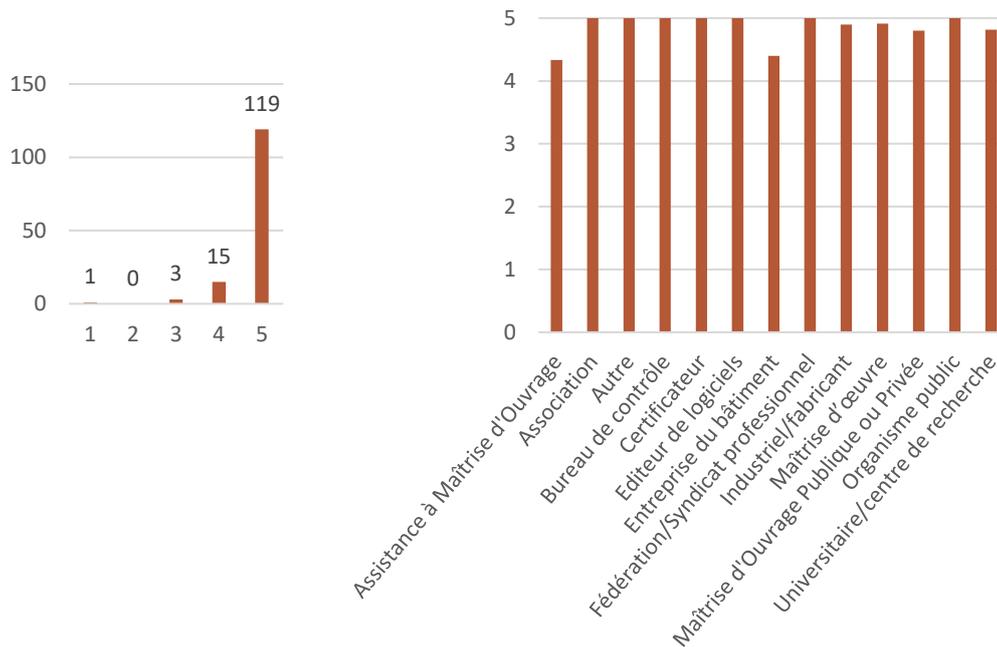


Les réponses indiquent que le calcul à l'échelle quartier n'est pas indispensable et relève plutôt du bonus. Mais une réponse de bureau d'étude précise que l'échelle quartier est indispensable pour évaluer l'auto-consommation collective et, plus

largement, l'impact de la production EnR sur le réseau, ainsi que pour le calcul des ilots de chaleur. Lors des entretiens, les architectes avaient relevé que le périmètre de travail pour l'architecte est le bâtiment, mais qu'il peut être nécessaire d'avoir des informations sur le quartier pour travailler à l'échelle bâtiment (masques...).

Bâtiment

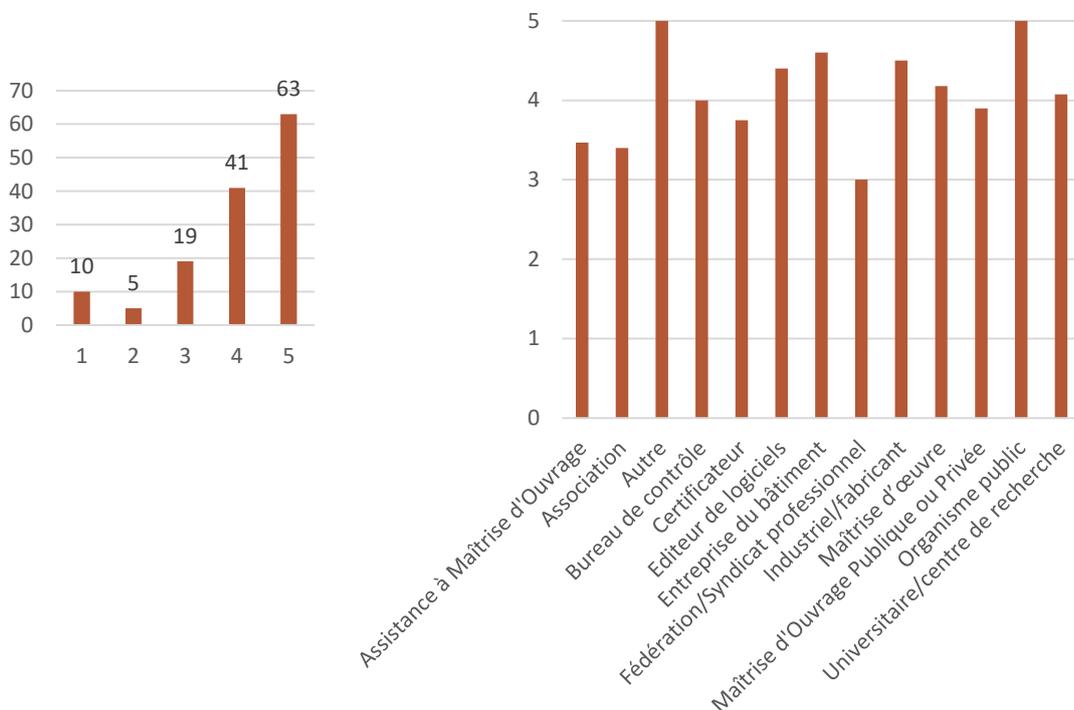
138 réponses avec une moyenne de 4.82 :



Le calcul à l'échelle bâtiment est indispensable pour cet outil d'éco-conception du bâtiment, les acteurs sont unanimes.

Logement

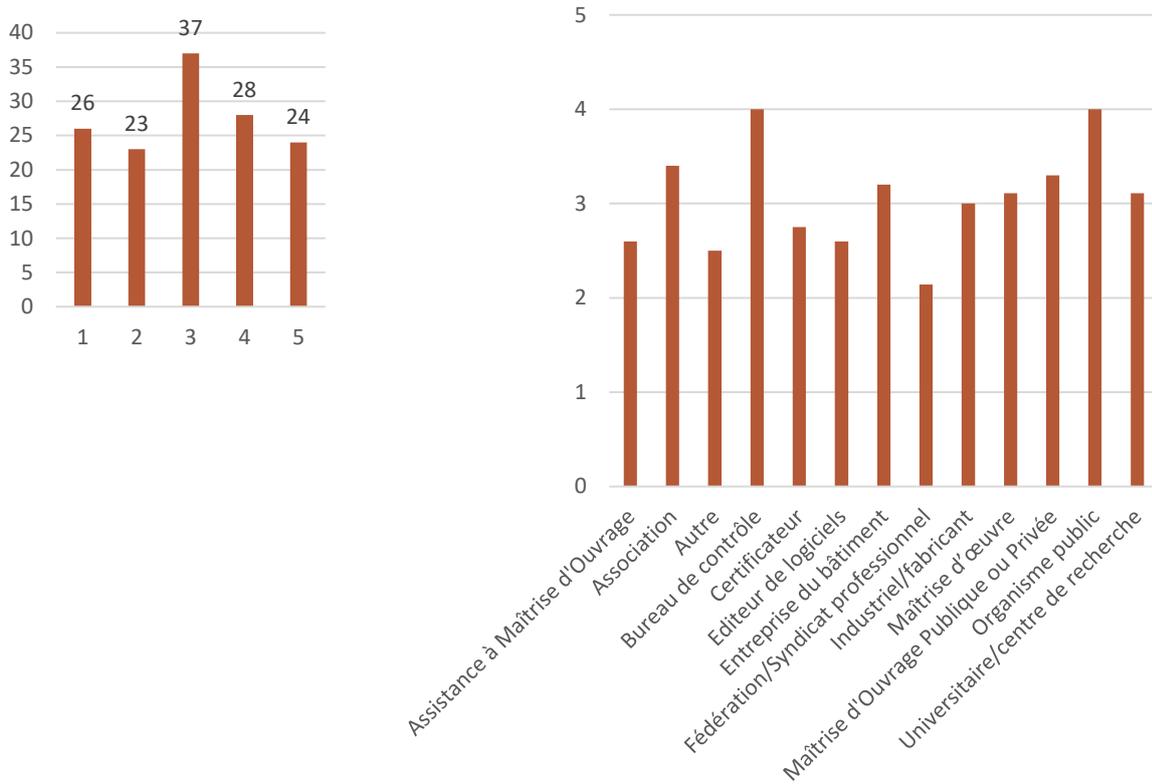
138 réponses avec une moyenne de 4.03 :



L'échelle logement est pertinente et indispensable pour un socle de 63 personnes, même si elle n'est pas indispensable pour tous les répondants. Des notions de confort d'été, thématique plébiscitée, se traitent à l'échelle du logement, cette échelle sera donc à retenir au-moins pour répondre à cela.

Pièce

138 réponses avec une moyenne de 3.01 :



L'échelle pièce n'est pas considérée comme indispensable, elle relève du bonus. Toutefois, lors des entretiens, les éditeurs de logiciels et des modélisateurs relevaient que, pour du calcul de qualité d'air intérieur, de confort intérieur, il pouvait être nécessaire de regarder l'échelle de la pièce.

Figure 10 : Récapitulatif de l'enquête en ligne et des entretiens pour chaque échelle de travail

Le questionnaire en ligne met nettement en avant l'échelle du bâtiment comme indispensable pour les simulations. L'échelle logement est souvent vue comme pertinente.

L'échelle quartier est reconnue comme pertinente lorsqu'elle traite de la production d'énergie et de son autoconsommation collective ainsi que de la notion d'îlot de chaleur, c'est d'ailleurs le terme de "îlot" qu'il serait préférable d'utiliser d'après une réponse. Même dans les cas où on ne traiterai pas ces sujets, pour travailler à l'échelle bâtiment il faut généralement un minimum d'informations issues de cette échelle supérieure (présence de masques par exemple).

La notion de confort (aussi bien en été qu'en hiver) nécessite de travailler à l'échelle de la pièce.

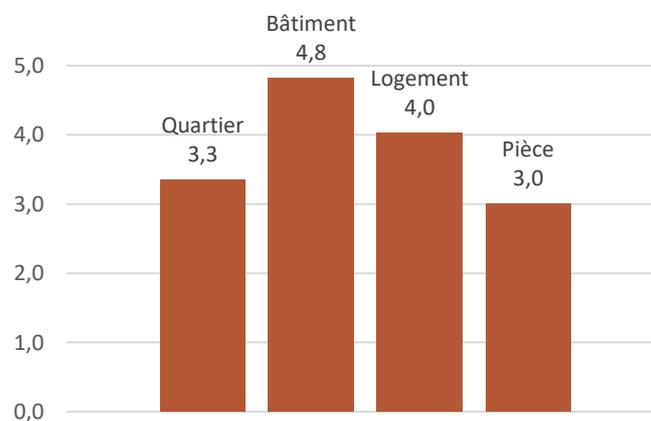


Figure 11 : Moyenne des notes pour chaque échelle

3.2.1.3. Indicateurs

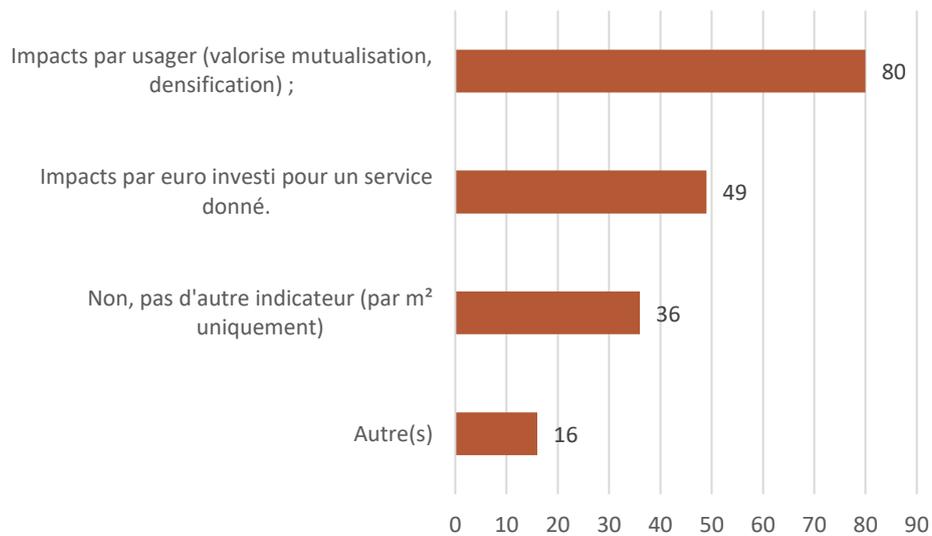


Figure 12 : Nombre de réponses par indicateur

Plusieurs répondants au questionnaire en ligne ont considéré qu'en complément des indicateurs au m², qui ont l'avantage d'être stables comme l'ont relevé les architectes lors des entretiens, d'autres indicateurs sont nécessaires :

- 80 personnes ont cité l'**impact par usager** ce qui en fait un indicateur particulièrement sollicité. Les réponses précisent que l'indicateur a le mérite d'inciter à la sobriété immobilière, c'est-à-dire de rendre possible un travail sur la densification, ce qui n'est pas possible en rapportant les indicateurs au mètre carré de surface au sol. Une réponse précise qu'avoir des indicateurs de ce type va dans le sens d'une certaine justice sociale en favorisant les occupations plus denses dans les résultats.
Lors des entretiens, il avait toutefois été noté par des architectes et modélisateurs d'être prudent avec ce type d'indicateur par usager dans la mesure où l'occupation changeait au cours de la vie du bâtiment, ce qui peut en faire un indicateur assez instable.
Il a aussi été proposé de réfléchir à des indicateurs rapportés à la fréquentation des lieux.
- 49 personnes ont cité l'**impact par euro investi** pour un service donné
- 16 personnes ont proposé d'autres indicateurs dont :
 - Impact en GES pour un service donné
 - Indicateur de poids de CO₂ évité par rapport au poids de CO₂ investi
 - Indicateurs de convivialité, bien être
 - Indicateur de consommation pour une sous-zone
 - Indicateur par m² de façade ou de toiture et pas seulement par m² au sol
 - Indicateur par m³

Des notions de variabilité des impacts en fonction des différents systèmes et solutions utilisés peuvent également être réfléchis : il a par exemple été relevé en commentaire que les résultats pourraient être mis au regard de la durabilité des solutions ou de leur dégradation de performance sur leur durée de vie.

Les répondants mettent par ailleurs en garde sur les travers d'indicateurs par euro investi qui peuvent être instables : ce point avait été mentionné en entretien par les pouvoirs publics.

Les limites des indicateurs au m² sont montrées du doigt dans plusieurs réponses, car ce type d'indicateur favorise les grands logements au détriment des petits. Par exemple la consommation d'eau dépend plutôt du nombre d'usagers que de la surface, la ramener à la surface favorise donc les grands logements, il en va donc de même pour la consommation d'énergie pour l'eau chaude sanitaire.

3.2.2. Fonctionnalités de l'outil

Sur les 138 réponses au questionnaire, les répondants plébisciteraient l'outil surtout pour les phases de préconception et conception avec :

- Préconception - 109 réponses
- Conception - 120 réponses
- Construction - 80 réponses
- L'exploitation - 59 réponses

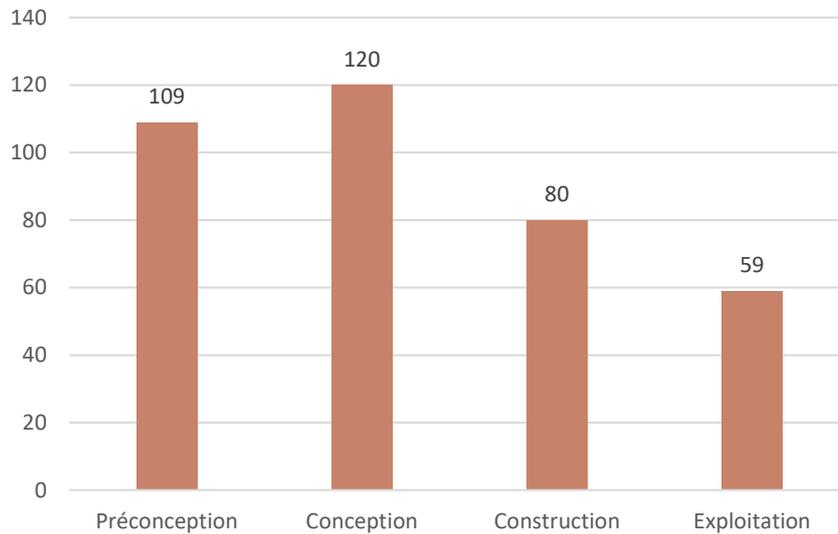


Figure 13 : Phases auxquelles l'outil doit s'adresser d'après les participant.e.s

En ce qui concerne les temps de réponses pour les calculs aux différentes phases, les réponses au questionnaire en ligne matérialisent l'importance d'un **calcul rapide sur les premières phases du projet**, calcul que les répondants imaginent prendre **un peu plus de temps pour les phases de construction et d'exploitation**.

Pour la préconception, le calcul doit être réalisé relativement rapidement. Les réponses sont réparties ainsi :

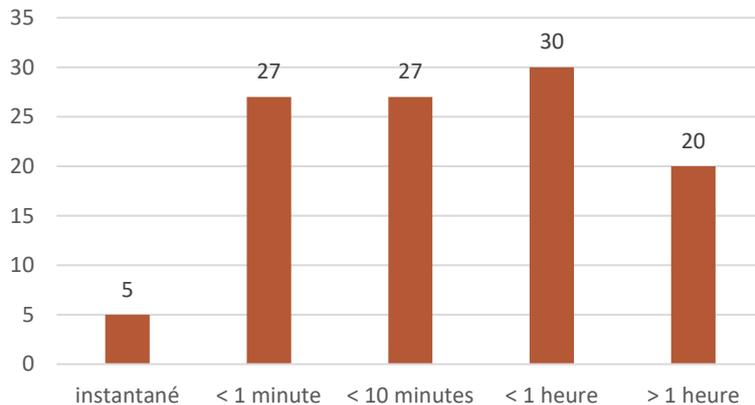


Figure 14 : Temps de calcul demandé par les répondants en préconception

Une des demandes remontées dans les entretiens par un architecte est de pouvoir obtenir un aperçu des indicateurs réglementaires en phase amont d'un projet sans posséder de niveau de détail encore élevé. A ce stade, il s'agit d'obtenir rapidement ces premiers résultats en amont, ce qui va également dans le sens d'avoir un calcul plus rapide pour la préconception.

Pour la conception, le calcul peut être plus long que pour la préconception. Les réponses au questionnaire en ligne sont réparties ainsi :

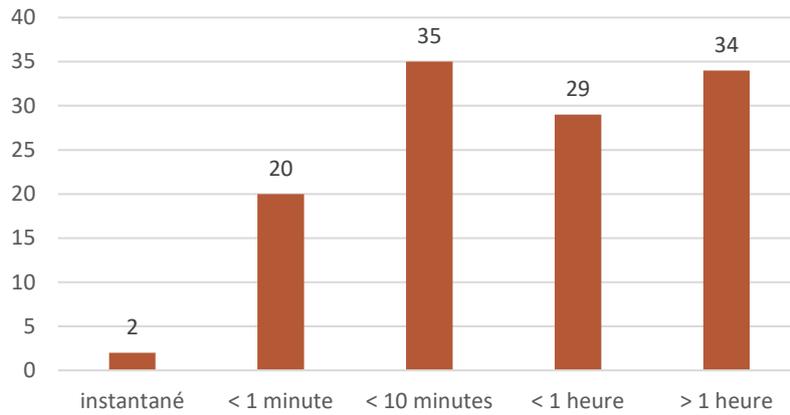


Figure 15 : Temps de calcul demandé par les répondants en conception

Pour la construction, aucun répondant n'attend de réponse instantanée au calcul. Le calcul devrait néanmoins être sur moins de 1h. Les réponses au questionnaire en ligne sont ainsi réparties :

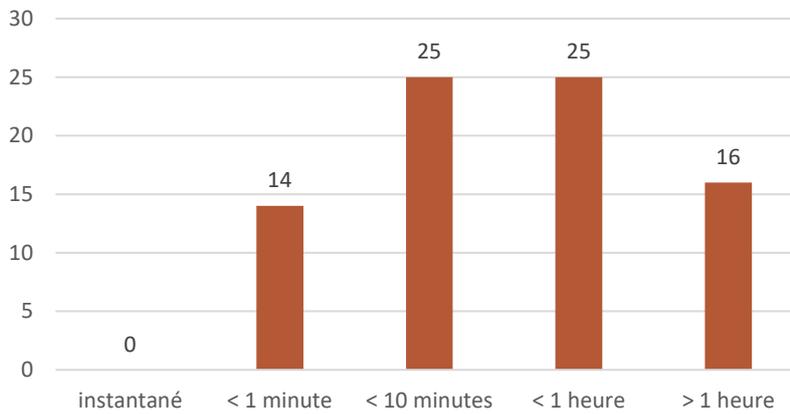


Figure 16 : Temps de calcul demandé par les répondants en construction

Pour la phase exploitation, le calcul doit être réalisé sur moins d'une heure également. Les réponses au questionnaire en ligne sont réparties ainsi :

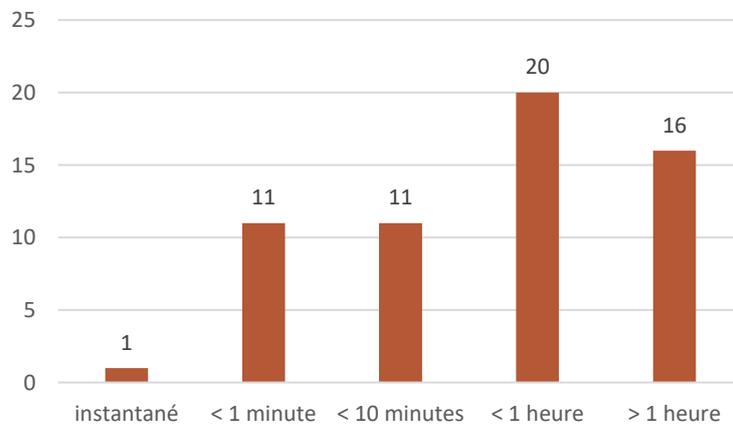


Figure 17 : Temps de calcul demandé par les répondants en exploitation

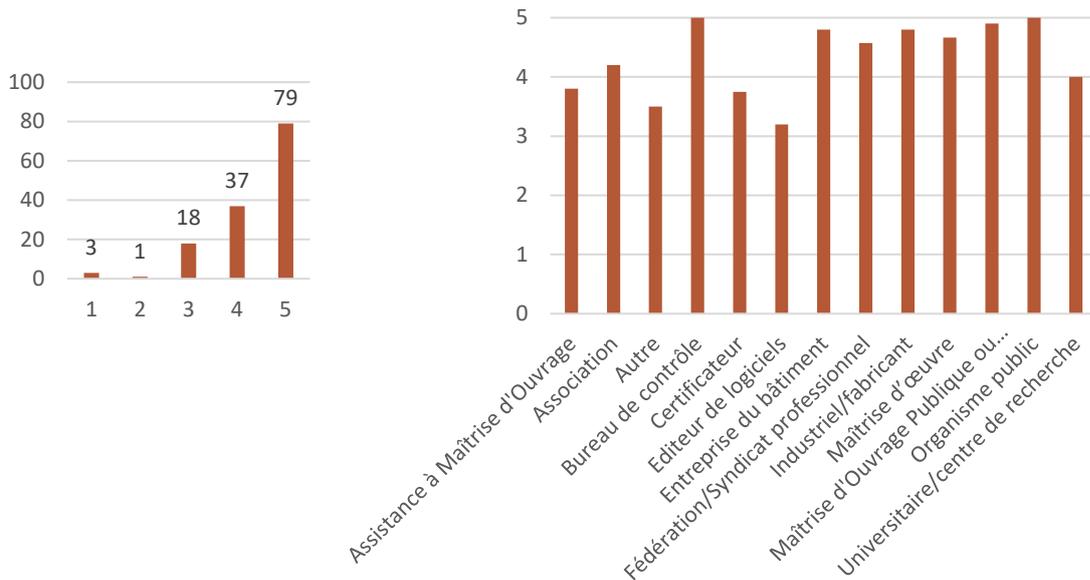
Les fonctionnalités du tableau suivant ont été notées par les répondants dans le questionnaire en ligne suivant le système de notation ci-dessous :

1. Pas à intégrer – je pense que ça ne devrait pas être intégré : précisez pourquoi dans la question suivante
2. Pas nécessaire – je n'en ai pas le besoin, ça m'est égal
3. Pourquoi pas – c'est du bonus, mais ce n'est pas indispensable
4. Pertinent – ça répond à un besoin, il le faudrait
5. Indispensable – il le faut absolument, impossible de s'en passer

Dans le tableau suivant, pour chaque fonctionnalité, le graphique de gauche donne la répartition des notes attribuées et le graphique de droite la moyenne des notes pour chaque type d'entité d'appartenance des répondants.

Possibilité de faire du calcul réglementaire et conception sur un même outil

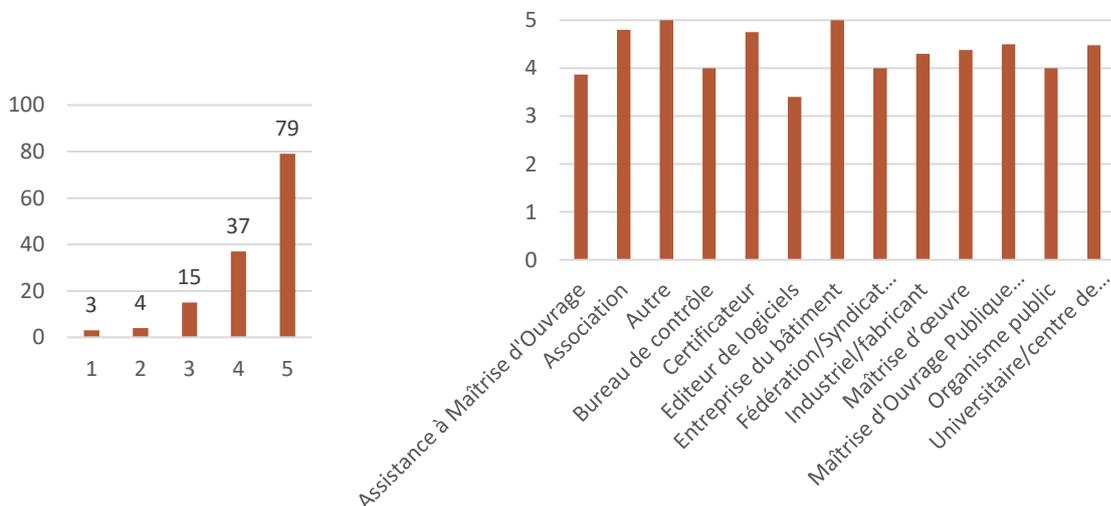
138 réponses avec une moyenne de 4.36 :



La possibilité de faire du calcul réglementaire et de conception sur un même outil est considéré comme indispensable, ce point est développé au 3.3.3 puisque c'est un des axes du produit minimum viable qui a fait l'objet de questions complémentaires.

Facilité de saisie et de récoltes de données (connexion BDD, BIM, interopérabilité avec outils existants)

138 réponses avec une moyenne de 4.34 :



Les réponses montrent qu'il est pertinent de travailler sur la facilité de saisie en entrée, avec même 79 réponses qui jugent cela indispensable.

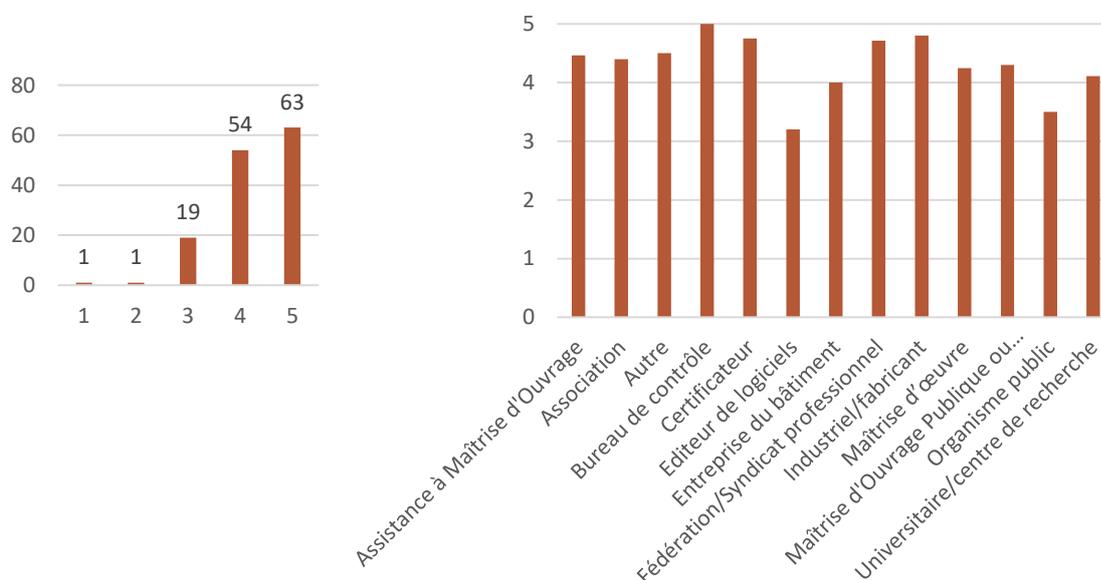
En revanche les éditeurs de logiciel et chercheurs font le retour d'expérience que s'il faut prévoir de pouvoir importer des données de maquettes IFC (BIM), tout particulièrement pour importer les géométries, et d'échanger avec d'autres formats standards (type gbXML), il n'est pas pertinent de travailler directement avec ces maquettes d'un point de vue métier mais plutôt prévoir un modèle analytique ad hoc dans une version détaillée géométrique, ou en modèle dégradé pour une saisie simplifiée. Ce point a fait l'objet d'un échange spécifique avec des éditeurs de logiciel.

Lors des entretiens, des syndicats d'industriels ont soulevé la nécessité de pouvoir se connecter aux bases de données produits (INIES a été cité plusieurs fois, de même qu'Edibatec) et les AMO ont également cité la BDNB (Base de Données Nationale de Bâtiment) comme une référence possible pour aider à saisir des données.

Une possible connexion avec le Carnet d'Information du Logement est évoquée dans les réponses et plus généralement il y a des attentes pour que les futurs outils basés sur ce moteur puissent s'intégrer à l'écosystème déjà existant.

Résultats proches de la réalité

138 réponses avec une moyenne de 4.28 :



Avoir des résultats proches de la réalité est pertinent ; lors des entretiens, des industriels précisait que leur besoin était en particulier de pouvoir définir les scénarios d'usage pour s'approcher de l'occupation réelle et permettre les comparaisons. D'autres acteurs alertent sur la difficulté de modéliser l'occupation de façon réaliste. Une réponse suggère qu'il faut distinguer le cas d'usage consistant à comparer les bâtiments entre eux en modélisant une occupation standard, du cas d'usage consistant à avoir une prise de décision efficace qui nécessite de s'approcher de l'occupation réelle.

Une autre réponse propose d'intégrer la notion d'incertitude sur les données d'entrée (cela concerne en particulier l'occupation) et le suivi de l'incertitude que cela entraîne sur les résultats.

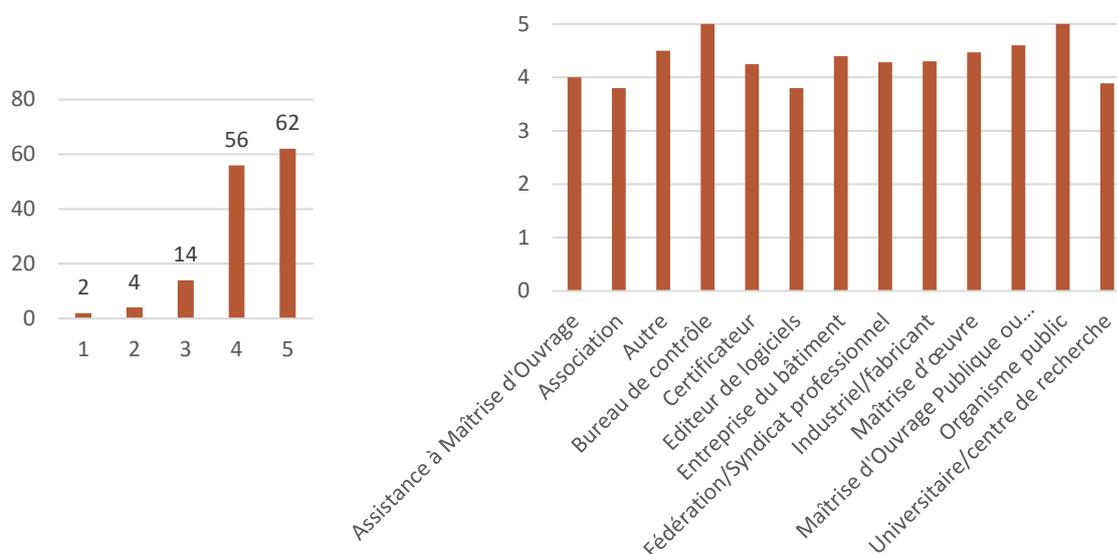
[ATELIER performance réelle mené le 02/04/2024 – 16 participants]

Un atelier spécifique a été mené avec des acteurs pour préciser les besoins associés à la performance réelle dans le moteur de calcul d'éco-conception.

Concernant le besoin d'avoir des résultats proches de la réalité, il est ressorti de cet atelier la nécessité d'avoir d'une part un moteur de calcul fiable (pour les bonnes données d'entrées, résultats proches de la réalité) et d'autre part une fonctionnalité de propagation d'incertitude sur les données d'entrée jusqu'à avoir une information sur la fiabilité des résultats en sorties.

Contrôles automatiques de cohérence, détection des probables erreurs de saisie.

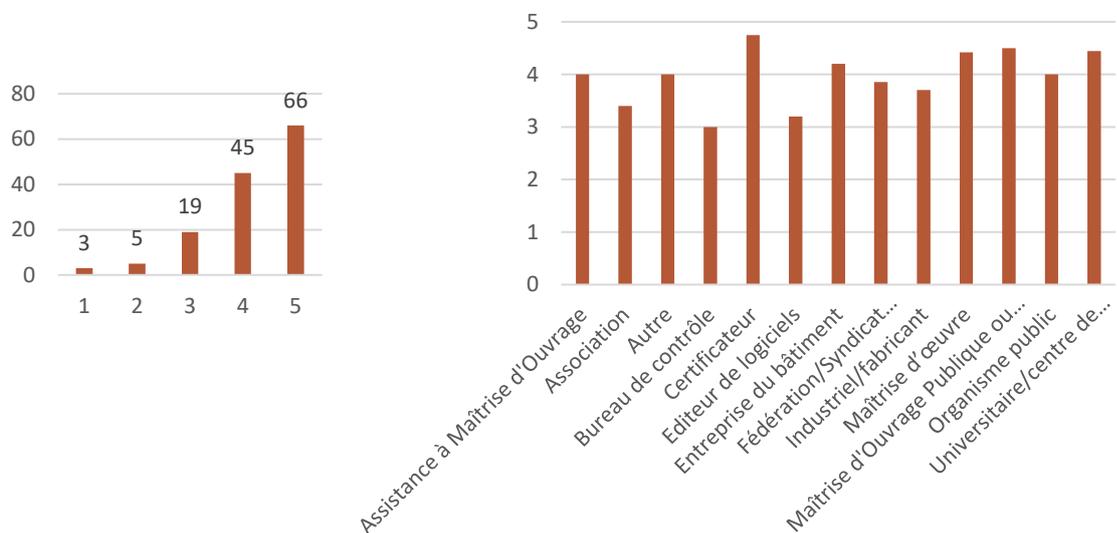
138 réponses avec une moyenne de 4.25 :



Les réponses indiquent qu'il est très pertinent de mettre en place des contrôles automatiques de cohérence. Les organismes certificateurs étaient demandeurs de ce type de fonctionnalité dans les entretiens. On trouve également une attente particulière de la part des bureaux de contrôles répondants à l'enquête.

Niveaux de saisie différents selon la phase du projet (moins de données demandées en amont...)

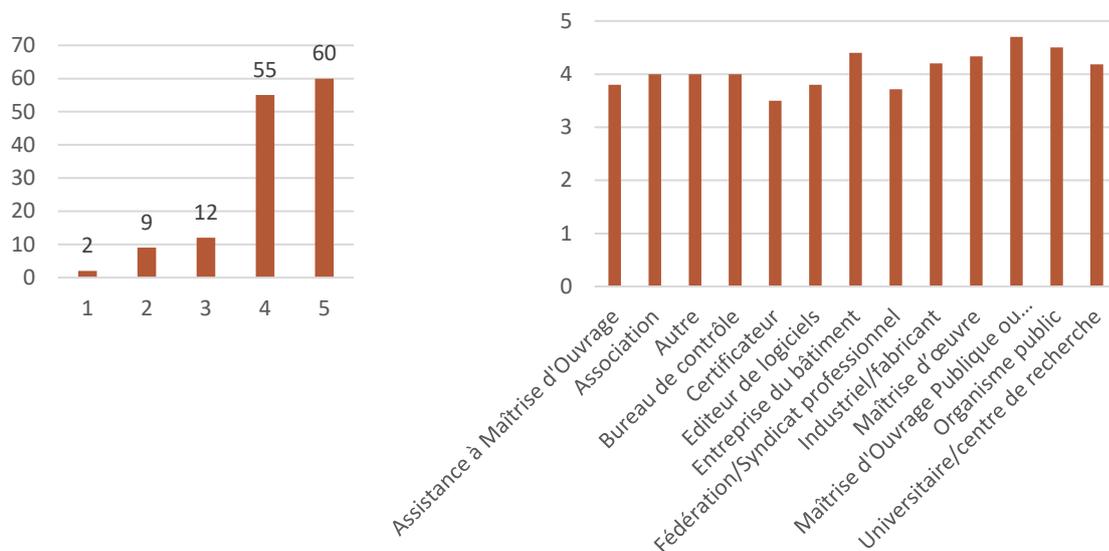
138 réponses avec une moyenne de 4.20 :



Le fait d'avoir des niveaux de saisie différents selon la phase du projet est jugé très pertinent par les acteurs. Cet aspect était largement demandé lors des entretiens, par les architectes qui veulent pouvoir estimer des indicateurs réglementaires en phase amont en ayant peu de données à disposition. Ce besoin d'avoir une estimation des indicateurs réglementaires dès les phases concours a aussi été remontée comme une demande régulière aux éditeurs de logiciels.

Aide à la décision et interprétation des résultats facilités (choix, indicateurs pédagogiques)

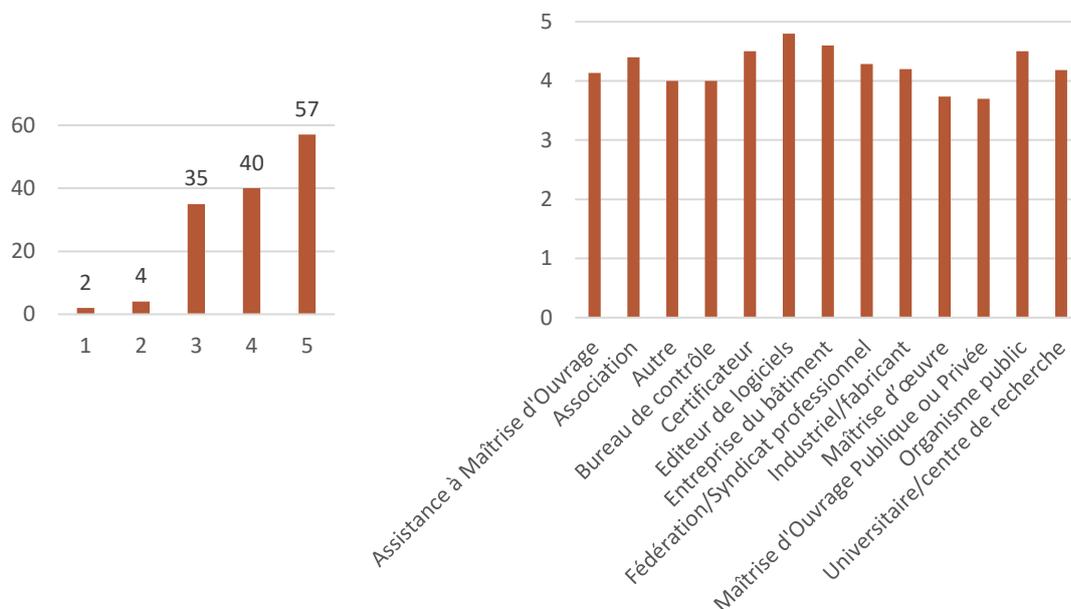
138 réponses avec une moyenne de 4.17 :



Là encore, l'aide à la décision et à l'interprétation des résultats est vue comme pertinente. Si ce point est l'une des priorités pour les architectes, collectivités et foncières interrogées lors des entretiens, les modélisateurs mettent eux en garde sur le fait que les recommandations doivent toujours s'appuyer sur une véritable expertise métier. Par ailleurs, les bureaux d'études insistent lors des entretiens sur la nécessité de toujours conserver les données brutes en sortie et de ne pas seulement afficher des informations d'aide à la décision, afin de permettre une véritable analyse experte.

Transparence du code, possibilité de personnaliser les modèles pour tester mes systèmes, l'adapter à mes applications de recherche et possibilité de contribuer en proposant des modèles, améliorations ou corrections

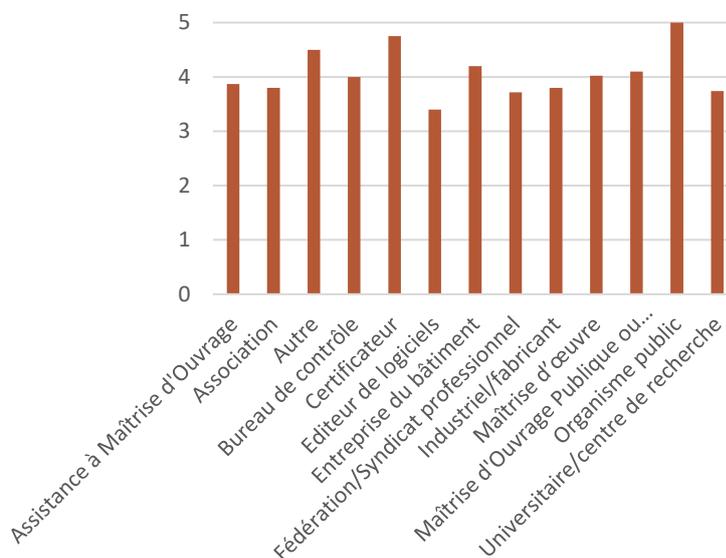
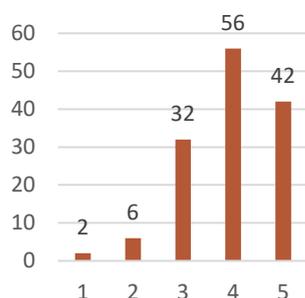
138 réponses avec une moyenne de 4.06 :



Le fait d'avoir un code transparent, personnalisable, voire auquel il est possible de contribuer est considéré comme pertinent. Ce point est développé au §3.3.4 car il s'agit de l'un des axes du produit minimum viable qui a fait l'objet de questions complémentaires.

Suivi de la performance réelle post-conception/livraison ou comparaison calcul/mesure objectif pour agir ou corriger

138 réponses avec une moyenne de 3.94 :



La comparaison entre calcul et mesure pour un suivi de la performance réel est considéré comme un axe pertinent. Lors des entretiens les acteurs étaient globalement intéressés mais posaient la question de comment cet aspect doit être mis en œuvre, il faut peut-être prévoir dans les outils une vue spécifique aux phases après livraison, en exploitation.

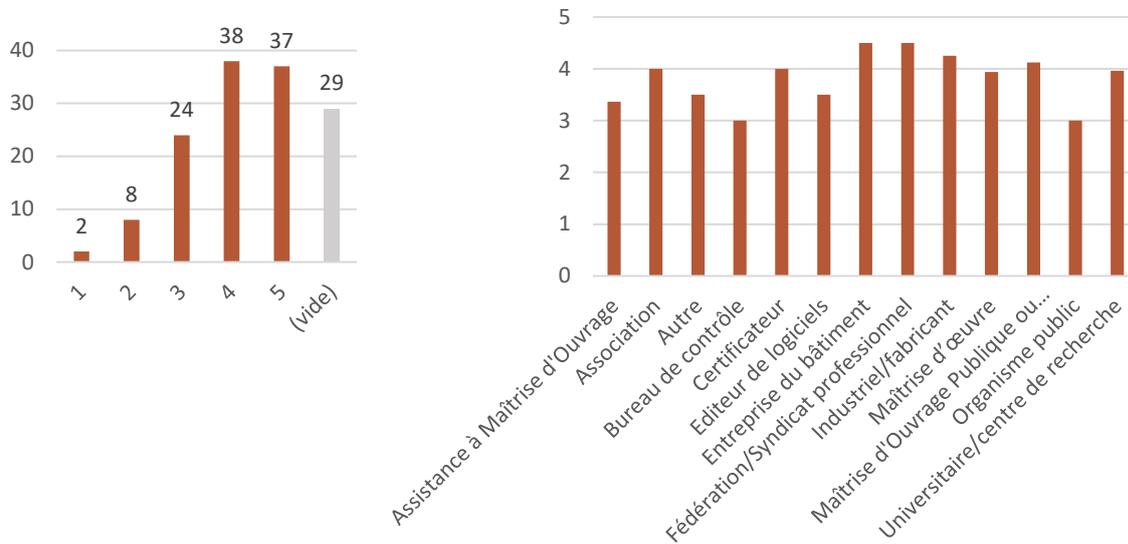
[ATELIER performance réelle mené le 02/04/2024 – 16 participants]

Un atelier spécifique a été mené avec des acteurs pour préciser les besoins associés à la performance réelle dans le moteur de calcul d'éco-conception.

Concernant le besoin de suivre la performance réelle ou de comparer calcul et mesure, il est ressorti de cet atelier qu'il faut intégrer des fonctionnalités associées à la garantie de performance énergétique : permettre de saisir les occupations réelles, la météo réelle et bénéficier de la propagation d'incertitude pour donner des fourchettes de résultats possibles plutôt qu'un résultat absolu. Inversement, il faut permettre la calibration de modèle à partir de données réelles. Le moteur doit permettre d'utiliser le protocole IPMVP.

Compatibilité avec les normes européennes et internationales

109 réponses avec une moyenne de 3.92 :



Note sur les résultats : la compatibilité sur les normes européennes a été ajoutée dans le questionnaire au cours de l'enquête, ainsi les 29 premiers répondants n'ont pas pu se prononcer sur cet axe.

Cet axe a été jugé comme plutôt pertinent par les répondants à l'enquête, mais pas dans les plus prioritaires. Lors des entretiens, les industriels des systèmes énergétiques notaient l'importance d'harmoniser les travaux avec les méthodologies et réglementations européennes.

Les pouvoirs publics ont également souligné le besoin d'être en conformité avec le droit européen pour le réglementaire (DPEB, réglementations sur les produits de construction...), tout en gardant la possibilité de disposer de la marge de manœuvre prévue pour la déclinaison en réglementation nationale.

[ATELIER directives et normes européennes et internationales mené le 28/03/2024 – 18 participants]

Un atelier spécifique a été mené avec des acteurs pour préciser les besoins associés à l'adéquation avec les directives et normes européennes et internationales dans le moteur de calcul d'éco-conception.

Concernant le besoin d'adéquation avec le cadre européen et international, il est ressorti de cet atelier les points suivants :

Il a été mis en évidence, comme pour le questionnaire, la nécessité de pouvoir être en conformité avec les textes européens en précisant que certains textes (directives, règlements) sont d'application obligatoire, et d'autres non (normes). Sur certains sujets la France va déjà au-delà des objectifs européens (par exemple le respect d'une étiquette DPE pour la location ou vente, l'ACV dans la réglementation neuve), il faut donc également garder une marge de manœuvre pour les applications nationales de la réglementation.

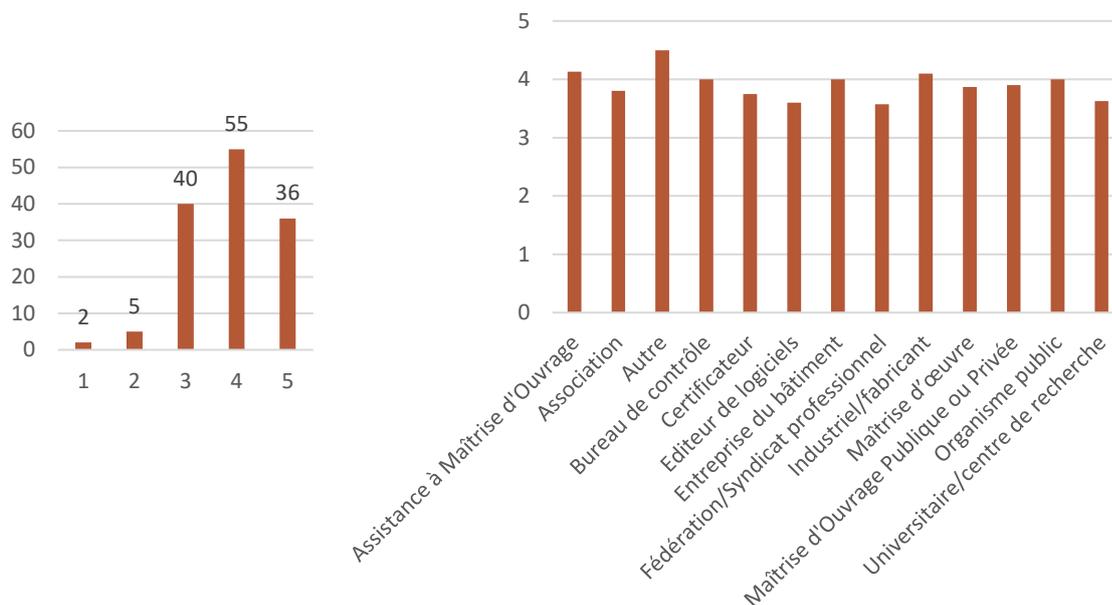
Sur certaines thématiques du périmètre du moteur, les normes ne sont pas forcément identifiées, ainsi il apparaît important de faire un inventaire exhaustif des textes et normes existants par thématique traitée. Ce travail doit être mené y compris si le texte européen n'est pas d'application obligatoire.

L'atelier met ainsi en exergue la volonté de tendre vers l'Europe avec un outil en adéquation avec l'échelon européen (directives, réglementations, etc.). Ainsi, il apparaît crucial pour le moteur de calcul de demain de pouvoir suivre les évolutions au niveau européen sur les différents sujets traités.

En conclusion sur ce point, il faut prendre en compte évidemment les textes d'application obligatoire, mais également essayer de prendre au maximum en compte les autres textes, tout en gardant pour ces derniers la possibilité d'une adaptation nationale.

Alimenter la modélisation par des retours d'expériences réels sur les solutions

138 réponses avec une moyenne de 3.86 :



Alimenter des modélisations par des retours d'expérience sur les solutions a été demandé lors des entretiens, cet aspect apparaît comme plutôt pertinent.

[ATELIER performance réelle du 02/04/2024 – 16 participants]

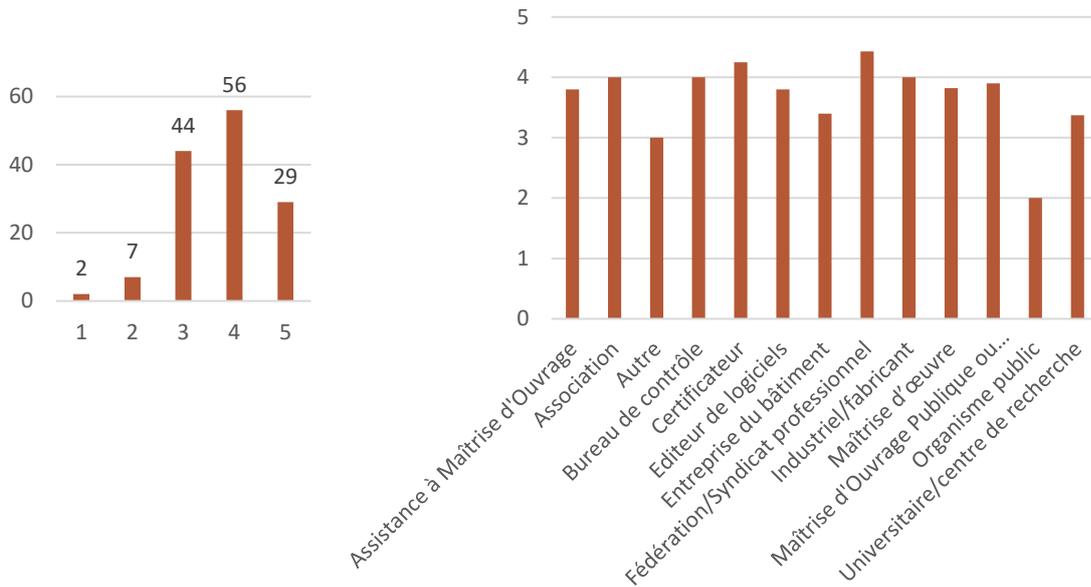
Un atelier spécifique a été mené avec des acteurs pour préciser les besoins associés à la performance réelle dans le moteur de calcul d'éco-conception.

Concernant la proposition d'alimenter la modélisation avec des retours d'expériences réels sur les solutions, peu d'éléments ont été imaginés. Il a été proposé par un participant de pouvoir injecter en entrée les relevés de consommations réelles d'un système. A noter que pour ce type d'utilisation il faudra alors s'assurer que le reste de la simulation soit compatible (occupation, fichier météorologique, etc.).

Il est remonté qu'il serait intéressant de pouvoir prendre en compte la dégradation de performance des produits et matériaux de construction dans les simulations.

Exhaustivité des indicateurs calculés

138 réponses avec une moyenne de 3.75 :



Il est plutôt pertinent de chercher à être exhaustif sur les indicateurs calculés, encore que, d'un ordre de priorité plus faible par rapport aux fonctionnalités précédentes si l'on considère la moyenne des votes. Lors des entretiens les modélisateurs étaient demandeurs d'un maximum d'indicateurs, mais une réponse de collectivité à l'enquête demande de favoriser la pertinence des indicateurs à leur exhaustivité, ainsi il faudra probablement prévoir des vues différentes dans les outils selon les usages.

Actions de sobriété ou de densification d'usage évaluées ou proposées au même titre que des travaux d'amélioration

138 réponses avec une moyenne de 3.56 :

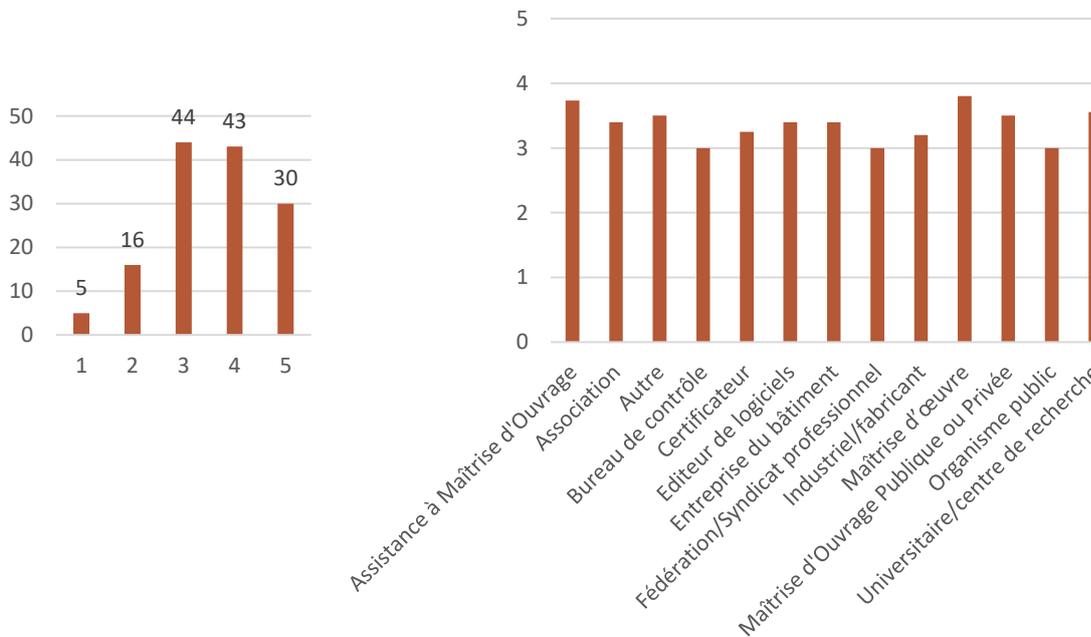


Figure 18 : Récapitulatif de l'enquête en ligne et des entretiens par fonctionnalité

La prise en compte de la sobriété ou le travail sur l'usage comme levier d'action au même titre que des travaux, est jugé plutôt pertinente.

Les répondants ont jugé toutes les fonctionnalités comme pertinentes, les notes permettent toutefois d'apporter un ordre de priorité. Les réponses mettent la priorité sur la possibilité de faire du calcul réglementaire et de conception sur un même outil. La facilité de saisie est également clairement mise en avant par les personnes ayant répondu au questionnaire en ligne.

L'ordre de priorité basé sur les notes moyennes attribuées est le suivant (de la fonctionnalité la plus indispensable à la moins bien notée, qui est tout de même jugée plutôt pertinente) :

- Possibilité de faire du calcul réglementaire et conception sur un même outil
- Facilité de saisie et de récoltes de données (connexion BDD, BIM, interopérabilité avec outils existants)
- Résultats proches de la réalité
- Contrôles automatiques de cohérences, détection des probables erreurs de saisie.
- Niveaux de saisie différents selon la phase du projet (moins de données demandées en amont...)
- Aide à la décision et interprétation des résultats facilités (choix, indicateurs pédagogiques)
- Transparence du code, possibilité de personnaliser les modèles pour tester mes systèmes, faire de la recherche et/ou possibilité de contribuer en proposant des modèles, améliorations ou corrections
- Suivi de la performance réelle post-conception/livraison ou comparaison calcul/mesure objectif pour agir/corriger
- Compatibilité avec les normes européennes et internationales
- Alimenter la modélisation par des retours d'expériences réels sur les solutions
- Exhaustivité des indicateurs calculés
- Actions de sobriété ou de densification d'usage évaluées ou proposées au même titre que des travaux d'amélioration

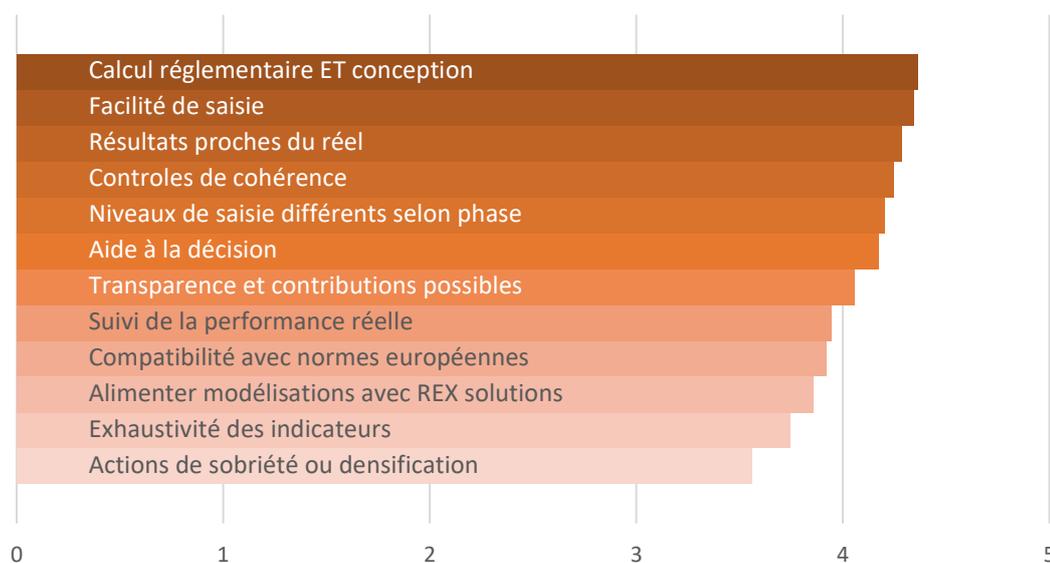


Figure 19 : Note moyenne par priorité fonctionnelle

D'autres fonctionnalités inhérentes à la mise en place d'un outil d'éco-conception sont naturellement à prévoir même si elles n'ont pas été testées dans le cadre de l'enquête. Lors des entretiens, la mise en place d'une bonne gestion des versions de travail d'un projet a ainsi été remontée. La mise en place de vues ergonomiques, qui rejoint l'idée de niveaux de saisie adaptés, a également été citée.

Pour répondre aux points d'attentions remontés dans les entretiens, les outils basés sur le futur moteur d'éco-conception du bâtiment devront traiter avec clarté les différents cas d'usage, par exemple en conception et en réglementaire, pour qu'il n'y ait pas d'ambiguïté sur la valeur ou la portée des résultats, ni sur les niveaux de détail demandés en entrée de simulation.

La notion de fiabilisation revient à plusieurs reprises dans les commentaires des répondants qui verraient de bon augure la mise en place de contrôles de cohérence sur les saisies des utilisateurs et utilisatrices, voire, pour un répondant d'un « certificat ou permis de simuler ».

Plusieurs répondants suggèrent l'intégration de modules de calculs de ponts thermiques.

Enfin, des réponses proposent que les indicateurs retenus pour objectiver les prises de décisions soient choisis en fonction des enjeux identifiés pour chaque projet, ou encore que l'utilisateur puisse construire ses propres indicateurs en fonction des sorties physiques « brutes » calculées.

3.2.3. Pilotage, gouvernance et modèle économique

3.2.3.1. Modalités de gouvernance

Les retours d'entretiens ont révélé un intérêt marqué pour le développement d'un outil open-source, soulignant les avantages potentiels tels que la création d'espaces collaboratifs, la modularité et la flexibilité, ainsi que l'accès au moteur, qui favorisent la transparence, les contrôles et les contributions.

La gouvernance proposée s'articule autour de ces enseignements, et vise à équilibrer la liberté d'innovation avec des mécanismes de validation appropriés. Il a été proposé aux répondants à l'enquête que le moteur de calcul suive une architecture modulaire avec 3 niveaux de validation identifiés :

1. Modules utilisables pour du calcul **réglementaire**, validés par les pouvoirs publics
2. Modules avec **validation scientifique** par un comité, ou un tiers indépendant du déposant du module
3. Modules **libres**, proposés à la communauté, sans validation, permet de mutualiser les développements sans entraver le partage et l'innovation.

Pour garantir la cohérence globale du moteur, la gouvernance du moteur s'organiserait autour de :

- Un **comité technique** : Composé d'experts techniques, le comité technique est chargé de la vérification de la qualité du code et de la validation scientifique des modules. L'instruction de la validation des modules se répartirait entre membres (un membre qui propose un module ne peut pas instruire) ;
- Un **comité stratégique** : Le comité stratégique décide des grandes orientations du moteur, en matière de développement de nouveaux modules ou d'intégration des modules issus des contributions libres. Il fixe les orientations pour le modèle économique, la communication ;
- Un **administrateur** devra être désigné. Ce rôle est actuellement assumé par le CSTB.

L'idée d'une gouvernance partagée par les acteurs de la filière, tout en maintenant un rôle décisionnaire de l'État sur le volet réglementaire, a souvent été mentionnée lors des entretiens et a servi à construire la proposition précédente.

L'enquête en ligne a confirmé le soutien massif à cette organisation en 3 niveaux de validation d'une part, et à la proposition des organes de gouvernance d'autres part, avec 131 réponses positives sur 137 pour chacun des deux aspects.

Les points de vigilance soulevés ont particulièrement visé les modules libres qui pourraient être développés, ainsi que les mécanismes de contrôle sur les autres modules.

Les répondants ont exprimé :

- Des questionnements sur les modalités de validation des évolutions, modifications, et l'ajout de nouveaux modules
- La nécessité d'une lisibilité sur les évolutions apportées, incluant des informations telles que la date, les contributeurs, et les organes de validation
- Des préoccupations quant à la régularité des révisions, évitant qu'elles ne deviennent la porte ouverte à des modifications incessantes

Ces différents sujets seront à résoudre en comité stratégique.

Les répondants ont souligné :

- L'importance de la validation des différentes versions et modules par une gouvernance ouverte et transparente, associée à l'État pour le volet réglementaire pour que les modules soient reconnus.
- La nécessité d'assurer une bonne représentativité des acteurs et d'apporter transparence et clarté dans le processus décisionnel. Pour le comité stratégique, il faudra veiller à être représentatif des acteurs de la filière du bâtiment, de l'immobilier, et éventuellement de l'aménagement.
- Que des comités informatiques et usagers pourraient également être constitués et participer à une plus grande performance et adaptation au besoin des usagers du moteur.

[ATELIER modèle économique et gouvernance a été mené le 28/03/2024 – 14 participants]

Un atelier spécifique a été mené avec des acteurs pour préciser les besoins et idées sur la gouvernance et le modèle économique du moteur de calcul d'éco-conception.

Concernant la gouvernance, il est ressorti de cet atelier la nécessité de veiller à ce que les intérêts privés n'influencent pas la réglementation. Il a été rappelé que les pouvoirs publics seront décisionnaires sur les choix de modules réglementaires et de la méthode de calcul réglementaire en général.

Pour la validation scientifique et les orientations générales de développement non-réglementaires, la gouvernance du moteur devra être composée de représentants de l'ensemble de la chaîne de valeur des acteurs de la construction et être articulée avec le dispositif CAP2030 pour assurer la cohérence de ces démarches, en mobilisant des personnes en commun. Dans le détail, les critères de sélection et processus doivent être définis, cela dépendra notamment de la provenance des financements du développement du moteur.

3.2.3.2. Modèle économique

Les entretiens concernant le modèle économique proposent plusieurs points de vue. Ils ont mis en évidence la nécessité de distinguer le financement entre le volet réglementaire et non réglementaire. Il faudra éventuellement distinguer le financement initial du financement en régime de croisière.

Les modules réglementaires devront bénéficier d'un financement public. Lors des entretiens, les pouvoirs publics ont relevé que, pour le volet réglementaire, apporter du financement public permet de se constituer comme décisionnaire, ce qui est particulièrement important pour garder la maîtrise de la réglementation.

Concernant les modules hors champs réglementaires, plusieurs sources de financement ont été proposées, les principales étant la vente de licence d'utilisation lorsque le moteur est intégré à un logiciel ou la contribution des industriels qui créent des modules qui valorisent spécifiquement leurs produits.

Le questionnaire a recueilli 111 réponses positives sur 138 concernant la vente de licence, soulignant un certain soutien pour cette proposition de modèle de financement, avec la réserve que les tarifs soient accessibles pour les petites structures. 2 éditeurs de logiciel sur 5 sont contre cette proposition considérant que la partie réglementaire des moteurs de calcul doit être financée par les pouvoirs publics, que des logiciels à coûts raisonnables existent déjà et que si l'objectif est une diffusion large du moteur alors son intégration doit être gratuite.

Il a été proposé que les industriels contribuent au financement du moteur et de la plateforme lorsqu'ils créent ou bénéficient d'un module de calcul spécifique à leurs systèmes, qu'ils souhaitent valoriser dans le moteur de calcul. La proposition de la contribution des industriels est majoritairement acceptée (97 réponses positives soit 70% des répondants). Cependant elle fait moins consensus, elle pose notamment la question de prise en compte des produits issus de filières non ou peu industrialisées : les produits biosourcés ou issus de réemploi/recyclage notamment. Des remarques relèvent aussi le risque d'avoir des modules orientés trop en faveur de certains produits par des industriels. Une remarque relève que pour les industriels il faudra alors remplacer la procédure titre V actuelle.

Types d'entités ayant apporté une réponse négative sur la contribution des industriels :

- Éditeur de logiciel : 1 soit 20 % des éditeurs
- Entreprise du bâtiment : 1 soit 20 % des entreprises du bâtiment
- Fédération/Syndicat professionnel : 6 soit 85 % des fédérations
- Industriel/fabricant : 7 soit 78 % des industriels
- Maîtrise d'œuvre : 15 soit 37 % des MOE
- Maîtrise d'Ouvrage Publique : 2 soit 40 % des MOA
- Universitaire/centre de recherche : 4 soit 17 % des chercheurs et chercheuses

A noter également qu'au sein d'une même structure, les avis sur ce financement peuvent diverger.

S'agissant d'un enjeu public, certains répondants souhaitent que le financement soit largement public pour la validation des modules et l'animation des communautés autour du moteur, même en ce qui concerne la partie conception. Une réponse propose qu'un financement provienne de la certification payante de la capacité du modélisateur de la MOE, qui en retour pourrait voir sa prime d'assurance diminuée grâce à une meilleure conception qui aboutit à une baisse des sinistres.

Lors des entretiens et dans l'enquête, la recherche de financement complémentaire pour le développement initial a été évoqué, avec la recherche de programmes CEE, ou de projets européens par exemple.

Les pouvoirs publics indiquent que le modèle financier proposé devra faire l'objet d'une étude de faisabilité technique et juridique.

[ATELIER modèle économique et gouvernance a été mené le 28/03/2024 – 14 participants]

Un atelier spécifique a été mené avec des acteurs pour préciser les besoins et idées sur la gouvernance et le modèle économique du moteur de calcul d'éco-conception.

Concernant le modèle économique, les principes proposés précédemment ont de nouveau été repris : nécessité d'une plateforme ouverte et transparente, permettant l'inspection et l'amélioration continue des modules par la communauté, réglementaire distinct du non-réglementaire avec financement public d'une part et contribution des utilisateurs commerciaux d'autre part (pour financer notamment la validation scientifique). Lors de l'atelier une alerte a été émise sur la difficulté à cloisonner les financements pour le moteur réglementaire et pour un moteur de conception. Toutefois la diffusion en open source répond en partie à ces craintes dans la mesure où tout le monde peut ainsi bénéficier d'une vaste bibliothèque de modules validés. Pour les éditeurs présents lors de l'atelier il faudrait aussi autoriser le « branchement » de modules propriétaires non-libres dans Colibri pour valoriser les outils précédents, les faire adopter dans des contextes réglementaires ou commerciaux, assurer de la diversité, par exemple en échange de partage des bénéfices associés à la vente de ces briques à la communauté de développement de Colibri. La difficulté étant de ne pas entraver le modèle open-source, l'animation de communauté en y intégrant des éléments privés. Dans ce cas, il sera nécessaire de définir un cadre pour évaluer et reconnaître la qualité de tels modules.

3.2.4. Temporalité et déploiement

- A quel horizon souhaitez-vous voir cet outil déployé ?

Les répondant au questionnaire en ligne se prononce pour un déploiement rapide, voire très rapide puisque 68 personnes souhaitent un déploiement de l'outil dès que possible (d'ici 2025) et 42 un déploiement d'ici 2027. Ceci représente plus de 75 % des réponses.

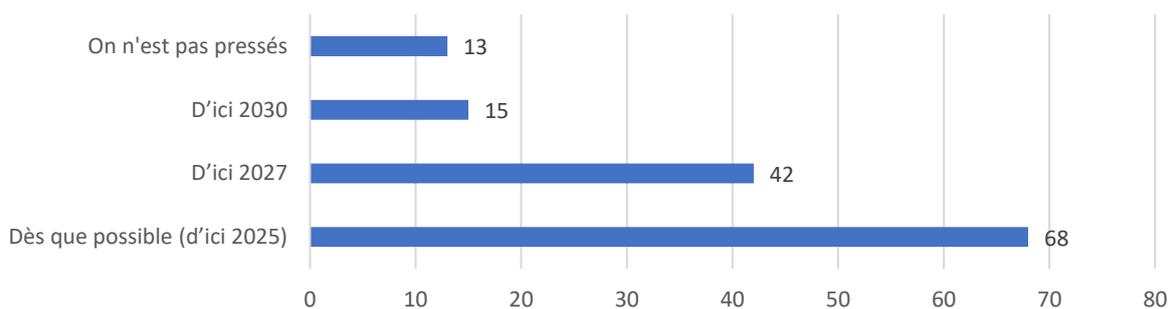


Figure 20: Réponses 'A quel horizon souhaitez-vous voir cet outil déployé ?'

La possibilité d'une version test déployée rapidement avant une version consolidée est proposée par plusieurs répondants. Les dates de 2025 et 2027 sont notamment plébiscitées avec un objectif d'anticipation d'une future réglementation à 2030. Les participants soulignent un projet important, à ne pas "bâcler", le sujet est urgent, le temps presse mais les répondants ont conscience du temps nécessaire au déploiement d'un tel outil qui se devra abouti, éprouvé et stable à sa sortie. Dans les compléments comme dans les entretiens, plusieurs personnes soulignent le travail de fond nécessaire à mener sur la réglementation dans l'existant et la nécessité d'agir vite sur ce créneau.

Des encouragements et engouements pour la démarche sont à souligner, par exemple :

- "On commence quand ? 😊"
- "Bon courage"
- "Je serai ravi de participer au montage d'un tel outil et reste à disposition"
- "Bon courage et superbe initiative!"
- "N'hésitez pas à nous solliciter"
- "Questionnaire très bien ficelé, bravo."
- "vivement la suite !"

3.3. Réactions au produit minimum viable proposé

Lors des entretiens et de l'enquête, les répondants ont été interrogés spécifiquement sur un produit minimum viable proposé, c'est-à-dire le périmètre minimum pressenti pour l'outil sur la base de constats et retour d'expérience antérieures au projet Cible, tel que décrit dans la partie contexte au **paragraphe §1.2**. Pour rappel, le produit minimum viable testé comprend les points suivants :

- ✓ **Convergence Neuf/Existant**
- ✓ **Multi-indicateurs** : ACV, Energie, Confort d'été
- ✓ **Multi-usages** : applications réglementaires mais aussi pour de la conception libre et de la R&D
- ✓ **Transparent** : moteur de calcul dont le code source est open-source et permet de collecter les contributions.

Ce Produit Minimum Viable ne constitue en aucun cas le cahier des charges final de l'outil, dans la mesure où les entretiens et l'enquête en ligne permettent d'identifier les autres axes thématiques et fonctionnels plébiscités qui seront intégrés dans le cahier des charges de l'outil au paragraphe suivant. Il s'agissait de la première proposition de périmètre pour l'outil sur lequel une réaction était sollicitée.

Les différentes réponses, tant de l'enquête en ligne que des entretiens, ont permis de valider largement ce produit minimum viable, ces réponses sont analysées dans la suite de ce paragraphe sur chaque axe du produit minimum viable.

Aussi le cahier des charges proposé au paragraphe §4 décrit largement sur ce socle commun et intègre par ailleurs les autres thématiques et fonctionnalités testées dans l'enquête et remontées dans les entretiens.

Le questionnaire en ligne demandait d'apprécier certaines propositions en fonction de leur pertinence suivant l'échelle de notation suivante :

1. Pas à intégrer – je pense que ça ne devrait pas être intégré : précisez pourquoi dans la question suivante
2. Pas nécessaire – je n'en ai pas le besoin, ça m'est égal
3. Pourquoi pas – c'est du bonus, mais ce n'est pas indispensable
4. Pertinent – ça répond à un besoin, il le faudrait
5. Indispensable – il le faut absolument, impossible de s'en passer

C'est le cas des propositions suivantes, la note donnée par chaque répondant correspond à cette échelle.

3.3.1. Convergence Neuf / Existant

Les retours indiquent que la convergence entre les outils de calcul pour le neuf et l'existant est largement attendue par les acteurs, avec certains points d'attention toutefois :

- Entretiens : les acteurs ont un fort intérêt pour une convergence entre neuf et rénovation.
 - o Ils notent toutefois qu'il faut prévoir des **niveaux de saisie différents**, car la connaissance des bâtiments n'est pas la même dans ces deux contextes.
 - o De même, il faudra n'afficher des comparaisons entre indicateurs que lorsqu'ils sont sur des **périmètres cohérents** : la question se pose par exemple pour les méthodologies ACV qui seront différentes en neuf et rénovation.
 - o Les personnes interrogées rappellent que vu la vitesse limitée de renouvellement du parc par le neuf, il est crucial de travailler sur l'existant et la rénovation pour limiter les consommations énergétiques et l'impact environnemental du parc. Il est donc **prioritaire d'avoir des outils et des méthodes performants sur l'existant**, voire de permettre de comparer les projets en neuf et existant sur certains critères pour avoir une véritable vue d'ensemble sur l'impact environnemental de l'une et l'autre des solutions.
 - o Les éditeurs de logiciels ont souligné que la convergence des moteurs de calcul neuf / existant était particulièrement demandée pour le **calcul réglementaire** (DPE, RT/RE, ...).
- Pratiques actuelles : comme constaté au chapitre sur les pratiques actuelles des outils, une majorité de répondants intervient sur plusieurs types de projets sans être spécialisés en neuf, en rénovation ou exploitation. Le cloisonnement qui existe entre moteurs de calcul ne correspond pas nécessairement à un cloisonnement des projets pour les utilisateurs et utilisatrices.

- Enquête en ligne :

138 réponses avec une moyenne de 4.2 :

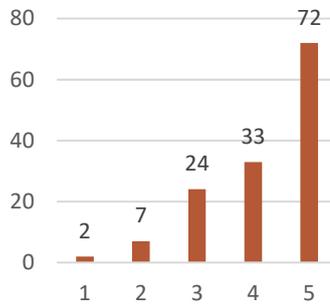


Figure 21 : Répartition des notes pour la convergence Neuf/Existant

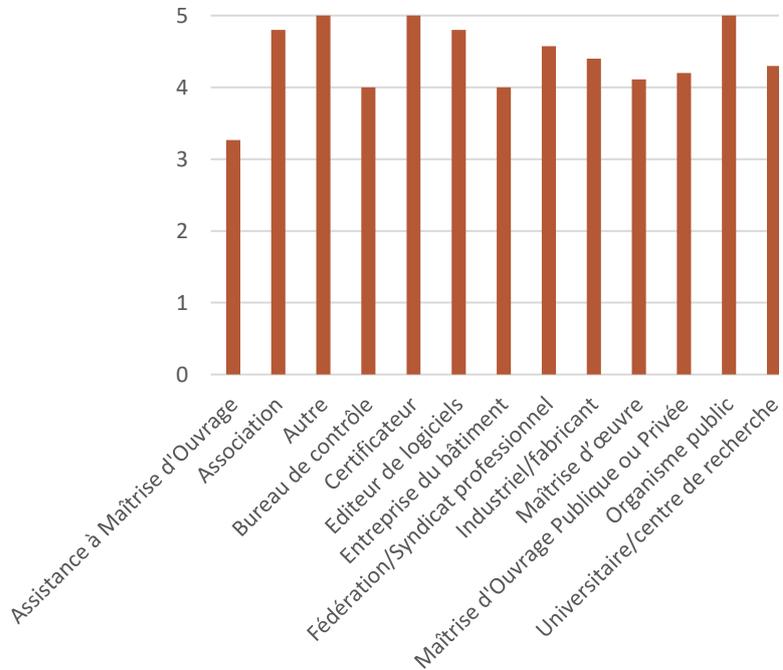


Figure 22 : Moyenne des notes sur la convergence Neuf Existant

La convergence neuf / existant est largement demandée avec une note moyenne à 4,2.

On peut noter que la moyenne pour les répondants de l'Assistance à Maîtrise d'Ouvrage est plus faible (3,2) que pour les autres types d'entités. En effet deux répondants de cette catégorie ont attribué la note de 1 (« pas à intégrer »), et le commentaire explicatif associé est que **les solutions, matériaux et mises en œuvre ne sont pas identiques en neuf et en existant, particulièrement en ce qui concerne le bâti ancien** (gestion de l'humidité des parois et de la ventilation peut être différente). Cela rejoint un avis exprimé dans les entretiens sur le bâti d'avant 1948 qu'il faut veiller à pouvoir traiter avec ses spécificités. Une autre inquiétude que l'un d'entre eux exprime est de garder la possibilité en existant d'avoir des solutions écologiques qui aujourd'hui ne sont pas prises en compte (ou partiellement) dans le neuf.

La convergence neuf / existant est donc demandée, avec toutefois les points d'attentions évoqués précédemment.

3.3.2. Convergence Énergie / ACV / Confort d'été

138 réponses avec une moyenne de 4.67 :

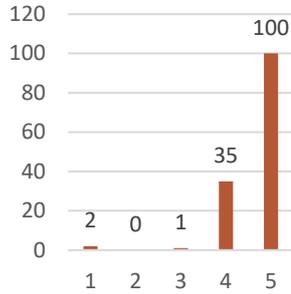


Figure 23 : Répartition des notes pour la convergence ACV / Energie / Confort d'été

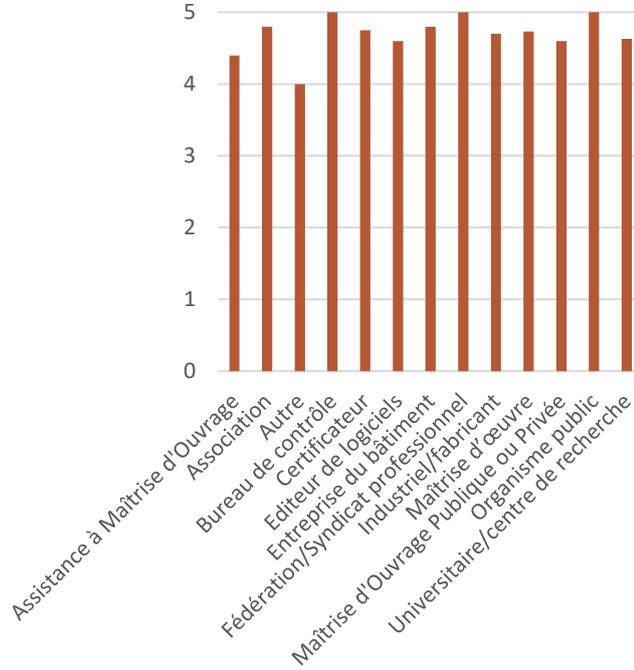


Figure 24 : Moyenne des notes sur la convergence ACV / Energie / Confort d'été

Avec une note moyenne de 4,67, la convergence entre les calculs énergétiques, ACV et confort d'été paraît indispensable pour la grande majorité des répondants.

3.3.3. Convergence Réglementaire / Conception

138 réponses avec une moyenne de 4.16 :

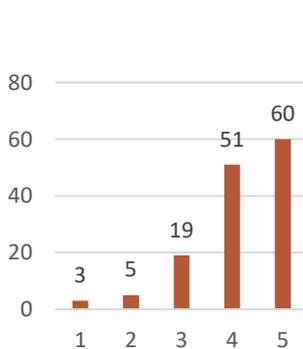


Figure 25 : Répartition des notes pour la convergence Réglementaire / Conception

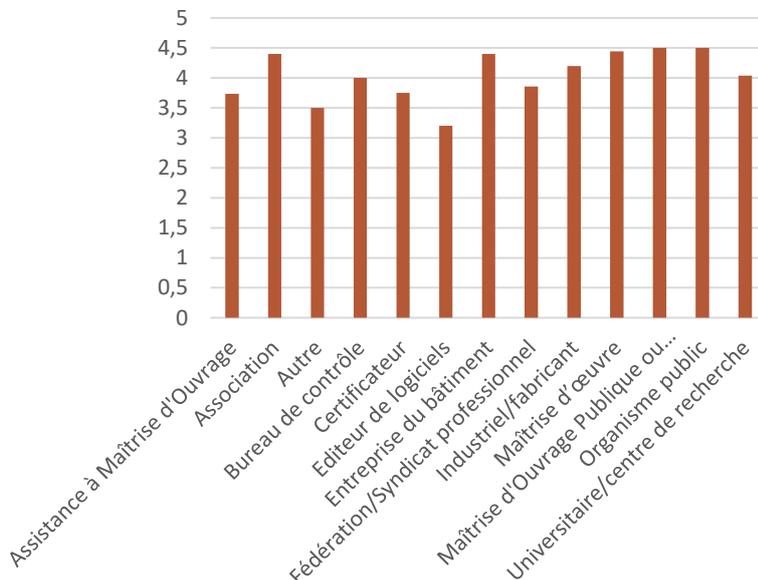


Figure 26 : Moyenne des notes sur la convergence Réglementaire / Conception

Avec une note moyenne de 4,16, la convergence entre les calculs réglementaire et conception paraît indispensable pour la grande majorité des répondants.

On remarque que la moyenne pour les éditeurs de logiciels est plus faible, en effet deux des répondants sur les 5 éditeurs de logiciels ont attribué la note de 1, les autres ont attribué deux notes de 5 et une note de 4. Les deux notes à 1 rejoignent certaines inquiétudes partagées par les éditeurs de logiciels lors des entretiens :

- la nécessité d’avoir d’autres moteurs de calcul pour permettre la comparaison et la validation des résultats, et ne pas avoir un moteur unique dont les résultats ne puissent être confrontés à d’autres résultats.
- le rôle des éditeurs de logiciels est de créer des outils qui peuvent intégrer les moteurs de calcul réglementaire d’une part, mais également d’autres moteurs ou modules pour la conception. Les éditeurs souhaitent continuer à pouvoir se connecter à d’autres modèles et moteurs.

3.3.4. Cœur de calcul transparent, voire open source

138 réponses avec une moyenne de 4.22 :

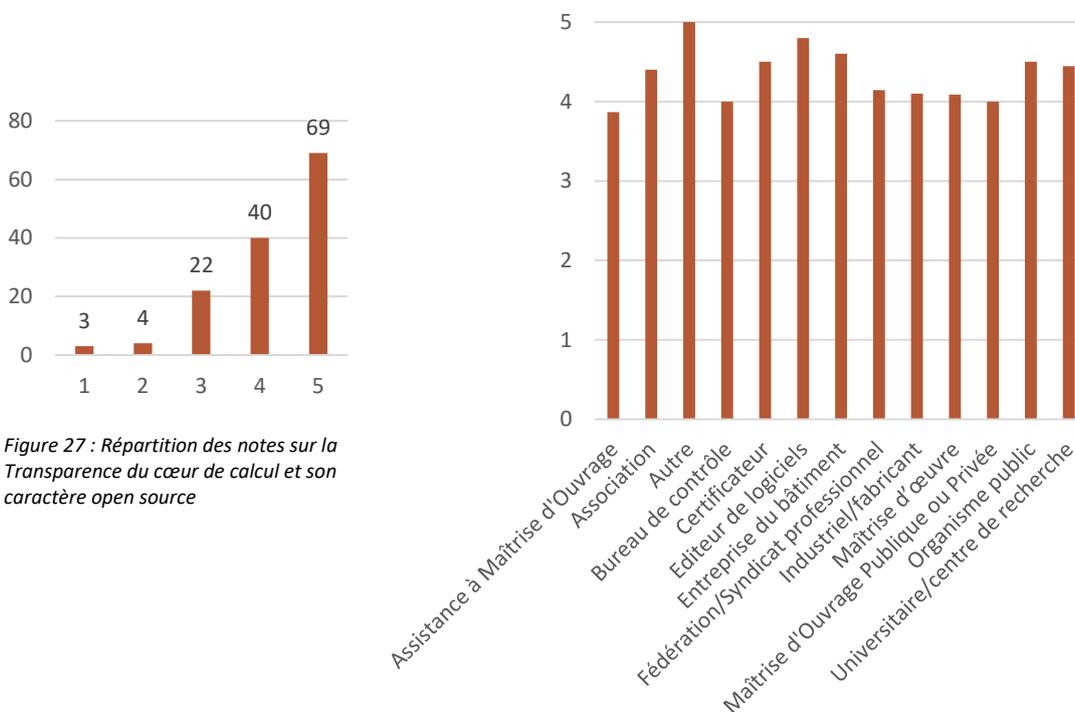


Figure 27 : Répartition des notes sur la Transparence du cœur de calcul et son caractère open source

Figure 28: Moyenne des notes sur la Transparence du cœur de calcul et son caractère open source

La demande de transparence du cœur de calcul, son caractère open source et la possibilité d’y contribuer ont largement été plébiscités lors des entretiens. On retrouve dans l’enquête que cet aspect est bel et bien pertinent. Dans la comparaison par notes moyennes des fonctionnalités au §3.2.2 ce n’était toutefois pas l’axe le plus prioritaire remonté.

D’après les entretiens, la possibilité de contribuer au code ou d’avoir accès au code n’est pas la priorité pour tous les cas d’usage, mais c’est la priorité pour les chercheurs et chercheuses (organismes de recherche, partie R&D des énergéticiens et de certains industriels), c’est probablement ce qui explique que ce point n’apparaisse pas comme l’un des plus prioritaires. La demande de transparence était bien la priorité de certains industriels lors des entretiens. Les différentes réponses permettent de valider cet aspect qui était présenté dans le produit minimum viable.

3.4. Cas d'usage

Différents cas d'usage du futur moteur d'éco-conception du bâtiment ont été définis dans cette phase de recueil des besoins. Les principaux sont listés dans le tableau ci-dessous, avec des fonctionnalités associées. Les enjeux associés à chaque cas d'usage et les réponses techniques proposées sont développés dans la partie §8.6

Cas d'usage	Type d'acteur concerné	Fonctionnalité(s) associée(s)
Conception et Dimensionnement	Bureaux d'étude	<ul style="list-style-type: none"> Facilité de saisie et de récolte des données (bibliothèques de produits, matériaux ou gestes de rénovation, BIM) Résultats proches du réel Aide à la décision Calcul réglementaire ET conception : permettre paramétrage complet du calcul, saisie de l'occupation prévue, etc.
Définir le moteur de calcul pour du calcul réglementaire.	Pouvoirs publics	<ul style="list-style-type: none"> Adéquation avec les directives et règlements européens Transparence du code et de la méthode
Diagnostic, Audit et Vérification de conformité réglementaires	Bureaux d'étude Diagnostiqueurs	<ul style="list-style-type: none"> Transparence du code et de la méthode Calcul réglementaire ET conception : faciliter bascule du calcul de conception au calcul réglementaire.
Estimation amont de conformité réglementaire (ou labels)	Architectes Maîtrise d'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> Facilité de saisie et de récolte des données Niveaux de saisie différents selon phase Aide à la décision Calcul réglementaire ET conception : faciliter bascule du calcul de conception au calcul réglementaire.
Garantie de performance / suivi d'exploitation	Occupants Propriétaires Exploitants Bureaux d'étude	<ul style="list-style-type: none"> Résultats proches du réel : propagation d'incertitude liée à l'occupation, la météo, saisies Résultats proches du réel
Modéliser un système innovant dans le moteur de calcul ou Proposer une amélioration de modèle	Industriel Chercheur	<ul style="list-style-type: none"> Transparence du code et contributions possibles Ouverture aux contributions
Contrôles de conformité réglementaire - label / certification	Certificateur	<ul style="list-style-type: none"> Tests de cohérence automatiques
Développer une interface et distribuer le moteur de calcul dans un logiciel commercial.	Editeurs de logiciel	<ul style="list-style-type: none"> Transparence du code

Tableau 1 : Liste des cas d'usage principaux pour Colibri

4. Cahier des charges - Recommandations

Les réponses pour l'échelle de travail, les thématiques et fonctionnalités présentées dans les paragraphes §3.2 et §3.3 ont permis d'identifier les priorités du futur moteur d'éco-conception et des outils associés. Cette vision d'ensemble est présentée ci-dessous, pour trouver les justifications associées, il faudra généralement se référer à la partie §3.

4.1. Cahier des charges détaillé

4.1.1. Un même moteur pour le neuf et l'existant

Comme établi dans la validation du produit minimum viable, il est indispensable que le moteur de calcul s'adresse au **neuf** et à l'**existant**.

Il faudra toutefois veiller :

- A intégrer des niveaux de saisis différents pour le neuf et l'existant dans les outils.
- A articuler de manière pertinente les indicateurs et méthodes qui n'ont pas le même périmètre en neuf et existant : notamment l'ACV en rénovation par rapport à l'ACV en neuf.
- A considérer les spécificités des bâtiments existants, en particulier les solutions et produits mis en œuvre qui diffèrent du neuf. En particulier il faudra prendre en compte la dynamique inertielle spécifique au bâtiment d'avant 1948.

4.1.2. Périmètre thématique

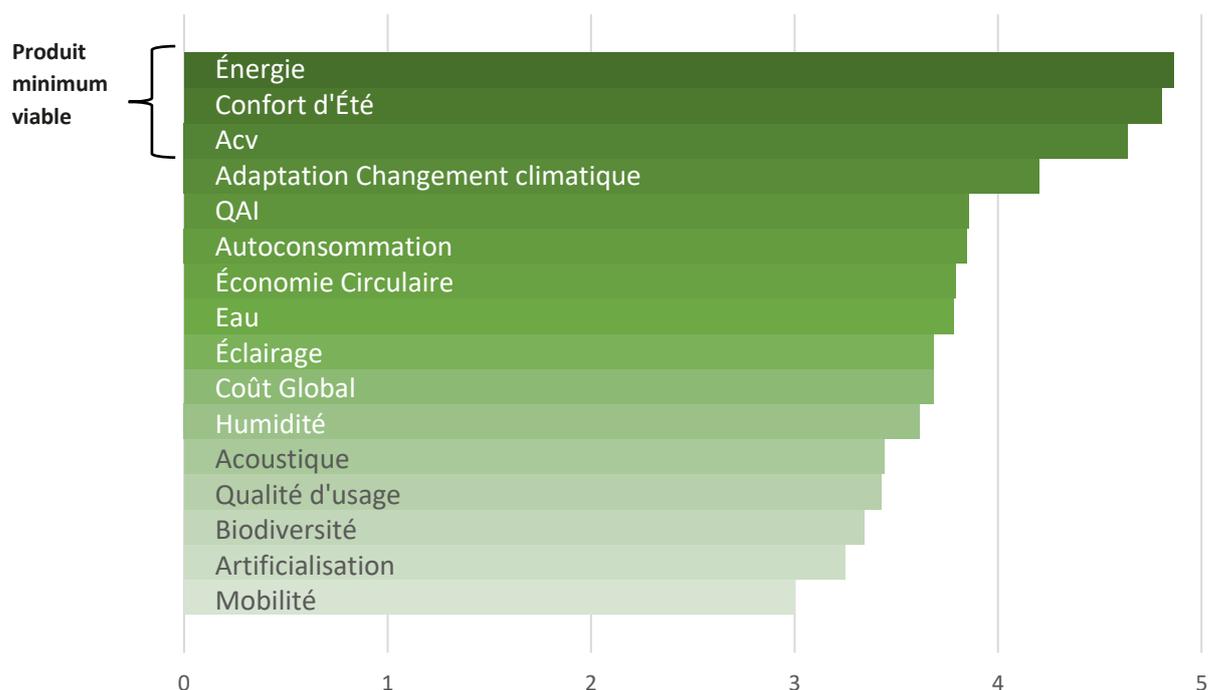


Figure 29 : Note moyenne par thématique

Toutes les thématiques sont considérées comme indispensables (noté 5) ou pertinentes (noté 4) par un socle d'au-moins 60 répondants, sauf l'axe mobilité et transports avec 46 répondants qui ont donné la note de 4 ou 5. Cela traduit un besoin pour au moins une partie des répondants à chaque thématique.

- Les thématiques du produit minimum viable -**énergie, confort d'été et ACV**- sont considérées comme indispensables. C'est également le cas pour l'**adaptation au changement climatique** qui obtient aussi une note moyenne supérieure à 4. Elles font donc nécessairement partie du cahier des charges.
- Dans la mesure où la consommation énergétique est indispensable, il faudra nécessairement prendre en compte les aspects **autoconsommation** ou **éclairage** qui sont liés, ces thématiques seront donc à retenir.

- Dans la mesure où le confort d'été est indispensable, il faudra nécessairement prendre en compte un calcul **d'humidité**, cette thématique est donc également à retenir.
- Les thématiques **QAI, Economie circulaire, Eau, Economie** obtiennent une note moyenne supérieure à 3,5 elles sont demandées, mais pas prioritaires.
- Les thématiques **Acoustique, Qualité d'usage, Biodiversité, Artificialisation et Mobilité** obtiennent une note inférieure à 3,5, elles relèvent plutôt du bonus
- Toutefois, la thématique **Biodiversité** fait l'objet d'un groupe de travail dans le cadre de la démarche CAP2030 (création d'un cadre commun de référence pour les bâtiments de demain) et a été identifié comme un sujet d'importance. A ce titre, à l'issue de la présentation de la première version du cahier des charges en 2023 il a été remonté qu'il fallait anticiper également l'intégration de cette thématique que nous proposons donc de passer de bonus à thématique demandée, mais pas prioritaire.

4.1.3. Echelle de travail

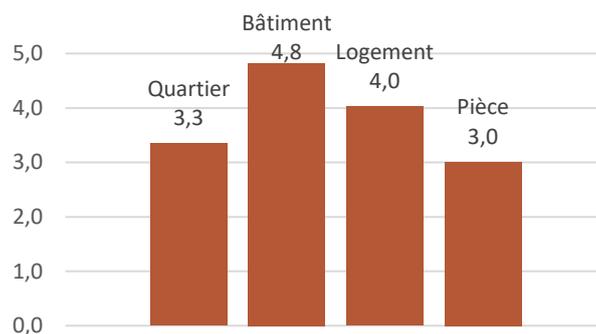


Figure 30 : Moyenne des notes pour chaque échelle

Le moteur de calcul doit permettre des calculs à **l'échelle bâtiment** (indispensable), et à **l'échelle logement** (souhaité par les répondants, et cela sera indispensable pour les calculs de confort d'été).

Pour certaines utilisations il pourra être utile de permettre des calculs à **l'échelle quartier** ou **pièce** (pour des calculs précis d'aérodynamique, QAI ou confort) mais ça ne sera pas le cas d'usage le plus courant du moteur de calcul, ce n'est pas indispensable dans la configuration de base. En revanche il sera nécessaire de demander certaines données issues de l'échelle quartier (masques...) pour le calcul à l'échelle bâtiment.

4.1.4. Indicateurs

Les habituels indicateurs d'impacts par m² sont parfois critiqués pour ne pas favoriser la densification, mais ils apportent par ailleurs une stabilité des indicateurs vis-à-vis de l'occupation et doivent donc être présent dans le futur outil.

De plus, une majorité des répondants demandent des indicateurs par usager, qui permettent justement de prendre en compte la sobriété immobilière.

4.1.6. Fonctionnalités

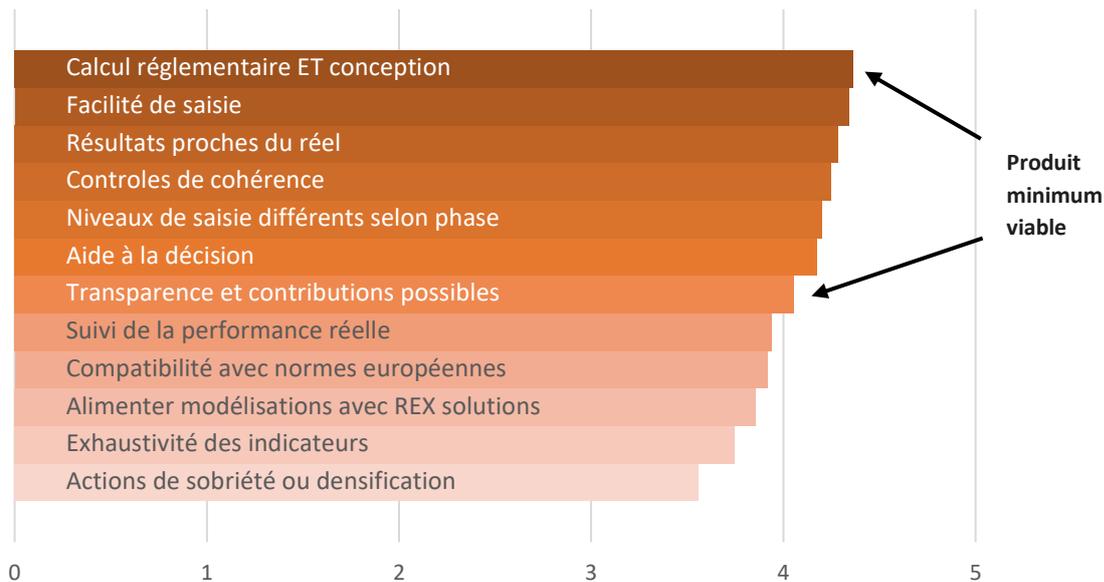


Figure 31 : Note moyenne par priorité fonctionnelle

Le **rapprochement entre calcul réglementaire et conception** ainsi que la **transparence et la possibilité de contribuer** appartiennent au produit minimum viable, comme présenté au §3.3.4 ils ont fait l'objet d'une validation particulière lors de cette enquête en ligne et lors des entretiens, ces aspects seront à intégrer.

Les moyennes des notes sont resserrées pour les différentes propositions : elles sont comprises entre 3,5 et 4,5. Les notes moyennes indiquent donc que les thématiques proposées sont pertinentes pour les répondants, et qu'il faut les prendre en compte dans la mesure du possible, avec l'ordre de priorité affiché, en particulier pour les fonctionnalités **facilité de saisie**, **résultats proche du réel**, **contrôles de cohérence**, **niveaux de saisie différents**, **aide à la décision**, qui obtiennent des notes moyennes supérieures à 4.

A noter que sur la facilité de saisie, pour la prise en compte du BIM, les avis recueillis lors des entretiens et en particulier auprès des éditeurs de logiciels vont dans le sens de la création d'import / export avec le BIM sans directement travailler avec ce format.

4.1.7. Gouvernance

Le moteur de calcul suivra une architecture modulaire avec 3 niveaux de validation identifiés :

- **Modules utilisables pour du calcul réglementaire**, validés par les pouvoirs publics
- **Modules avec validation scientifique** par un comité, ou un tiers indépendant du déposant du module
- **Modules libres**, proposés à la communauté, sans validation, permet de mutualiser les développements sans entraver le partage et l'innovation.

Pour garantir la cohérence globale du moteur la gouvernance du moteur s'organise autour de :

- Un **comité stratégique** : Le comité stratégique décide des grandes orientations du moteur, en matière de développement de nouveaux modules ou d'intégration des modules issus des contributions libres. Il fixe les orientations pour le modèle économique, la communication. Il devra être en mesure d'avoir une vision d'ensemble et une connaissance des enjeux.
- Un **comité technique** : Composé d'experts technique indépendants, le comité technique est chargé de la vérification de la qualité du code et de la validation scientifique des modules. L'instruction de la validation des modules se répartirait entre membres (un membre qui propose un module ne peut pas instruire).
- Un **administrateur** devra être désigné. Ce rôle est actuellement assumé par le CSTB.

De nombreux éléments doivent encore être déterminés (choix de licences, plateforme de diffusion, ...) ces points seront abordés dans le volet des prescriptions au §6.

4.1.8. Modèle économique

Les modules réglementaires bénéficieront d'un financement public, dans la continuité de ce qui se fait aujourd'hui pour les moteurs de calcul réglementaires énergie et répondant à la nécessité d'indépendance des choix sur l'utilisation réglementaire.

Concernant les modules hors champs réglementaires, plusieurs sources de financement présentées ci-dessous peuvent être envisagées, mais elles seront à définir plus précisément selon le processus de financement initial, puis les décisions émises par le comité stratégique.

Parmi les pistes évoquées pour chaque type de module :

- **Modules open source libre**, sans demande de validation : pas de demandes de contribution
 - Avantage : l'objectif est d'encourager l'innovation libre sans freiner les propositions avec l'étape de validation scientifique
 - Inconvénient : le module n'est pas estampillé « valide » par la communauté.

- **Module open-source générique** (chercheurs, module 'générique') **avec demande de validation** : contribution pour la validation du module.
 - Avantage: validation scientifique et technique des modules
 - Inconvénient : délai de traitement – La contribution financière peut être un frein à l'innovation

- **Module open-source « nominatif » de la part d'un industriel avec demande de validation** : contribution pour la validation du module
 - Avantage : validation des modules scientifique et technique des modules, garantie d'indépendance sur le modèle
 - Inconvénient : délai de traitement– La contribution financière peut être un frein à l'innovation

- **Module « fermé » non open-source / distribution de module payant compatible avec Colibri** : versement d'un financement vers Colibri par celui qui vend le module.
 - Avantage : Permet à des acteurs d'avoir des modèles privés compatibles avec le reste
 - Inconvénient : perte de l'approche open-source, la contribution doit donc refléter le non respect de l'approche

Un financement pourrait provenir directement des utilisations du moteur : un financement vers Colibri pourrait être demandé pour les utilisations commerciales.

4.2. Vue synthétique du cahier des charges

	Indispensable	Souhaité Pas prioritaire	Pas indispensable
Thématiques	Énergie Confort d'été ACV Adaptation au changement climatique Autoconsommation (lié à Energie) Éclairage (lié à Energie) Humidité (lié au Confort d'été)	QAI Economie Circulaire Eau Coût Global Biodiversité	Acoustique Qualité d'usage Artificialisation Mobilité
Echelle	Bâtiment Logement (lié au confort d'été)		Quartier Pièce
Indicateurs	Impacts par m ² Impacts par usager		Impacts par euro investi pour un service donnée
Projets	En Existant et en Neuf <ul style="list-style-type: none"> Des niveaux de saisis différents pour le neuf et l'existant dans les outils Articuler les indicateurs et méthodes : notamment l'ACV en rénovation par rapport à l'ACV en neuf Veiller à considérer les spécificités des bâtiments existants, en particulier les solutions et produits mis en œuvre qui diffèrent du neuf. 		
Priorités fonctionnelles	Calcul réglementaire ET conception (dont des usages recherche ; par ailleurs la conception nécessite des temps de calculs raisonnables) Transparence et contributions possibles Compatibilité avec les directives et règlements européens obligatoires	Facilité de saisie Résultats proches du réel Contrôles de cohérence Niveaux de saisie différents selon phase Aide à la décision Suivi de la performance réelle Favoriser la compatibilité avec les normes de calcul européenne	Alimenter modélisations avec REX solutions Exhaustivité des indicateurs Actions de sobriété ou densification d'usage
Gouvernance	Articulation modulaire du moteur : Modules réglementaires, validés par les pouvoirs publics Modules avec validation scientifique par un comité technique Modules libres, sans validation Les organes de gouvernance : Un comité technique Un comité stratégique Un administrateur La faisabilité juridique doit être explorée.		
Modèle économique	Réglementaire : financement public Hors-réglementaire : licences ou contribution des industriels lorsque des modules représentent leurs produits spécifiquement. D'autres financement pour les développements initiaux peuvent être recherchés du côté des projets européens ou des CEE. La faisabilité juridique doit être explorée.		

Tableau 2 : Tableau synthétique du cahier des charges Colibri

B - CAHIER DES PRESCRIPTIONS TECHNIQUES

5. Méthodologie : la traduction du besoin en cahier des prescriptions techniques

Cette étape du projet, principalement menée dans la deuxième année pour donner suite à l'élaboration du cahier des charges des besoins consolidé, a toutefois pu débuter plus tôt grâce aux premiers retours encourageants concernant les éléments du cahier des charges relatifs au Produit Minimum Viable (PMV).

Un groupe de travail modélisation au sein de l'équipe projet (composé d'experts du CSTB) a été mis en place, dans les domaines suivants : simulation thermique et énergétique, ACV, économie circulaire, aéraulique, éclairage et rayonnement, mesures en exploitation, développeurs et architectes logiciels. Ce groupe de travail a accueilli régulièrement des experts extérieurs selon l'ordre du jour (consultation d'éditeur de logiciel par exemple comme cela a été le cas avec CYPE et IZUBA sur les modèles de données et le BIM) et s'est progressivement élargi en fin de projet en intégrant des personnes extérieures au CSTB, en réponse à la volonté d'acteurs comme EDF et Nobatek-INEF4 de participer plus activement au développement futur de COLIBRI.

Les travaux ont cherché à apporter des réponses techniques et de faisabilités aux objectifs suivants issus du cahier des charges du Produit Minimum Viable largement plébiscités lors de la concertation :

- un moteur déclinable pour des applications réglementaires ou de conception/recherche libre et un moteur ;
- un moteur assurant la convergence Neuf et Existant et capable d'accueillir de nombreuses thématiques et donc calculer divers indicateurs environnementaux ;
- un moteur transparent et facilitant la lecture et la contribution du plus grand nombre dans un univers open-source.

Les détails des solutions techniques retenues sont indiqués par la suite dans ce cahier des prescriptions techniques. Pour tester ces solutions de manière opérationnelle, une implémentation informatique de l'architecture sous forme de proof-of-concept (PoC et prototype) a été réalisée dans le cadre de CIBLE. Le code associé à ce PoC est disponible au format zip en annexe de ce livrable en attendant la mise en œuvre d'une architecture officielle COLIBRI sur un site collaboratif dédié.

6. Prescriptions techniques principales

Le cahier des charges de COLIBRI requiert la conception d'un moteur polyvalent, capable de traiter plusieurs thématiques métiers prioritaires (telles que la thermique, l'énergie, l'analyse du cycle de vie, l'aéraulique, la qualité de l'air intérieur et le confort), sans se spécialiser dans l'une en particulier. Ce moteur doit également être suffisamment flexible pour permettre l'intégration future de nouvelles thématiques sans altérer sa structure fondamentale. En plus de cette polyvalence thématique, COLIBRI doit être adaptable à différents contextes d'utilisation, qu'il s'agisse de la réglementation, de la recherche ou du développement de produits. Il doit ainsi supporter des niveaux variés de modélisation et de données d'entrée, adaptés aux besoins spécifiques de chaque contexte.

Pour répondre à ces exigences, **le choix d'un moteur intrinsèquement modulaire a été retenu**. Les sections suivantes présentent les principes généraux (accessibles à tous, notamment dans les parties §6.1.1 et §6.1.2) ainsi que l'architecture technique détaillée mise en place pour COLIBRI (partie plus techniques §6.1.3, §6.1.4, et §0), comprenant l'organisation du moteur en tant que tel et le modèle de données associé.

6.1. Un moteur modulaire évolutif et transformable selon les usages



Pour répondre aux enjeux suivants du cahier des charges :

- un moteur commun pour les bâtiments neufs et existants ;
- un moteur pour les réglementations mais aussi pour la conception libre et la R&D ;
- un moteur plus facilement évolutif et ouvert aux innovations.

6.1.1. Préambule

L'approche modulaire offre une solution polyvalente pour créer un moteur adaptable à divers contextes, y compris la réglementation, la conception, la recherche ou encore l'expérimentation de produits industriels. Cette technique organise le code en modules distincts et autonomes, faciles à modifier ou remplacer, tout en maintenant une structure de base constante (architecture de connexion, ou backbone). Déjà mise en œuvre dans les normes européennes de calcul de la performance énergétique (EN/ISO 52000-1), elle permet l'ajustement aux spécificités de chaque pays sans perturber l'intégrité globale de la méthode.

La comparaison avec une plaque (backbone) et des blocs (modules) Lego permet d'illustrer cette organisation : chaque bloc peut être échangé tant que les connexions essentielles sont respectées avec la plaque. Cette flexibilité est ancrée dans une structure centrale solide (le backbone), semblable à la carte-mère d'un ordinateur, qui autorise une personnalisation et une évolution aisées du moteur par le simple remplacement des modules concernés.

Modules	M1 –Overarching 52000-1	M3 – Heating 15316-1	M8 – DHW 15316-1
Sub-modules	M1.1 Building zoning 52000-1	M3.2 Heating needs 52016-1	M8.2 DHW needs 12831-3
<i>Extract of the 52000-1 holistic calculation module grid</i>	M1.13 External environment 52010-1	M3.5 Emission & Control 15316-2	M8.7 Storage 15316-5
	M1.7 Conversions factors 52000-1	M3.6 Distribution & Control 15316-3	M8.8.3 Thermal solar 15316-4-3
	Etc...	Etc...	Etc...

Figure 32 - Exemple de cloisonnement des méthodes par sous-modules dans la grille de calcul (backbone ou colonne vertébrale) de la norme CEN/ISO 52000-1 sur la performance énergétique du bâtiment

Parmi les applications pratiques, un industriel peut tester une innovation en modifiant uniquement les modules liés à son système, facilitant ainsi l'expérimentation et même l'autonomie dans la modification si le code est ouvert. Dans un cadre réglementaire, une configuration de modules approuvée et fixe sera utilisée et imposée.

Une structure modulaire permet ainsi de répondre à divers besoins d'utilisation sans mettre en danger la maintenance du moteur, assure des temps de calcul adaptés aux différents besoins par l'utilisation de modules plus ou moins précis et encourage l'utilisation et le développement de bibliothèques de modules compatibles avec une architecture donnée.

6.1.2. COLIBRI : concept général et définitions

Le moteur COLIBRI a été conçu pour être polyvalent et adaptable à divers domaines tels que l'énergie, la qualité de l'air, et l'ACV. Il s'agit d'offrir une architecture qui puisse évoluer, en permettant l'ajout ou la modification de thématiques sans compromettre sa structure de base. Dans le cas de COLIBRI, l'implémentation technique de l'architecture modulaire retenue prend la forme suivante.

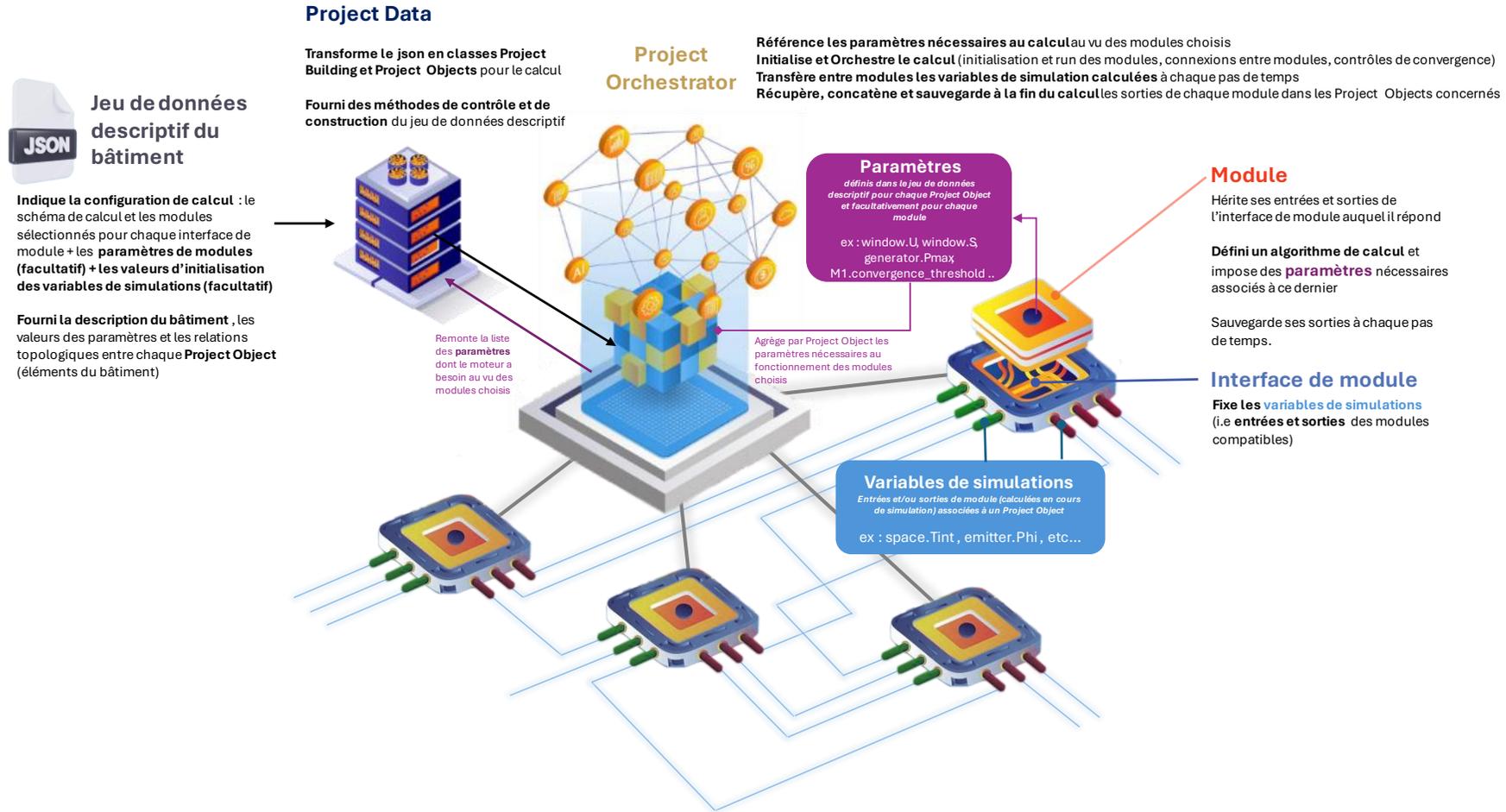


Figure 33 - Illustration de l'architecture modulaire COLIBRI et de ses différents composants

Une architecture modulaire : des modules de calcul indépendants et interchangeables

COLIBRI est structuré en **modules de calcul autonomes**, chacun responsable d'une partie spécifique du calcul global. Cette modularité permet de personnaliser le moteur en fonction des besoins spécifiques des applications et du contexte d'étude.

Interfaces de modules : Chaque module interagit avec les autres via **une interface qui définit clairement ses entrées et sorties**. Ces interfaces agissent comme des contrats, garantissant que les modules peuvent être remplacés ou modifiés sans perturber le système, à condition de respecter les spécifications d'entrée et de sortie.

Variables de simulation : Ce sont les **données dynamiques** échangées entre les modules pendant la simulation, telles que les températures, les flux énergétiques, etc.

Paramètres : Ce sont des **valeurs constantes** propres à chaque module, déterminées par l'algorithme qu'il utilise. Le choix des modules détermine les paramètres requis pour la simulation. Chaque module implémente un algorithme spécifique qui nécessite certains paramètres. En fonction du module sélectionné, les paramètres requis peuvent varier. Par exemple, un module simplifié pourrait nécessiter uniquement la conductivité thermique globale d'un mur, tandis qu'un module plus détaillé demanderait les propriétés de chaque couche du mur. Le jeu de données descriptif doit inclure tous les paramètres nécessaires pour les modules choisis. Ainsi, le choix des modules façonne directement le contenu et la structure du jeu de données.

Le schéma de calcul COLIBRI comme cadre de base au développement des modules

Schéma de calcul : c'est l'équivalent du « backbone » décrit en préambule. Le schéma de calcul est le plan architectural du moteur. Il définit quelles interfaces de modules sont utilisées et comment elles sont connectées entre elles. Le schéma de calcul est concrètement une liste prédéfinie d'interfaces de modules.

Dans le cadre de COLIBRI, un schéma de calcul est imposé mais l'architecture permet d'en créer des nouveaux aux besoins. L'avantage de fixer un schéma de calcul est de permettre le développement de bibliothèque de modules interchangeables car tous compatibles avec les interfaces de modules du schéma. Cela permet donc de garantir une compatibilité entre les modules tout en offrant une flexibilité dans le choix des modules qui répondent aux besoins spécifiques de chaque projet.

Un modèle de donnée descriptif générique

COLIBRI utilise un modèle de données générique et flexible, conçu pour décrire le bâtiment de manière exhaustive sans imposer de choix de modélisation spécifiques (puisque ce sera le choix des modules qui imposeront les paramètres à retrouver dans le modèle de donnée). Cela permet au modèle de s'adapter à différentes thématiques et aux besoins de divers modules.

Le modèle de données COLIBRI distingue deux aspects principaux :

Structure spatiale et disposition des éléments : Cette partie du modèle décrit la configuration du bâtiment, les espaces, les parois et la manière dont les éléments sont disposés. Elle est figée et commune à tous les projets COLIBRI. Elle permet une représentation 3D type BIM ou juste des relations topologiques (sans nécessité de 3D ou d'exploiter le plein potentiel pour des applications plus simples donc).

Caractéristiques spécifiques des éléments : Les propriétés et paramètres détaillés des éléments, comme les propriétés thermiques des matériaux, dépendent directement des modules et algorithmes de calculs choisis. Ces paramètres renseignés dans le jeu de données par objet varie donc selon le choix de module fait pour définir son moteur COLIBRI.

Les concepts clés du modèle de données COLIBRI :

Boundaries et Spaces : Les boundaries sont des parois, réelles ou fictives, qui divisent le bâtiment en espaces (espaces), généralement des pièces. Chaque boundary possède deux faces, associées à des espaces ou à l'extérieur.

Junctions : Les junctions (linéaires ou ponctuelles) décrivent les connexions entre les boundaries ou entre d'autres éléments, permettant de représenter la topologie complète du bâtiment.

Positionnement des Composants : Les autres éléments du bâtiment sont positionnés soit topologiquement, soit en coordonnées relatives par rapport à une boundary. Par exemple, un radiateur peut être associé à un mur spécifique.

Archétypes : Les archétypes sont des collections de paramètres qui définissent les caractéristiques intrinsèques des composants du bâtiment. Ils permettent de factoriser les informations communes et de faciliter la gestion des données.

Paramètres propres aux modules : Certains paramètres spécifiques à des modules particuliers, qui ne sont pas directement liés à un composant spécifique, sont regroupés dans un dictionnaire nommé `module_collection` (par exemple un critère de convergence).

Les composants clés du backbone COLIBRI

Au centre de l'architecture COLIBRI, des composants clés permettent de connecter tous les éléments ensemble. Ils font partie du backbone COLIBRI. On ne peut s'en passer.

Project Orchestrator : le chef d'orchestre

Le Project Orchestrator coordonne l'exécution des modules et gère les paramètres et les variables de simulation.

Initialisation : Il analyse le schéma de calcul, le choix des modules à utiliser, détermine les connexions entre eux et collecte les paramètres requis à partir du jeu de données (et/ou à lui demander).

Exécution : Il orchestre le calcul en exécutant les modules à chaque pas de temps, en gérant le transfert des variables de simulation et en assurant la convergence du calcul.

Collecte des résultats : À la fin de la simulation, il récupère les résultats des modules, les organise par Project Object et les rend disponibles pour l'analyse.

Project Data : la passerelle des données

Le Project Data transforme le jeu de données descriptif (json, ou autre provider) en une structure utilisable par le moteur de calcul, c'est-à-dire les Project Objects. Il convertit les informations du jeu de données en Project Objects, des classes Python représentant les différents éléments du bâtiment (porte, murs, chaises, fenêtres, émetteurs...).

Les Project Objects : les éléments du bâtiment

Les Project Objects représentent donc numériquement les différents composants du bâtiment. Ils intègrent les paramètres spécifiques requis par les modules, dérivés des archétypes du jeu de données, auxquels sont associées les variables de simulation. Par exemple, la variable `Tair`, qui correspond à la température de l'air dans un espace, est liée à un Project Object de type `espace`.

6.1.3. Architecture du code COLIBRI : descriptions avancées

Cette section détaille les différents composants et concepts de l'architecture COLIBRI, en explorant leurs spécificités, leur conception, et la manière dont ils interagissent pour fonctionner de concert. Elle se destine avant tout à un public d'informaticien ou d'expert souhaitant s'appropriier le code et comprendre plus précisément les concepts du code COLIBRI.

Il est donc conseillé de consulter cette partie en ayant en parallèle accès au code car des citations directes d'éléments de ce dernier sont utilisés.

Le code de calcul COLIBRI est organisé en **Modules** de calcul distincts, chacun fonctionnant de manière autonome. Cette structure permet de développer, modifier ou remplacer des modules sans affecter le reste du code, à condition que chaque module respecte les spécifications d'entrée et de sortie prévues. Ainsi :

- Chaque module est uniquement contraint par ses entrées et sorties (variables de simulation) définies par son **interface de module**, ce qui constitue le contrat qui le lie aux autres modules et détermine son rôle dans le calcul global. L'interface de chaque module délimite ainsi une zone indépendante du code ;
- Le contenu algorithmique d'un module peut être entièrement modifié, à condition de maintenir la conformité des entrées et sorties avec celle de l'interface de module. Le choix d'un algorithme spécifique dans un module détermine les paramètres d'entrée (constants par nature) que le jeu de données descriptif du projet doit fournir.



Interface de module

Une interface de module peut être vue comme une région du code indépendante. Un emplacement prêt et réservé à l'accueil de modules de calcul particuliers (c'est-à-dire capable à partir des entrées imposées par l'interface de module de calculer les sorties de l'interface de module).

Ainsi elle encadre un processus de calcul défini par des entrées nécessaires (provenant de calculs antérieurs) et des sorties (qui seront utilisées par d'autres modules). Ces données dynamiques de calcul sont appelées **variables de simulations**.

VARIABLES DE SIMULATION (Simulation variables)

Les variables de simulation sont les entrées et sorties des interfaces de module (et donc des modules). Ce sont des variables mesurables qui évoluent dans le temps et influencent le comportement d'un système ou d'un processus au fil du temps. Le moteur de calcul s'efforce de mettre à jour ces variables à chaque étape de temps.

Les variables de simulation correspondent donc à l'ensemble des variables utilisées et/ou calculées par le schéma de calcul COLIBRI et susceptibles de changer à chaque pas de temps.

Elles sont rangées/classées/rattachées à chaque type de Project Object (c'est-à-dire un type d'élément du Projet : le bâtiment, une fenêtre, un émetteur, une pièce - appelée space – etc., cf Project Object et §6.1.4) et sont appelées ou calculées dans les modules individuellement ou par ensemble (ex : le module prend en entrée l'ensemble des températures d'air des spaces).

Par exemple, la variable de simulation `space.Tint`, calculée à chaque pas de temps, représente la température intérieure moyenne d'un "space". Chaque objet space du projet possède donc une variable de simulation `Tint`.

L'interface de module, en interaction avec le reste des calculs et les autres interfaces de module (et donc avec les modules de calcul), est ainsi définie exclusivement par la liste de ses variables de simulation d'entrée et de sortie.



Module

C'est au niveau du module qu'est défini l'algorithme de calcul des sorties de l'interface de module à partir des entrées de l'interface de module. Selon l'algorithme défini, les paramètres demandés vont varier. Ainsi, en lien direct avec l'algorithme choisi, le module entraîne donc un set de **paramètres** de calcul qui devront être décrits dans le jeu de données descriptif du projet au niveau de chaque élément du projet/du bâtiment (i.e les Project Objects une fois le Project Data passé, et via le dictionnaire « `archetype_collection` » dans le jeu de données descriptif json présenté dans le prototype) ou dans un dictionnaire propre aux modules (via « `module_collection` »).

PARAMETRES (parameters)

Les paramètres de modules sont des données constantes, non modifiées par le temps, et sont directement dérivées des choix algorithmiques au sein des modules. Contrairement aux variables de simulations, les valeurs associées aux paramètres proviennent du jeu de données descriptif du projet (c'est-à-dire le jeu de données d'entrée qui rassemble la description d'un ou plusieurs bâtiments et de choix de simulation).

Dans le jeu de données descriptif du projet, soit ces paramètres sont répartis entre différents éléments du projet/bâtiment (Project Objects) soit dans des dictionnaires propre aux modules « `module_collection` » (cf §6.1.4).

Par exemple, le rendement nominal d'une chaudière, la conductivité thermique d'un mur (si elle est supposée constante), ainsi que la puissance maximale d'un émetteur sont des paramètres. Ces paramètres sont donc associés à des Project Objects spécifiques (chaudière, mur, émetteur) dans le jeu de données descriptif. En revanche, les données météorologiques du module climatique ou un seuil de convergence d'un module particulier sont des paramètres spécifiques aux modules, non associés à un Project Object. Ces derniers sont alors stockés dans le jeu de données au sein du dictionnaire « `module_collection` » (cf §6.1.4.1).

Un module est nécessairement défini par rapport à une interface de module donnée, dont il hérite les entrées et sorties (variables de simulation) pour être compatible, ainsi que son rôle dans le calcul global. En termes informatiques, un module correspond à une classe qui hérite d'une classe mère représentant l'interface de module.

Ainsi, tous les modules héritant de la même interface de module sont interchangeables.

Les modules COLIBRI héritent également tous des méthodes génériques suivantes :

- **initialize** : Initialise le module et ses variables de simulations ;
- **is_initialized** : informe si le module est initialisé ;
- **define_parameter** : définit un paramètre pour le module ;
- **get_field** : récupère un paramètre ou une variable de simulation du module ;
- **get_fields** : récupère tous les paramètres et variables de simulation du module ;
- **get_link** : récupère un lien avec un autre module
- **is_field_linked** : informe si une variable de simulation est liée à un autre module ;
- **run** : Fait les calculs pour un pas de temps ;
- **has_converged** : informe si le module a convergé ;
- **end_iteration** : pour décrire un comportement spécifique à la fin d'une itération au sein d'un pas de temps ;
- **end_time_step** : pour décrire un comportement spécifique à la fin d'un pas de temps ;
- **end_simulation** : pour décrire un comportement spécifique à la fin de la simulation ;
- **save_timestep** : sauvegarde à la fin de chaque pas de temps ;
- **to_template** : création d'un jeu de données réduit pour l'exécution indépendante du module (utile si on veut faire exécuter qu'un module ou lors du processus de développement d'un module en particulier) ;
- **from_template** : lecture du jeu de données réduit pour initialiser le module.

Illustration pédagogique :

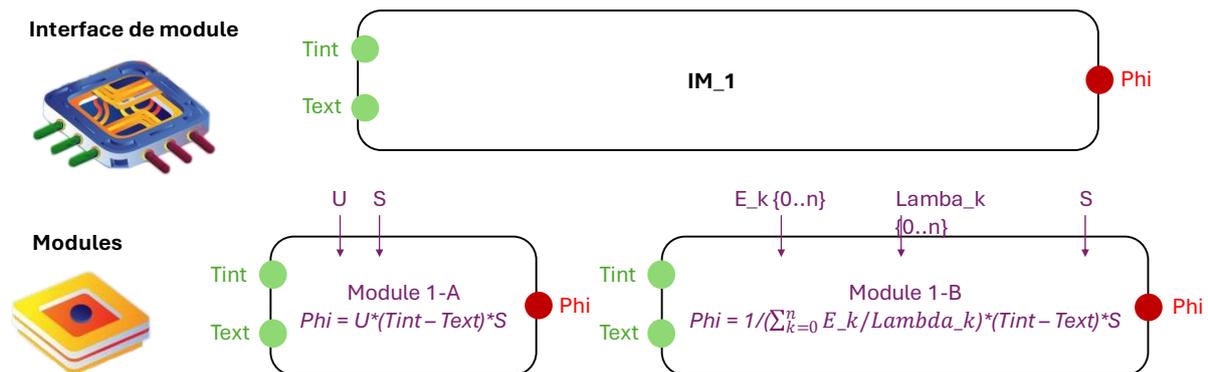


Figure 34 - Illustration d'une interface de module de calcul de flux au travers d'une paroi et de deux modules compatibles

Dans cet exemple IM_1 est une interface de module destinée à calculer le flux transmis par une paroi en fonction de la température intérieure et extérieure, et 1-A et 1-B sont deux modules compatibles avec IM_1 :

- Tint, Text, Phi sont des **variables de simulation** et définissent l'interface de module IM_1.
- La conductivité globale U et la surface S du mur sont des **paramètres** pour l'algorithme du module 1-A
- La liste des épaisseurs (E_k) et des conductivités thermiques (lambda_k) de chaque couche du mur, ainsi que la surface du mur S, sont les **paramètres** pour le module 1-B.

Les deux algorithmes des modules respectent les mêmes entrées et sorties. Ils sont donc bien interchangeables et compatibles avec IM_1. L'utilisateur peut choisir l'un ou l'autre pour alimenter l'interface de module correspondante IM_1. En conséquence, dans son jeu de données descriptif du projet, l'utilisateur devra fournir :

- les paramètres U et S pour chaque paroi si l'algorithme 1-A est utilisé ;
- les paramètres E_k, lambda_k, et S pour chaque paroi si le module 1-B est sélectionné dans le schéma de calcul.

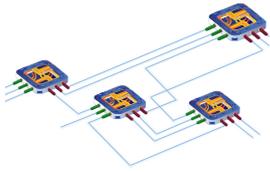


Schéma de calcul

Un schéma de calcul est défini par la liste des interfaces de module qui le composent ainsi que les connexions entre ces dernières.

Il est important de noter que, sauf dans de rares cas nécessitant des branchements atypiques, les connexions entre modules peuvent être déduites directement à partir de la liste des interfaces, en se basant uniquement sur les noms des variables de simulation qu'elles utilisent.

Ainsi, dans le cas général, **un schéma de calcul consiste à énumérer une liste d'interfaces de modules compatibles entre elles**, où chaque variable de simulation est calculée par une seule interface de module au maximum, mais peut être utilisée en entrée par plusieurs modules. Symétriquement, chaque variable de simulation d'entrée doit correspondre à la sortie d'une interface de module.

Dans le cas de COLIBRI, l'approche modulaire est dite structurée car le schéma de calcul est prédéfini. La modularité réside alors dans la possibilité de modifier le contenu des modules (c'est-à-dire choisir les modules à utiliser pour chaque interface de module), tandis que les liens entre eux et leur fonctionnement en tant qu'ensemble (c'est-à-dire la liste des interfaces de modules et leur connexions) sont imposés par le schéma COLIBRI.

Le schéma fixe de COLIBRI (pour une version majeure donnée) favorise la création d'une bibliothèque de modules véritablement compatibles et interchangeables. Grâce à une connaissance claire des contraintes et interfaces à respecter, les développeurs peuvent ainsi garantir une modularité effective et en tirer pleinement parti. Un schéma de calcul trop changeant risquerait de produire des modules incompatibles. En contrepartie, **cette rigueur nécessite que le schéma de calcul soit bien pensé et conçu pour couvrir une large diversité d'utilisations, tout en tenant compte des cas spécifiques et des innovations à venir.** C'est pourquoi COLIBRI adopte un schéma fonctionnel et ancré dans la réalité physique, afin de rester adaptable et d'anticiper au mieux les évolutions sans compromettre la compatibilité avec les modules existants. Ainsi, bien que le schéma ne puisse pas subir de modifications majeures sous peine de perdre potentiellement cette compatibilité, il peut en revanche s'enrichir de nouvelles interfaces de modules sans perturber les développements déjà réalisés. L'objectif est de limiter au maximum les évolutions majeures du schéma COLIBRI, afin de favoriser la capitalisation sur une collection de modules compatibles. Cela nécessite de concevoir un schéma COLIBRI optimal dès le départ, capable de répondre aux besoins actuels tout en anticipant les évolutions futures.

Toutes les applications estampillées COLIBRI utiliseront un schéma de calcul issu du schéma COLIBRI complet, qui couvre le plus grand nombre de thématiques possibles. Cependant, ces applications peuvent n'exploiter qu'une partie des interfaces de modules disponibles, autrement dit créer un sous-ensemble du schéma de calcul COLIBRI. L'essentiel, dans ce cas, est que la sélection des interfaces de modules (et donc le schéma de calcul choisi) soit cohérente et permette de réaliser un calcul complet sur la ou les thématiques ciblées par l'application.

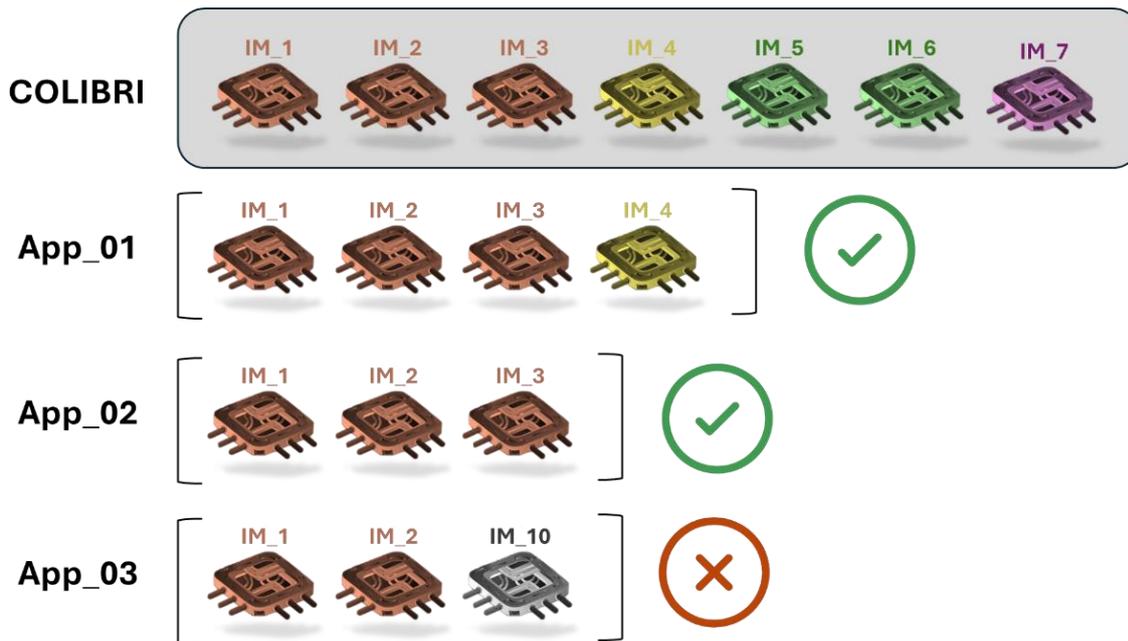


Figure 35 - Illustration de différents schémas de calcul et de leur compatibilité avec le schéma de calcul COLIBRI

Schéma COLIBRI = [IM_1, IM_2, IM_3, IM_4, IM_5, IM_6, IM_7] où IM_7 sert uniquement à un calcul économique, et IM_5 et IM_6 à un calcul ACV. IM_1 à IM_3 sont indispensables à un calcul énergétique, IM_4 est un module de calcul de production PV.

Schéma App_01 = [IM_1, IM_2, IM_3, IM_4]

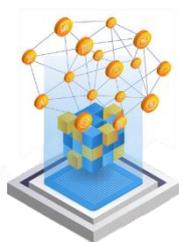
Schéma App_02 = [IM_1, IM_2, IM_3]

Schéma App_03 = [IM_1, IM_2, IM_10]

App_01 est une application COLIBRI car le sous-ensemble de modules sélectionné existe dans le schéma COLIBRI, fonctionne ensemble, et permet un calcul énergétique avec production PV.

App_02 est également une application COLIBRI car le sous-ensemble de modules sélectionné existe dans le schéma COLIBRI, mais elle ne permet pas le calcul de solaire PV.

App_03 n'est pas une application basée sur COLIBRI car IM_10 ne fait pas partie du schéma COLIBRI.



Project Orchestrator

Le Project Orchestrator est comme son nom l'indique le chef d'orchestre qui fait jouer tous les modules indépendants ensemble pour effectuer le calcul global.

A partir d'un schéma de calcul qui lui est transmis (par le Project Data) il va être capable :

- **d'instancier et préparer le moteur :**
 - analyser la liste des variables de simulations d'entrées et sorties des interfaces de modules du schéma pour comprendre comment les connecter, les lier (« quel module doit alimenter quel module ») ;
 - parcourir les modules choisis pour chaque interface de module et faire l'inventaire de la liste des paramètres nécessaires aux calculs et à quels Project Object les associer en vue de les faire remonter au Project Data ;

- à la création des modules, le project orchestrator qui a récupéré les paramètres du fichier d'entrée via le ProjectData les passe aux modules. Il peut faire des même avec les valeurs d'initialisation des variables de simulation dans le cas où celles-ci ont été imposées dans le jeu de données descriptif ;
- **exécuter le calcul :**
 - transfère entre modules les variables de simulations calculées. C'est lui qui va donc mettre à jour les valeurs d'entrée de chaque module à partir des sorties des modules liées avant chaque nouvelle exécution de fonction de module (run, end iteration,...).
 - exécute (sans ordre particulier même si on peut lui en indiquer un optimal) à chaque pas de temps les fonctions run, end iteration, etc de chaque module. A noter que c'est chaque module qui indique au Project Orchestrator qu'il a convergé sur un pas de temps donnée. Les sorties calculées dans chaque module sont sauvegardées à chaque pas de temps et conservées au sein même du module (elles ne sont pas remontées pendant le calcul au Project Orchestrator) dans des variables de séries ;
- **à la fin du calcul :**
 - récupérer, concaténer et sauvegarder les séries temporelles de chaque module au sein de chaque Project Objects et ainsi être capable de créer un fichier de sortie, de dessiner des graphes. Il a accès à toutes les sorties de tous les modules.



Project Data

Le Project Data traduit le jeu de données descriptif en classe python prête pour utilisation par le Project Orchestrator.

A partir du jeu de données COLIBRI, il va donc :

- Transmettre au Project Orchestrator le schéma de calcul ainsi que les modules sélectionnés par l'utilisateur pour chaque interface de module ;
- Contrôler que les paramètres du jeu de données transmis sont complets et compatibles avec ce que le moteur attend suite à l'analyse du Project Orchestrator ;
- Si les données sont cohérentes et conformes, le Project Data crée et instancie les différents Projects Objects du Project. Cette transformation du jeu de données descriptif en classes permet également de traduire de manière bijective les liens topologiques entre éléments afin de faciliter leur manipulation lors du calcul. Par exemple, les Project Objects space (ex : une pièce) connaîtront directement leur liste de boundaries (c'est-à-dire les parois – fictives ou matérielles - qui les délimitent), alors que dans le jeu de données descriptif seules les boundaries indiquent les espaces auxquels elles se rattachent (cf. §6.1.4 pour les définitions des termes). Certains champs sont également répliqués pour un accès plus rapide. Par exemple, la propriété length décrite dans les segments des boundaries (cf §6.1.4) sera également ajoutée aux Project Objects junctions, permettant d'accéder directement à junction.length dans les algorithmes de calculs des modules.



Project Objects

Les Projects Objects représentent la conversion des différents éléments, composants et sous-composants du bâtiment (et plus généralement du projet) en classes Python, à partir du jeu de données descriptif COLIBRI. Chaque élément du jeu de données est ainsi traduit en une classe Python, héritant de certains paramètres systématiques, auxquels sont ensuite ajoutés

les paramètres spécifiques qui leurs sont rattachés induits par le schéma de calcul. En fin de calcul, ces objets servent de réceptacles pour les variables de simulation qui leur sont associées.

À titre d'exemple, des éléments tels que le bâtiment (*Project Object building*, dans lequel on associe les paramètres de simulation et paramètres généraux par exemple), la météo (*Project Object weather*), la pièce (*Project Object space*), un mur (*Project Object boundary*), un émetteur (*Project Object emitter*), un tuyau (*Project Object hydraulic pipe*), etc deviennent des Project Objects après la transformation du jeu de données descriptif au format JSON par le Project Data.

Du fait de la structure du jeu de données de base COLIBRI (cf §6.1.4), il existe plusieurs types de Project Objects :

- **Structure Objects** : ils correspondent à des Project Objects que l'on retrouve systématiquement dans les projets COLIBRI car imposés par la structure du jeu de données descriptif. Dans cette catégorie on trouve les classes des objets suivants : Project, Building, Space, Boundary, LinearJunction, PonctualJunction.
- **Boundary Objects** : ils correspondent aux Project Objects rattachés directement à une boundary (i.e liste « object_collection » dans le jeu de données des boundary, cf §6.1.4).

Ex : Emetteur, Fenêtre, Table, ...

- **Element Objects** : ils représentent des Project Objects qui sont rattachés en tant que paramètres et sous forme de collection à des Boundary Objects ou des Structure Objects (en dehors des collections « object_collection » des boundary). Ils correspondent donc à des sous-éléments ou composants de ces objets et sont renseignés au même niveau que les paramètres de ces derniers (dans les archétypes, cf §6.1.4).

Ex : les différentes couches de la vitre d'une fenêtre ou celles d'une boundary sont des Element Objects car ils correspondent à des paramètres organisés sous forme de liste/collection. En revanche, un élément comme le type de robinet thermostatique d'un émetteur n'est pas considéré comme un Element Object, car il ne représente pas une collection (liste). Il s'agit d'un paramètre direct du Project Object émetteur, tout comme sa puissance maximale par exemple.

- **BoundaryConditions** : permet de représenter des conditions limites sur certaines variables de simulations, rattachées à des Boundaries, Boundary Objects ou Element object.

6.1.4. La création d'un modèle de donnée d'entrée générique



Pour répondre aux enjeux suivants du cahier des charges :

- Prise en compte du BIM sans le rendre obligatoire ou systématique
- Une description neutre pour pouvoir valoriser plusieurs thématiques métier (énergie, acoustique, matérialité...)

En cohérence avec l'architecture modulaire choisie (cf. §6.1) pour répondre à diverses thématiques métier et cas d'usage, il était nécessaire que le jeu de données descriptif de COLIBRI puisse facilement intégrer cette modularité et s'adapter aux différents schémas de calcul.

Pour cela, un modèle de données générique et flexible a été conçu pour le moteur de calcul COLIBRI, capable d'intégrer différents types d'éléments et leurs paramètres associés, qu'ils soient déjà identifiés ou non. Plutôt que de s'appuyer sur des choix de modélisation et de découpages trop spécifiques à une thématique, risquant de limiter l'évolution du jeu de données en parallèle de celle des modules de calcul, il a été décidé d'adopter un modèle de données descriptif et générique. Ce modèle se concentre sur une description exhaustive des composants présents et de leurs relations (« j'ai un radiateur situé sur ce mur »), sans imposer de préjugés quant à la manière de les modéliser.

Ainsi, le modèle de données choisi pour COLIBRI est suffisamment neutre pour être utilisé dans différents contextes métier, car il ne dépend pas d'une abstraction métier particulière. **Grâce à ce modèle orienté description, il est même possible de reconstruire virtuellement un bâtiment avec un placement précis de tous ses éléments.**

Une version 3D de ce modèle est possible, compatible avec une vision BIM (et des outils de conversions des standards IFC et gbxml seront à développer), mais il fonctionne également sans information précise sur la 3D, se basant uniquement sur les liens topologiques entre les éléments du bâtiment. Cela permet une flexibilité, n'exigeant pas forcément une description détaillée BIM (cf §8.3).

Le modèle de donnée COLIBRI s'appuie sur quelques concepts simples :

Au niveau du/des bâtiments :

- **Boundary et Space** : les boundaries, assimilables à des parois, peuvent être réelles (dans ce cas correspond à une paroi matérielle) ou fictives et divisent le bâtiment en zones appelées spaces. Un space correspond généralement à une pièce, mais peut représenter un bâtiment entier si l'on ne souhaite pas un niveau de détail plus fin. Ces spaces définissent ainsi la résolution de calcul la plus adaptée et souhaitée par l'utilisateur. Chaque boundary possède deux faces (side_1 et side_2), chacune indiquant le space auquel elle est associée, ou l'extérieur ;
- **Junctions (Linear ou Ponctual)** : les linear junctions indiquent les connexions entre Boundary et permettent d'obtenir une topologie complète du bâtiment. Les ponctual junction font de même mais cette fois pour des Objects non Boundary (par exemple connexion entre tuyaux, deux éléments) ;
- **Positionnement des autres Composants (Boundary Objects)** : tous les éléments du bâtiment sont positionnés soit topologiquement, soit en coordonnées relatives (3D, x,y,z) par rapport à une paroi (« boundary »). Par exemple, un radiateur peut être placé sur un mur, une chaise sur un plancher, ou un lustre relié à un plafond. Cette méthode organise l'intégration des composants dans l'espace ;
- **Archétypes (Archetype)** : les caractéristiques intrinsèques des composants ne sont pas figées dans le modèle générique de COLIBRI. Elles dépendent directement des modules de calcul sélectionnés dans l'architecture modulaire COLIBRI et donc des paramètres nécessaires à ces modules. Les propriétés (paramètres) rattachées à des Project Objects sont regroupées dans une bibliothèque d'archétypes nommée « archetype_collection » et rangés par Project Object (ex : bibliothèque de couches de mur, bibliothèque de types d'émetteurs etc...). Chaque objet du projet est associé à un archétype spécifique, qui peut donc être considéré comme une collection de composants renfermant la description technique (valeurs des paramètres) ;
- **Paramètres propres aux modules (specific module parameters)** : certaines propriétés des modules ne sont pas directement liées à un Project Object spécifique (par exemple : le scénario climatique d'un module météo ou le critère de convergence d'un module). Dans ces cas, ces paramètres sont regroupés dans le jeu de données descriptif, sous la forme d'un dictionnaire nommé « module_collection », organisé par module.

Il est à noter que le modèle COLIBRI s'étend également à la parcelle via l'objet « Building_land ». Bien que la structuration et la représentation des éléments de la parcelle dans Building_Land n'aient pas été spécifiées dans le projet CIBLE, elles devront rester aussi générique que celles du modèle à l'échelle du bâtiment. Evidemment, contrairement à l'échelle bâtiment, les boundaries ne seront probablement pas utilisées comme base topologique pour la description des éléments de la parcelle.

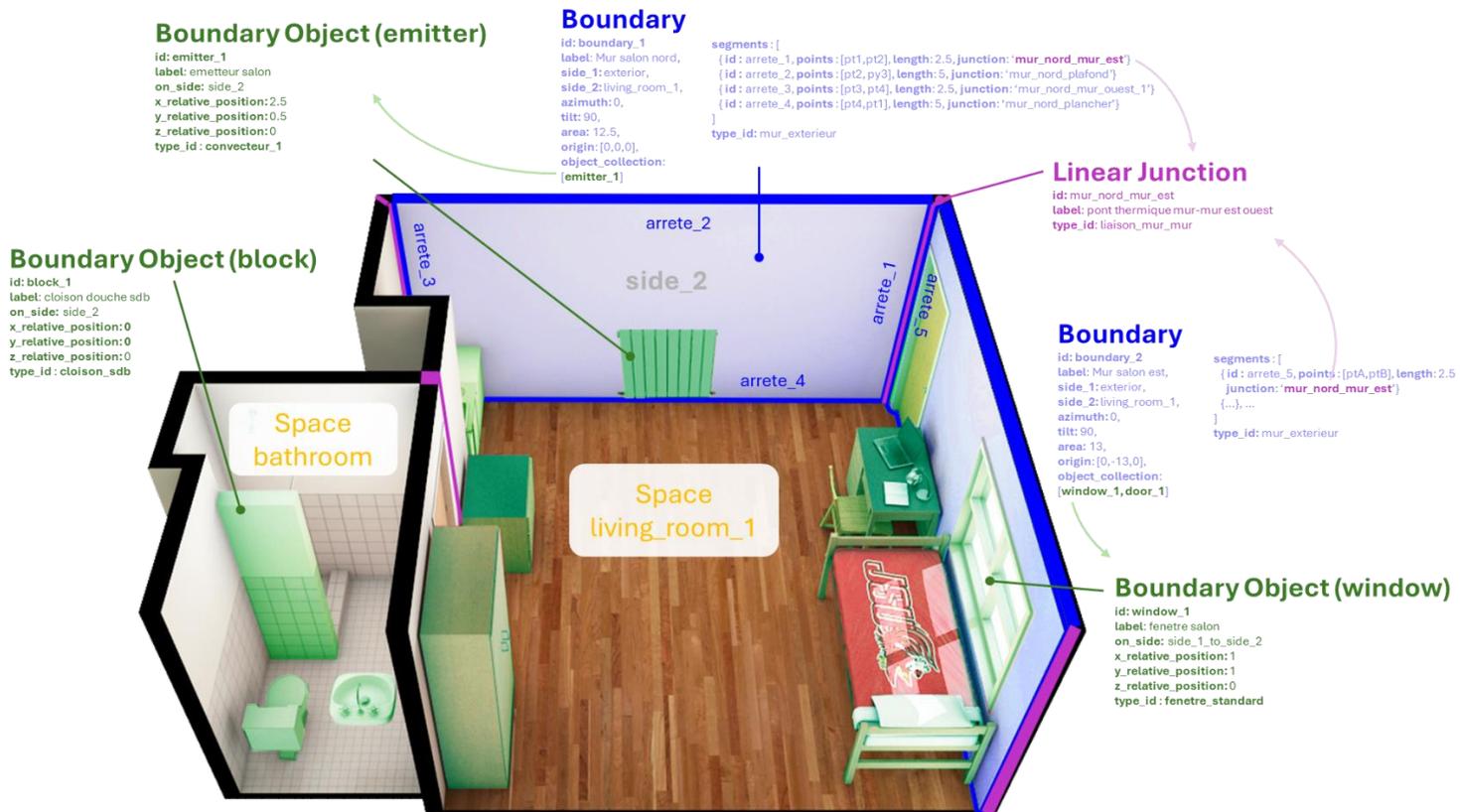


Figure 36 - Un jeu de données organisé autour d'une description en boundary, space, BoundaryObject, LinearJunctions

Les **type_id** des objets du jeu de donnée descriptifs font référence à des archétypes où sont stockés les valeurs de paramètres spécifiques à chaque type d'objet. Ces paramètres proviennent des besoins du moteur de calcul, en fonction des modules choisis. La factorisation en archétypes permet d'appliquer facilement les mêmes caractéristiques à plusieurs objets similaires sans les répéter dans le jeu de données descriptif.

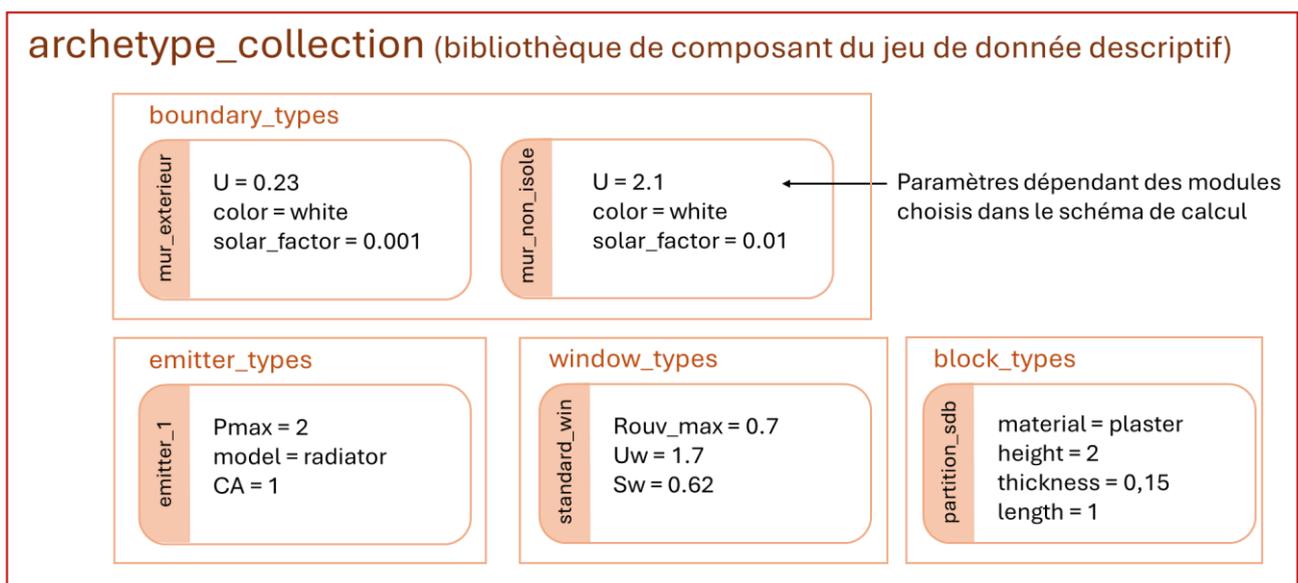
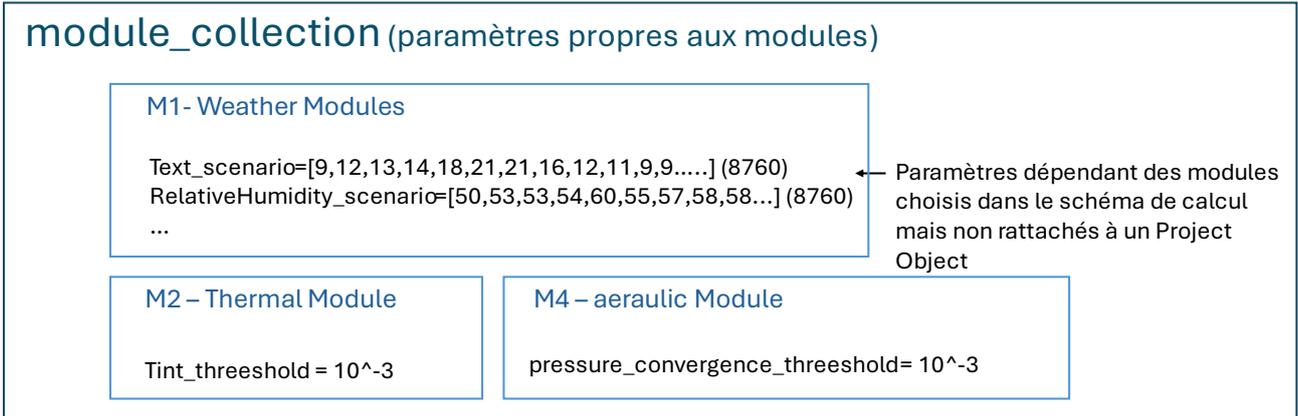


Figure 37 - Les archétypes rassemblent les caractéristiques intrinsèques des composants (Projet Object) et permettent de factoriser des caractéristiques communes

Les paramètres spécifiques aux modules, c'est-à-dire ceux qui ne sont pas associés à un Project Object particulier, sont stockés dans le jeu de données descriptif dans une bibliothèque nommée `module_collection`, où les dictionnaires sont organisés par nom de module.



Il est important de souligner que si plusieurs modules utilisent un même paramètre (même nom, même unité et même Project Object associé), celui-ci ne sera référencé qu'une seule fois dans le jeu de données descriptif. Lors de l'ajout d'un nouveau module à la bibliothèque de modules Colibri, les développeurs sont invités à consulter la nomenclature des paramètres existants afin d'éviter l'introduction de doublons avec des noms différents. Des contrôles sur les unités pourront être mis en place par les mainteneurs de code pour détecter ces cas et les corriger avant la mise à disposition du module pour tous.

Il est également possible dans le jeu de données d'entrée de renseigner des variables de simulations et pas uniquement les paramètres. Dans ce cas, les valeurs associées à ces variables seront utilisées uniquement pour leur initialisation dans les modules lors du premier pas de temps du calcul. Si aucune valeur n'est spécifiée dans le jeu de données, les modules se référeront alors aux valeurs d'initialisation par défaut définies lors de la déclaration des variables de simulation dans chaque module.

Cette séparation des propriétés entre l'objet et son archétype s'applique uniquement au niveau du jeu de données descriptif. Lors de la création des classes Project Object par le Project Data, tous ces paramètres d'archétypes sont intégrés à chaque objet, en complément des paramètres de classe de base.

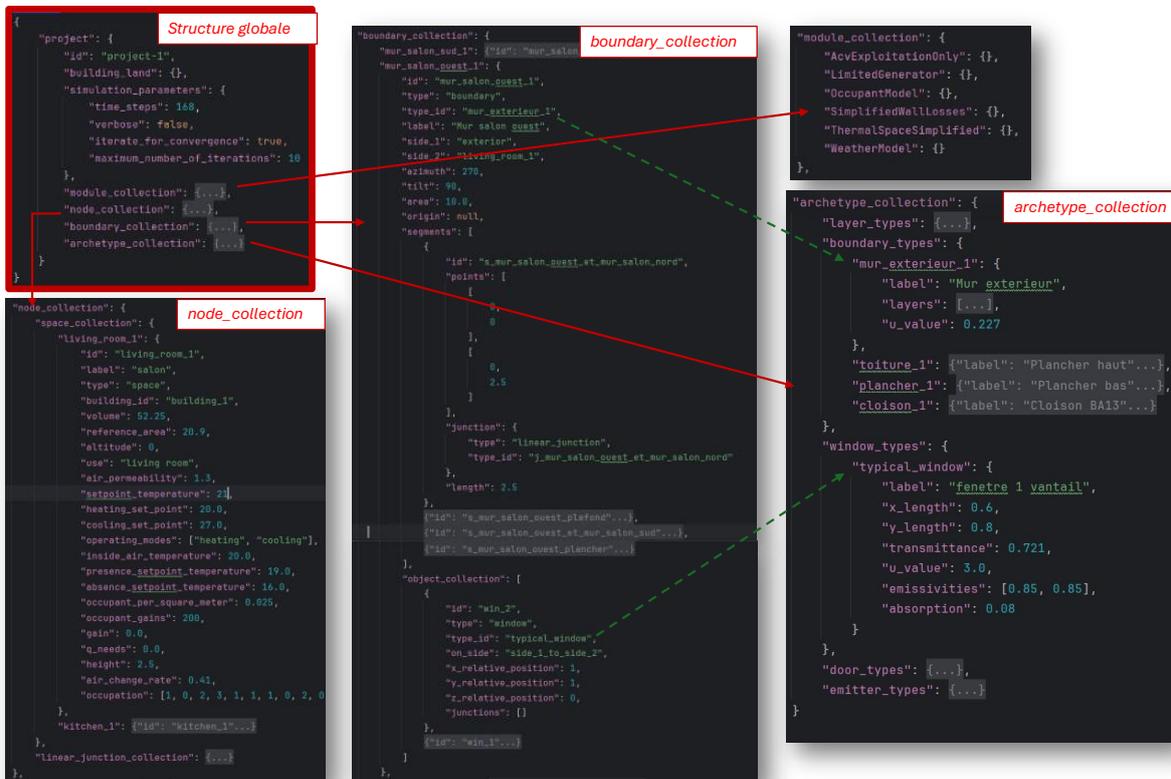


Figure 38 - Structure globale du jeu de données descriptif du bâtiment (exemple issu du PoC)

Ainsi, Le modèle de données COLIBRI distingue la structure spatiale et la disposition des éléments (figé dans le modèle de donnée et partagées pour tous les jeux de données COLIBRI en entrée) de la description des caractéristiques spécifiques de chaque élément, ce qui permet une adaptation en fonction des exigences de calcul. Cela crée un modèle de données générique et adaptable, qui reste indépendant des domaines que l'on souhaite représenter ou des choix de modules que l'on souhaite mobiliser pour le calcul (induits par l'approche modulaire).

A noter que ce modèle de données est utilisé par COLIBRI comme la description d'entrée la plus détaillée possible. Des processus de simplification et d'enrichissement peuvent être appliqués en amont pour adapter le modèle à différentes situations, comme les bâtiments existants par exemple. Ces adaptations généreront le modèle exhaustif, COLIBRI, grâce à différentes hypothèses, assurant que le même moteur de calcul est utilisé que ce soit pour des projets neufs (avec ou sans BIM) ou existants (Diagnostic DPE par exemple) (cf §06)

6.2. Un langage de programmation propice à la collaboration



Pour répondre aux enjeux suivants du cahier des charges :

- Un moteur open-source ouvert aux contributions extérieures

Une des priorités identifiées est le partage open-source du code, ainsi que la facilitation des contributions d'experts métier et la signalisation de bugs. Il est donc essentiel de choisir un langage de programmation accessible non seulement aux informaticiens, mais aussi aux experts du domaine du bâtiment, qui sont la cible principale de COLIBRI.

Des expériences antérieures avec le moteur réglementaire thermique COMETH (utilisé en RT2012 puis RE2020) ont montré qu'un code exclusivement développé et maintenu par les informaticiens complique sa maintenance et son évolution en fonction des besoins spécifiques du secteur. Il est néanmoins crucial de veiller à ce que la facilité de compréhension et l'universalité du code n'impactent pas négativement ses performances.

Le choix du langage Python semble représenter un bon compromis pour plusieurs raisons :

- ✓ Python est un langage très répandu, utilisé tant par des chercheurs et des ingénieurs que par des informaticiens.;
- ✓ Il est possible de transformer le code Python, qui est facile à lire et à modifier, en versions "cythonisées" qui améliorent les temps de calcul et se rapprochent des performances de langages hautement efficaces tels que le C++.

Il est donc prévu de développer COLIBRI sous le framework Python et de mettre à disposition des versions cythonisées des modules les plus populaires et gourmands en temps de calculs pour optimiser leur exécution.

Des modules et composant d'architecture très utilisés pourront éventuellement à terme être développés ou redéveloppés nativement en C++ pour améliorer la performance.

6.3. Schéma Colibri



Pour répondre aux enjeux suivants du cahier des charges :

- Couvrir le périmètre des thématiques indispensables et souhaitées
- Permettre le changement de modules pour correspondre aux différents cas d'usage du cahier des charges (adapter le niveau de détail, faciliter la contribution au code, proposer un nouveau système...)

Le schéma de calcul ci-dessous propose un découpage des interfaces de modules au sens de l'architecture modulaire décrite précédemment, notamment au sens du schéma de calcul décrit au §6.1.3. Le découpage doit permettre la modification du modèle sous-jacent (intégré dans un module) recouvrant le périmètre d'un bloc (interface de module) toutes choses égales par ailleurs. Cela permet d'établir le caractère modulaire du moteur. Le schéma est ici présenté dans une version simplifiée, la version détaillée avec plus de précision sur les entrées et sorties à respecter pour chaque interface de module est également proposée en annexe (schémas §10). Les flèches représentent des entrées et sorties qui sont des variables de simulation au sens défini au §6.1.3 et que chaque module est contraint de respecter pour s'insérer dans le module.

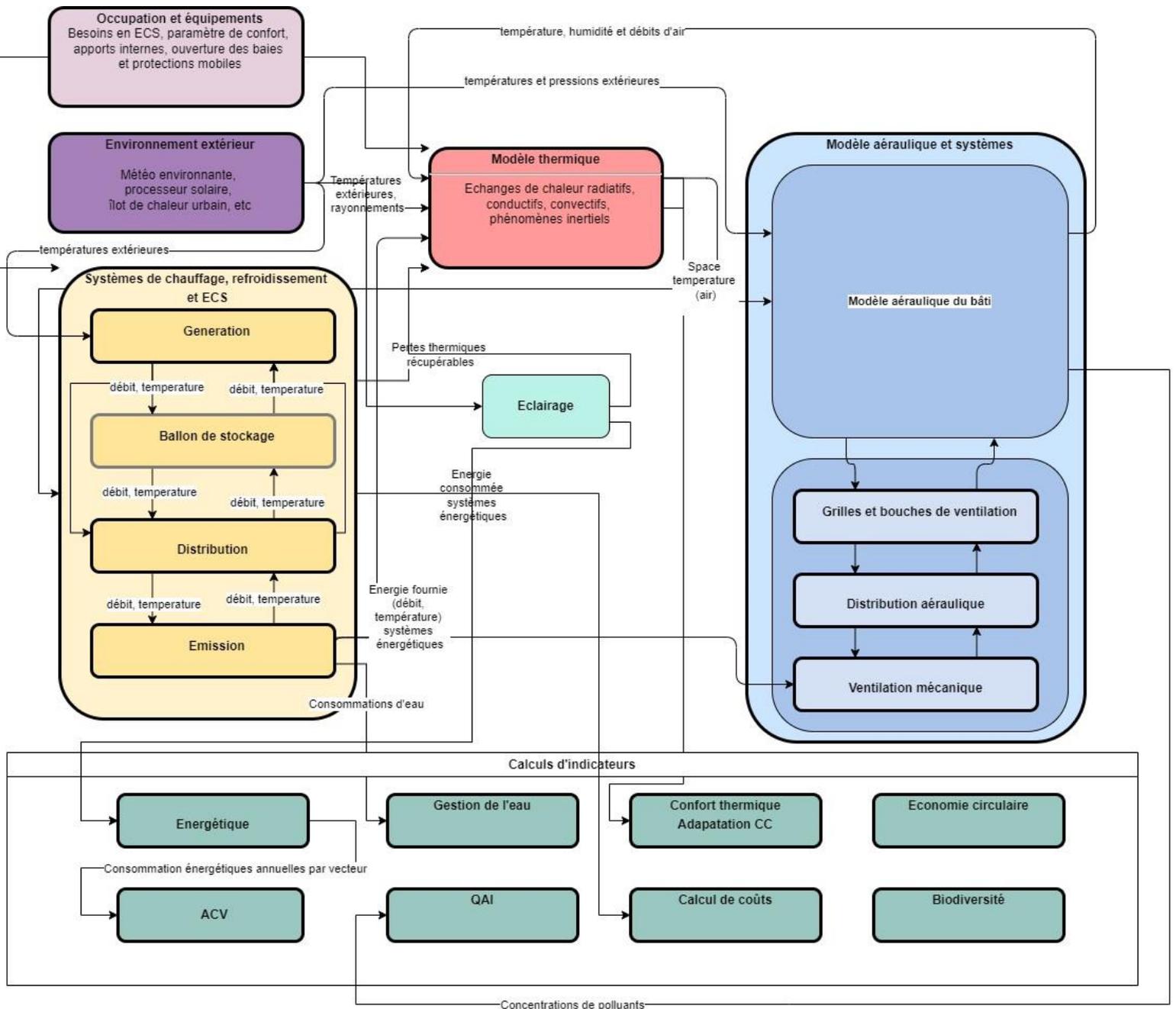


Figure 39 : Schéma de calcul des modules Colibri

Ce schéma de calcul est une proposition initiale : dans le cadre du projet Cible, la partie qui a principalement fait l'objet d'une construction détaillée est la partie modèle thermique, aéraulique et systèmes, c'est-à-dire **les éléments qui participent de la dynamique aéro-hygrothermique**. Ces éléments ont été testés dans le cadre du développement de la preuve de concept (PoC). Cette proposition nécessitera des compléments et ajustements dans le cadre d'étapes ultérieures de développement de Colibri : par exemple la production d'énergie renouvelable comme le photovoltaïque n'est pas encore intégrée dans ce schéma.

D'autres **thématiques pas ou peu dépendantes de la dynamique aéro-hygrothermique** (économie circulaire, biodiversité, coût, ACV) peuvent être traités dans des modules séparés, sans interaction forte avec le calcul à chaque pas de temps. Ainsi ces modules n'ont pas été directement explorés dans le cadre de la preuve de concept Cible, mais comme ils sont plutôt indépendants, leur branchement est facilement réalisable du point de vue de la séquence de calcul, c'est pourquoi ils apparaissent dans le schéma dans la zone « calcul d'indicateurs », sans interaction forte avec les autres interfaces de modules de la partie dynamique aéro-hygrothermique. Cela signifie également que ces modules ne nécessitent pas de fixer de contraintes sur les entrées-sorties : par exemple un module ACV pourrait facilement être remplacé par un autre module en changeant de nombreux paramètres nécessaire mais sans imposer pour l'un ou l'autre le respect d'entrées-sorties à chaque pas de temps. Autrement dit, pour ces thématiques ou le calcul d'indicateurs, le calcul peut se faire en post-traitement de la partie aéro-hygrothermique, éventuellement en se basant sur des vecteurs de valeurs annuelles mais sans interférer dans ce calcul par ailleurs. Cela facilite leur prise en compte dans le moteur et à ce titre le schéma peut facilement absorber des thématiques qui n'interviennent pas dans la dynamique citée. L'enjeu de l'ajout de ces thématiques porte alors sur d'autres aspects : par exemple l'ajout de paramètres spécifiques dans le modèle de données (or comme présenté au §6.1.4 cet aspect est traité par la généralité de la description physique dans le modèle de données).

Certains blocs (interfaces de modules donc) peuvent être imbriqués : par exemple un modèle aéraulique global pourrait permettre de traiter les systèmes de ventilation mécanique en même temps que l'aéraulique du bâti dans un module global, ou bien un sous-découpage peut être opéré, permettant par exemple de ne modifier que le modèle de ventilation mécanique sans toucher au modèle aéraulique pour le bâti. Les imbrications fonctionnent tant que les entrées-sortie du bloc global sont bien en adéquation avec les entrées-sorties de l'ensemble des blocs qu'il contient.

6.4. Une gouvernance et une diffusion centrée sur l'open-source



Pour répondre aux enjeux suivants du cahier des charges :

- un moteur open-source ouvert aux contributions extérieurs
- une gouvernance duale entre réglementaire et autres utilisations

6.4.1. Rappels sur l'open source, le logiciel libre et les licences

Le logiciel Libre est une pratique décrite pour la première fois en 1980, qui garantit 4 libertés logicielles fondamentales :

1. la liberté d'exécuter le programme, pour tous les usages ;
2. la liberté d'étudier le fonctionnement du programme et de l'adapter à ses besoins ;
3. la liberté de redistribuer des copies du programme (ce qui implique la possibilité aussi bien de donner que de vendre des copies) ;
4. la liberté d'améliorer le programme et de distribuer ces améliorations au public, pour en faire profiter toute la communauté.

L'open source est arrivé à la fin des années 90, et se focalise essentiellement sur les modalités techniques de diffusion et de collaboration, plus que sur la philosophie sociale de collaboration du logiciel libre. Dans les deux cas, les logiciels ne sont pas forcément gratuits, ils peuvent être vendus, mais sont assujettis à des obligations de redistribution du code source aux clients finaux qui sont eux-mêmes libres de le modifier, le redistribuer etc.

Il existe une très grande diversité de modèles de gouvernance et de licences associées. Ces licences sont certifiées par l'Open Source Initiative (OSI) et garantissent la possibilité de recours contre des acteurs réutilisant le code sans respecter les obligations liées aux licences.

Il existe deux grandes familles de licences :

- les licences dites « copyleft », prenant le contre-pied du copyright, car imposant la redistribution de tout code dérivé sous une licence identique ou compatible, en général dans l'idée de protéger l'intérêt public du protégé, ou son caractère de commun numérique, quitte à brider les possibilités de réutilisation dans des environnements mixtes avec du code propriétaire ;
- les licences dites permissives, qui laisse la pleine liberté de réutilisation, avec simplement des obligations de citation et la possibilité de lier du code propriétaire.

On trouve ainsi des palettes de projet allant de :

- un projet 100% libre, avec licence copyleft, dont le caractère libre et indépendant d'un seul acteur est garanti par une fondation ou une association indépendante (Linux, Apache, Nexcloud, Blender, postgresQL, QGIS etc..) ;
- des projets libres mais pilotés par un acteur moteur principal, privé ou public, avec l'appui d'une communauté (Mozilla, Ubuntu, Gitlab) ;
- des projets open source, ouverts aux contributions mais avec une gouvernance fermée (Qt, ElasticSearch, Android, VSCodium, Kubernetes, Chromium etc..) ;
- des projets à double licence, combinant un noyau disponible en open source, et des modules complémentaires propriétaires, c'est le modèle Open Core (Gitlab, DBT Cloud, Qt, CGAL).

L'open source est désormais un incontournable pour tout nouveau projet. Que ce soit par adhésion sincère aux principes de l'ouverture, où pour profiter de l'open source comme d'un outil de diffusion massive avant monétisation. Il est aujourd'hui difficile de vendre un produit sur la simple promesse de sa qualité. L'ouverture du code est une transparence qui offre aux utilisateurs la garantie de pouvoir auditer le code exécuté, d'avoir une porte de sortie en cas de changement de stratégie de l'éditeur, et de pouvoir interagir avec une communauté d'utilisateurs offrant une entraide aussi précieuse qu'un support commercial payant.

La Loi Lemaire de 2016 encourageait l'utilisation et le développement de logiciels libres et de formats ouverts dans les administrations. Depuis 2021, l'Etat met en œuvre un plan d'action « logiciel libre et communs numériques », piloté par un pôle d'expertise logiciel libre au sein de la Direction Interministérielle du Numérique (DINUM). Elle veille à accompagner les établissements publics et services de l'Etat dans leur utilisation mais aussi dans la production de code ouvert.

6.4.2. Quels enjeux de gouvernance pour Colibri?

Le projet COLIBRI doit concilier des usages réglementaires, de recherche, et des usages opérationnels dans des outils commerciaux. Il doit garantir que les seuils et algorithmes réglementaires sont bien respectés, tout en laissant une grande liberté sur les modules complémentaires. Il doit enfin permettre un modèle économique garantissant son bon fonctionnement dans une communauté qui mutualise ses efforts autour d'un socle commun, en évitant l'écueil de la division des projets, le « fork ». Il doit permettre de garantir l'authenticité du code source et des binaires livrés dans la réutilisation au sein d'outils tiers. Les enjeux de gouvernance sont donc forts et complexes, des propositions sont faites dans les paragraphes suivants pour y répondre.

6.4.3. Un cœur réglementaire ouvert aux contributions, mais sous contrôle du comité stratégique et de l'Etat.

L'approche modulaire proposée permet d'affiner des gouvernances différentes selon les différentes briques d'architecture. Ainsi le cœur technique doit fédérer l'ensemble des acteurs et faire consensus sur les choix d'implémentation. Ce module devrait préférentiellement être dans une licence permissive, et sa gouvernance largement pilotée par un comité d'experts techniques garants de la validité scientifique, et d'architectes informatiques, garants de la stabilité, la performance et l'extensibilité du module de calcul.

Pour les modules qui permettent l'application des seuils réglementaires, la certification de la conformité du code, l'Etat sera pilote et unique décisionnaire. Toutefois le code associé pourra être ouvert aux contributions, pour remonter les éventuelles questions, bugs, voire propositions d'évolutions par un canal efficace. Ces modules réglementaires devront mettre en place des obligations de signature numérique du code source, des binaires diffusés.

Pour maximiser la réutilisation de l'ensemble des modules, tout en stabilisant le modèle économique, il est possible de prévoir une diffusion en double licence, la licence copyleft étant dédiée aux usages publics, non commerciaux, ou à l'intégration dans des outils eux-mêmes open source. Une licence propriétaire permettrait quant à elle à des éditeurs de logiciels propriétaires d'intégrer le moteur de calcul dans leurs outils, aux prix d'une licence ou redevance d'usage. La double licence permet également de modérer le risque associé à un financement entièrement public qui peut se retrouver incapable de financer les ressources nécessaires à la réactivité que demandent des acteurs industriels. Cette proposition augmente néanmoins la complexité de diffusion du projet et peut-être vu comme un risque également. Un modèle à base de licence ouverte n'empêche pas d'offrir des services commerciaux d'évolution et de correctif, voire d'offrir des services d'hébergement en ligne sur abonnement qui fournirait des ressources au projet. Le choix sera donc un compromis entre complexité technique, choix de financement, et volonté politique de libre réutilisation plus ou moins forte.

Les modules non réglementaires devront utiliser des licences compatibles avec la licence du cœur de calcul, mais pourront choisir librement leur gouvernance. A titre d'exemple, un module biodiversité en cours de développement dans le champ de la recherche opérationnelle, financé sur fonds publics pourra choisir une licence copyleft, avec une gouvernance propre à ce module. Son incubation pourra se faire de manière libre dans un dépôt, voire une forge différente du cœur de calcul réglementaire.

Les choix de gouvernance devront permettre la prise d'initiative « bottom up » sur des évolutions techniques ou méthodologiques. L'ensemble des projets open source matures devant garantir une continuité de service proposent ainsi un parcours dédié à la proposition de changement de code, sous forme de Request for Change (RFC) ou Enhancement Proposal (EP). Ces propositions sont revues par les pairs techniques, et remontés pour validation à la gouvernance stratégique lorsque nécessaire.

6.4.4. Construction d'une communauté

Rassembler l'ensemble des forces actuellement dispersées n'est pas qu'un effort technique. Un projet logiciel est avant tout le fruit de discussions et de relations humaines de confiance. Il faut ainsi communiquer largement sur les travaux en place, animer des conférences, des journées utilisateurs et organiser des rencontres de la communauté des développeurs et contributeurs pour que le projet prenne vie. A titre d'exemple, la Base adresse nationale, le projet d'images de rues Panoramax, la majorité des projets beta.gouv consacrent une part importante de leurs ressources à l'animation de communauté.

Cette communauté nécessite des infrastructures, désormais classiques :

- une forge de discussion ouverte découvrable autour du code et de la feuille de route ;
- un espace d'échange de type forum ou mailing list ;
- des espaces et canaux de discussion instantanée ;
- une newsletter ;
- un site web reflétant la vie du projet et permettant de diffuser actualités et articles de fond.

Mais elle nécessite également des ressources pour :

- alimenter la communication sur le site, les réseaux, la newsletter ;
- faire vivre la communauté : organiser des rencontres utilisateurs, développeurs, hackatons. Valoriser le projet dans les événements métier pertinents ;
- financer le temps de revue de code ou de contenu des propositions ;
- assurer le travail de fond de publication des versions (correctifs de sécurité, évolution) ;
- mettre en coordination l'avancement des modules et de leurs communautés de développement ;
- offrir une interface entre législateurs, développeurs, utilisateurs publics ou privés, et valider une feuille de route produit viable

Pour que cela fonctionne, et pour favoriser les contributions, les critères de réussite devront être régulièrement passés en revue, par exemple :

- avoir un code, une architecture logicielle et un dépôt de code clairs, intuitifs et documentés ;
- être ouvert et bienveillant aux contributions externes ;
- favoriser des tickets, commentaires et échanges pour débattre de choix de développements, signaler des anomalies ou potentielles améliorations ;
- encourager à l'émergence de discussions avec des mises en œuvre de code réelles, discuter en amont des propositions de changement de code. Des propositions majeures devront être discutées avec la gouvernance en amont, sur la base de proposition de changement prototypée dans des propositions de changement.

6.4.5. Quelle forge ? La plateforme de code et diffusion

Dans l'écosystème des solutions possibles pour diffuser un projet open source, il y a plusieurs plateformes possibles, qu'elles soient hébergées par des acteurs institutionnels, par exemple git.ademe.fr (gitlab), ou encore sur des instances mondiales comme gitlab.com ou Github. Le choix de la plateforme est en soi un choix de souveraineté à discuter. Le code reste totalement portable d'une plateforme à l'autre.

Github est actuellement plus visible et utilisé que gitlab.com. En revanche, toute migration pour sortir de GitHub est assez lourde (export des tickets, utilisateurs, intégration continue). Pour un projet comme Colibri, dans la mesure où l'ouverture en open source est primordiale, Github est un choix qui pourrait maximiser la visibilité du projet. Nous proposons de choisir cette plateforme pour démarrer.

Ensuite, il est attendu que le projet Github soit créé en adéquation avec la gouvernance et le modèle économique qui seront retenus. Les éléments du cahier des charge donnent des pistes sur ces points, sans les déterminer totalement à ce stade : le choix de licence et gouvernance du projet Github sont donc seulement en partie cadrés.

7. Validation faisabilité technique avec la Proof-of-Concept (PoC)

Afin de vérifier que les spécifications techniques décrites dans ce livrable permettent effectivement de répondre aux cas d'usage identifiés, tout en prenant en compte l'ambition de modularité du futur moteur de calcul Colibri, une implémentation informatique complète de l'architecture sous Python a été réalisée dans le cadre du projet CIBLE.

Un proof-of-concept a ainsi été développé en deux étapes :

- **Un premier proof-of-concept très simplifié basé sur un schéma de calcul sommaire** (voir section §6.1.2 pour les définitions de schéma de calcul) a permis de modéliser différents cas d'échanges de données modules. Ce prototype a aussi permis d'explorer les formats et types de modules connectables, les fonctions essentielles à intégrer dans chaque module (initialisation, calcul en cours de pas de temps, convergence, calcul en fin de pas de temps ou de simulation, ...), la génération automatique du modèle de données d'entrée en fonction des modules sélectionnés, ainsi que l'instanciation automatique des "Project Objects" à partir du schéma et des données descriptives. Enfin, la modularité a été testée avec un changement de module au sein d'une interface de module.

Ce proof-of-concept a permis de valider l'architecture COLIBRI et de fournir un exemple simple et pédagogique pour mieux comprendre son fonctionnement.

- **Un prototype plus avancé, cette fois-ci basé sur le schéma de calcul réel envisagé pour COLIBRI (voir section §6.1.4), a ensuite été développé.** Des modules de calcul réels ont été intégrés, notamment un module de résolution thermique, un module de résolution aéraulique, et plusieurs modules relatifs aux systèmes de chauffage (émissions, distributions, génération).

Ce prototype a permis de tester l'architecture sur des cas concrets, et de s'assurer qu'aucune fonctionnalité nécessaire à la modélisation n'avait été oubliée. Il a également validé la prise en main de l'architecture par des ingénieurs métiers, l'objectif étant que chacun puisse développer des modules facilement.

Le proof-of-concept du projet CIBLE est mis à disposition au travers d'un fichier ZIP en annexe de ce livrable. Le langage utilisé est Python et le format pour le jeu de donnée descriptif est le JSON. Le prototype détaillé en construction n'est pas fourni avec ce livrable mais servira de base au développement du « vrai COLIBRI ».

L'utilisation de ce code est libre mais toute évolution nécessite l'accord des auteurs selon la licence *Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-ND 4.0)*.

À terme, et dans les prochaines étapes du développement de COLIBRI post-CIBLE, la base architecturale du prototype consolidée sera diffusée en open-source via un dépôt de code public, type Github et avec une licence code adaptée. Les modalités de participation et de réutilisation seront définies en collaboration avec les acteurs intéressés et les pouvoirs publics, conformément aux recommandations du projet CIBLE (voir section §6.4).

La documentation de ce proof-of-concept est accessible publiquement à l'adresse suivante <https://colibri-poc-documentation.dimn-cstb.fr/>

8. Adéquation avec le cahier des charges

8.1. Respect des thématiques

Pour rappel du cahier des charges, le tableau ci-dessous présente les thématiques, par ordre de priorité. Le cœur de calcul proposé permettra de générer des indicateurs sur différentes thématiques considérées comme indispensables et souhaitées.

	Indispensable	Souhaité Pas prioritaire	Pas indispensable
Thématiques	Énergie 		
	Confort d'été 		
	ACV 		
	Adaptation au changement climatique		
	Autoconsommation (<i>lié à Energie</i>)		
	Éclairage (<i>lié à Energie</i>)		
	Humidité (<i>lié au Confort d'été</i>)		
		QAI Economie Circulaire Eau Coût Global Biodiversité	Acoustique Qualité d'usage Artificialisation Mobilité

Tableau 40 : Ligne des thématiques, extrait de la synthèse du cahier des charges du §4.2

Le schéma de calcul présenté au §6.2 permet de couvrir les thématiques suivantes.

Le calcul aéro-hydrothermique et la modélisation des systèmes énergétiques permettent de traiter les thématiques **énergie, confort d'été, adaptation au changement climatique, autoconsommation, éclairage, humidité et QAI**. A ce jour, il manque certains systèmes dans le découpage -par exemple le photovoltaïque-, ce qui ne permet pas de traiter totalement les thématiques (énergie, autoconsommation), mais l'intégration de ces systèmes étant bien prévue à terme dans le schéma, Colibri pourra bien couvrir ces thématiques.

Les modules spécifiques permettent de prendre en compte le calcul d'**ACV, d'économie circulaire, de coût, des consommations d'eau** et de la **biodiversité** : ces sujets peuvent être traités à part des calculs dynamiques sur l'aéro-hydrothermique. Certaines données issues du calcul dynamique sont toutefois nécessaires pour alimenter ces thématiques : par exemple la consommation énergétique est nécessaire pour alimenter l'ACV et le calcul de coût global.

8.2. Respect des fonctionnalités

Pour rappel, le tableau ci-dessous présente les fonctionnalités du cahier des charges, par ordre de priorité et les spécificités de la prise en compte de l'existant et du neuf dans le moteur de calcul. Il est attendu que des outils basés sur le moteur de calcul COLIBRI disposent de ces fonctionnalités considérées comme indispensables et souhaitées, même lorsque non prioritaires.

	Indispensable	Souhaité Pas prioritaire	Pas indispensable
Priorités fonctionnelles	Calcul réglementaire ET conception -dont des usages recherche ; par ailleurs la conception nécessite des temps de calculs raisonnables-   Transparence et contributions possibles Compatibilité avec les directives et règlements européens obligatoire	Facilité de saisie Résultats proches du réel Contrôles de cohérence Niveaux de saisie différents selon phase Aide à la décision Suivi de la performance réelle Favoriser la compatibilité avec les normes de calcul européenne	Alimenter modélisations avec REX solutions Exhaustivité des indicateurs Actions de sobriété ou densification d'usage

Tableau 41 : Ligne des priorités fonctionnelles, extrait de la synthèse du cahier des charges du §4.2

La possibilité de réaliser du **calcul réglementaire ET de conception** au sein d'un même outil nécessite de pouvoir s'affranchir des conventions réglementaires en conception libre ou recherche, et de pouvoir changer les modèles utilisés par rapport aux modèles réglementaires. Le caractère **modulaire** du moteur de calcul Colibri validé dans le cadre du PoC permettra d'avoir un ensemble de modules validés par les pouvoirs publics et obligatoires pour le calcul réglementaire, tout en permettant d'avoir d'autres modules pour la conception et la recherche, avec ouverture des conventions, ou autres modèles.

Le modèle open-source et la plateforme de dépôt du code envisagés permettront d'assurer la **transparence du code** et de **favoriser les contributions**, les choix précis sont discutés dans la partie §6.4, il reste des choix à faire, mais les options envisagées (open source, voire collaboratif) et la plateforme Github permettent de répondre à cet objectif.

Il est indispensable pour les pouvoirs publics et les acteurs que le moteur de calcul soit **compatible avec les directives et règlements européens** pour les applications réglementaires nationales. Le caractère modulaire permettra d'avoir un ensemble de modules réglementaires qui respecteront bien ces obligations. Il est également souhaité que le moteur soit au maximum compatible avec les normes européennes, cet aspect est détaillé au sein de la partie §8.4.

La **facilité de saisie** et la possibilité d'importer des informations depuis des bases de données de produits, matériaux ou geste de rénovation, ou encore d'une maquette BIM pré-existante dépend principalement des interfaces des logiciels dans lesquels Colibri sera utilisé. Toutefois les choix faits sur le modèle de donnée permettent de valoriser la 3D en cas d'import depuis une maquette BIM, comme précisé dans la partie §8.3.

Les résultats du moteur de calcul devront être vérifiés pour s'assurer de la cohérence de ses résultats, par exemple pour le volet énergétique par la norme ASHRAE 140 – « BESTEST » relative à une méthode de test des logiciels de calcul énergétique du bâtiment. Par ailleurs il a également été proposé d'intégrer de la propagation d'incertitude associée par exemple à une variabilité possible de l'occupation ou d'autres choix réalisés. Ces éléments permettront de s'assurer d'avoir des **résultats proches de la réalité**, ou pour le moins d'expliquer des écarts à la réalité par exemple dans le cas d'un **suivi de la performance réelle**.

Des **contrôles de cohérences** pourront être introduit au sein du code des modules mais également sur les saisies, via les interfaces logiciel qui intégreront le cœur de calcul Colibri.

Les **niveaux de description du projet pourront différer** selon le niveau d'avancement et de connaissance : ainsi des saisies pourront être simplifiées dans le cas de calcul dans des phases amont ou d'un projet avec peu d'information (certains cas dans l'existant par exemple). Les données pourront alors être enrichie au besoin pour permettre de mobiliser des méthodes de calcul détaillées, tant dans le cas d'une saisie simplifiée qu'une saisie détaillée. Ces enrichissements ne relèvent pas du cœur de calcul en lui-même, ils n'ont donc pas été détaillés dans la partie 6 de ce livrable : cela relèvera plutôt des interfaces de logiciels. La preuve de la possibilité de ce type de conversion a déjà pu être faite, par exemple par le CSTB qui a déjà enrichi un modèle de donnée type DPE -relativement simplifié et prévu pour du calcul statique- pour simuler le bâtiment sur un moteur de simulation thermique dynamique, qui nécessite des entrées détaillées.

L'aide à la décision relèvera également plutôt des interfaces de logiciels que du cœur de calcul. Il pourra s'agir de fonctionnalités orientées dans le sens du cas d'usage auquel répond le logiciel : choix de geste de rénovation, choix de matériaux structurels en fonction d'objectifs programmatiques, ...

8.3. Adéquation BIM

Si COLIBRI élabore son propre modèle de données d'entrée (voir §6.1.4), il intègre de nombreux concepts issus des formats 3D/BIM les plus répandus, tels que l'IFC et le gbXML. De ce fait, il est pleinement compatible avec l'utilisation de maquettes 3D BIM en vue d'une simulation, car les passerelles et convertisseurs entre ces formats seront considérablement simplifiés grâce à la similarité des concepts présents dans chacun d'eux.

Pourquoi COLIBRI n'a-t-il pas adopté directement un modèle BIM comme l'IFC ou le gbXML ?

Le choix de COLIBRI d'être entièrement compatible avec les standards BIM sans pour autant se baser directement sur ces derniers repose principalement sur les points suivants :

- **La possibilité d'utiliser COLIBRI sans imposer une description 3D** : Le modèle de données de COLIBRI permet de décrire un bâtiment en 3D, en incluant la position et la forme de tous les éléments comme dans une maquette BIM, mais ne l'exige pas. Il est donc possible d'utiliser le jeu de données COLIBRI de manière simplifiée, similaire à un modèle de données RE2020, en 1D ou 2D. Par exemple, un mur (boundary) n'a pas besoin de connaître la position des autres murs adjacents, et il est suffisant de fournir la surface totale des baies sur un mur.
- **Maîtrise du format pour les besoins de simulation** : Suite à des échanges avec des éditeurs de logiciels (IZUBA, CYPE), il est apparu qu'aucun d'eux n'utilise directement les formats gbXML ou IFC pour réaliser des calculs thermiques. Ils retravaillent systématiquement ces données BIM dans un format adapté à leur application et à leur moteur de calcul. Pour garantir une meilleure compatibilité avec le moteur de simulation COLIBRI, il a été décidé d'adopter une approche similaire, en passant par des traducteurs qui convertissent les données BIM vers le format propre à COLIBRI.

Avant d'indiquer plus précisément les similarités et compatibilités entre IFC/gbXML et COLIBRI, voici une présentation rapide des concepts et différences entre ces deux standards BIM.



IFC (Industry Foundation Classes)

IFC est un format BIM ouvert, développé par buildingSMART. Il permet de représenter la géométrie, les propriétés des objets ainsi que leurs relations. Sa structure repose sur une modélisation orientée objets, permettant de décrire de manière détaillée la géométrie, les propriétés et les relations des éléments d'un bâtiment.

IFC structure la description d'un bâtiment en objets 3D. Chaque élément constructif (parois, sols, fenêtres, etc.) est modélisé sous forme d'objets avec leurs caractéristiques géométriques (formes, dimensions) et physiques (matériaux).

- **Espaces (IfcSpace)** : les espaces représentent différents volumes du bâtiment (pièces ou zones par exemple) et sont délimités par des éléments constructifs comme des parois ou des plafonds. Chaque espace est un objet distinct avec des relations qui le lie à son environnement (comme les parois).

- **Parois (IfcWall...)** : les parois dans IFC sont modélisées en tant que composants spécifiques (IfcWall, ifcSlab, etc.) avec des propriétés géométriques et physiques. Elles sont associées aux espaces qu'elles délimitent et stockent des informations comme la résistance thermique, les matériaux, les épaisseurs.
- **Relations (IfcRel(s))** : IFC est très relationnel, reliant les différents objets entre eux à travers des entités comme IfcRelAggregates (agrégation de composants), IfcRelConnects (relations géométriques), et IfcRelDefines (définition des propriétés).
- **Propriétés (IfcPropertySet)** : IFC permet d'associer des ensembles de propriétés (dimensions, type de matériaux, paramètres thermiques...) à des objets spécifiques (par exemple les murs ou les espaces) via des ensembles de propriétés, les IfcPropertySet.



gbXML (Green Building XML)

gbXML est un format orienté simulation et performance énergétique des bâtiments, favorisant l'échange de données entre outils BIM et logiciels de simulation énergétique. Ce format, basé sur XML, est utilisé pour simplifier la modélisation géométrique 3D et l'adapter aux besoins des calculs thermiques et énergétiques.

Dans le gbXML les parois et autres composants sont représentés de manière simplifiée, souvent réduits à des surfaces exposées aux espaces internes ou à l'environnement.

- **Espaces (Space)** : les espaces (pièces) dans gbXML sont définis par leurs limites et pas en tant qu'objet propre. Chaque espace est délimité par des surfaces (mur, sol, plafond) et contient des informations telles que le volume, la surface au sol, et d'autres données énergétiques comme le flux d'air ou les charges internes.
- **Parois (Surface)** : les parois sont décrites comme des surfaces associées à un type de frontière, qu'il s'agisse d'une séparation entre deux espaces internes (InternalWall) ou d'une frontière externe (ExteriorWall). Les surfaces stockent également des propriétés telles que la résistance thermique, le coefficient de transfert thermique, ou encore les matériaux.
- **Relations** : Les ouvertures comme les fenêtres et portes sont modélisées en tant que sous-éléments des surfaces. En revanche, par soucis de simplifications, les autres objets ne sont pas rattachés aux surfaces et frontières mais le plus souvent aux spaces. Par exemple, les émetteurs ne sont pas "ancrés" à une surface particulière et sont plutôt vu comme des systèmes techniques dans le space et leur position exacte dans un plan 3D est accessoire.

IFC vs gbXML : quelles différences en deux mots ?

IFC offre une flexibilité (qui peut se traduire en complexité) permettant d'accueillir une grande variété de propriétés associées aux objets architecturaux, incluant matériaux, propriétés thermiques, acoustiques, et ainsi de suite. gbXML se concentre essentiellement sur les propriétés nécessaires aux calculs énergétiques.

IFC impose une modélisation beaucoup plus détaillée et précise des objets et de leurs relations dans le bâtiment, tandis que gbXML simplifie les objets et leur positionnement relatif, focalisant surtout sur les aspects utiles à la thermique et/ou à l'énergétique. Dans le format IFC, une paroi est un objet à part entière, avec des propriétés physiques et des relations à d'autres objets. En gbXML, elle est une surface simple qui sépare les espaces et est décrite principalement pour des simulations thermiques.

Les deux formats modélisent des espaces/pièces via des équivalent space, mais IFC les représente comme des objets à part entière avec de nombreuses propriétés géométriques et physiques, tandis que gbXML les considère surtout en fonction de leurs surfaces délimitantes.

COLIBRI et BIM

Les concepts du modèle de données COLIBRI présentent des similitudes fortes avec les structures présentes dans les formats BIM tels que IFC et gbXML. Voici comment ces principes décrits au §6.1.4 peuvent être mis en correspondance avec IFC ou le gbXML, et pourquoi il est alors possible d'envisager des traducteurs qui assurent une interopérabilité entre les formats BIM comme IFC et gbXML et le modèle COLIBRI. Il s'agirait de convertisseurs de données d'un format vers l'autre et inversement pour assurer au maximum la traduction. Cela relève d'étapes précédant la génération du jeu de données d'entrée de Colibri, et donc d'interfaces amonts au moteur de calcul, toutefois le modèle de données Colibri est tout à fait adapté à cette conversion.

1. Concept Boundary et Space

Dans le format IFC L'IfcSpace correspond au concept de Space dans COLIBRI. Comme dans COLIBRI, un IfcSpace représente un volume délimité par des Boundaries (parois), telles que les IfcWall, IfcSlab (planchers, plafonds), et autres éléments structurels. Chaque Boundary dans COLIBRI, qui possède deux faces associées à des espaces (ou à l'extérieur) side_1, side_2, peut être mappé sur des éléments de type IfcWall dans IFC. Ces éléments sont également définis par leurs relations avec les espaces qu'ils délimitent (IfcRelSpaceBoundary), offrant une correspondance claire avec la notion de double face dans COLIBRI.

Dans le format gbXML, les Spaces sont des zones ou volumes définis par des Surfaces (équivalent des Boundaries dans COLIBRI). Les surfaces ont également des faces qui sont liées soit à un espace intérieur, soit à l'extérieur du bâtiment, similaire aux faces des Boundaries de COLIBRI (side_1, side_2). Ainsi, la structure en zones et surfaces de gbXML correspond directement aux Boundaries et Spaces de COLIBRI, facilitant une correspondance entre ces deux modèles.

2. Junctions

Dans le format IFC, les Junctions de COLIBRI (linéaires ou ponctuelles) se rapprochent des relations **IfcRelConnects**, qui définissent les connexions entre des objets géométriques comme des murs ou des composants non structurels. Les connexions entre des Objects non Boundary dans COLIBRI, comme des tuyaux ou d'autres éléments, peuvent être également modélisées dans IFC à l'aide des entités comme IfcRelConnectsElements ou IfcRelFlowControlElements, permettant de représenter les réseaux fluidiques ou électriques de manière similaire.

Dans le format gbXML, les connexions entre les surfaces sont modélisées via des entités **adjacency** qui relient des surfaces entre elles ou avec des éléments du space. Cela correspond bien à la notion de junctions linéaires et ponctuelles dans COLIBRI, facilitant une base de correspondance pour les traducteurs.

3. Positionnement des composants (Boundary Objects)

Dans le format IFC, les composants sont également positionnés relativement aux parois, planchers, plafonds, ou autres éléments structurels, en utilisant des références géométriques précises via l'entité IfcLocalPlacement. Cette méthode de positionnement est comparable à la stratégie topologique ou par coordonnées proposée dans COLIBRI. Par exemple, un radiateur fixé à un mur dans COLIBRI serait représenté dans IFC en tant qu'IfcDistributionElement positionné relativement à un IfcWall via des coordonnées 3D (IfcLocalPlacement).

Dans le format gbXML, on peut aussi positionner des éléments comme des fenêtres, portes, ou équipements de CVC, relativement aux surfaces. Cela peut être donc directement mappé aux Boundary Objects de COLIBRI, qui eux aussi sont placés relativement à une Boundary spécifique.

4. Archétypes

Dans le format IFC, les objets sont associés à des propriétés via des entités comme **IfcPropertySet** et des types d'objets (**IfcTypeObject**), qui définissent des caractéristiques techniques. Cela est similaire au concept d'archétypes dans COLIBRI, où les caractéristiques des objets sont définies par des collections de composants dans une bibliothèque. Par exemple, un mur dans IFC peut avoir des propriétés définies comme la composition des couches (IfcMaterialLayerSet), ce qui correspond directement à ce qui peut être fait via l'archetype_collection de COLIBRI qui peut regrouper des caractéristiques sur les couches de mur.

Dans le format gbXML, on peut associer également des propriétés spécifiques aux objets via des **Construction Assemblies**, qui regroupent les caractéristiques des murs, sols, et plafonds en termes de résistance thermique, matériaux, par exemple. Cette approche est semblable à celle des archétypes dans COLIBRI qui définissent les paramètres d'un composant.

8.4. Compatibilité avec les normes européennes

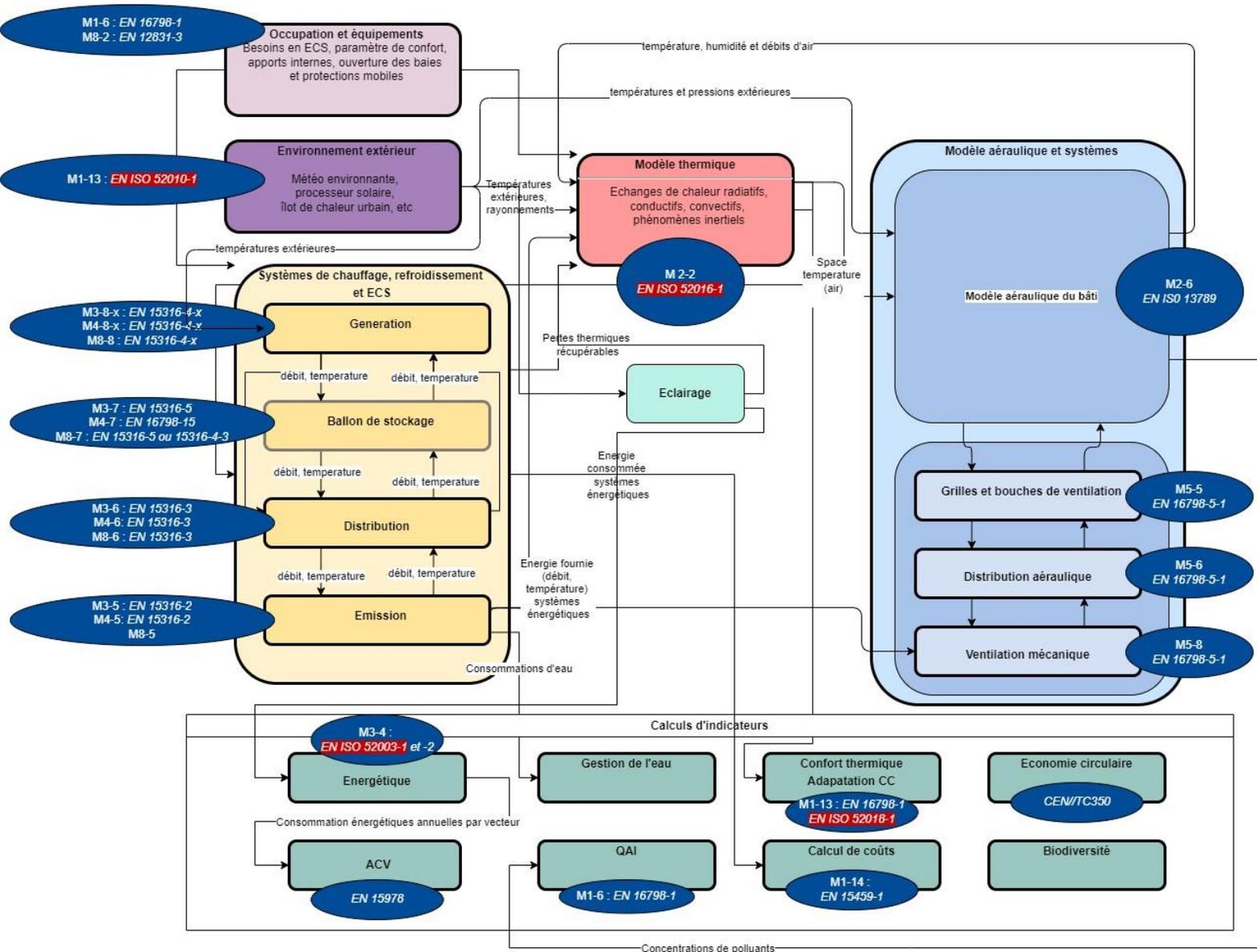


Figure 42 : Superposition des normes européennes sur le schéma de calcul Colibri

Des normes européennes qui présentent un modèle compatible avec les interfaces de modules proposées dans le schéma de découpage Colibri sont présentées dans les bulles bleues dans le schéma ci-dessus. Par exemple, l'interface de module pour la distribution des systèmes énergétique peut accepter un module qui adopterait directement la norme EN 15316-3 comme modèle -tout comme d'autres modules qui ne respecteraient pas forcément-. L'indication MX-Y mise dans certaines bulles bleues est une indication de la correspondance avec le découpage des normes PEB -présenté dans un tableau au début de ces normes-. Dans ce découpage normatif, M3-6 correspond à la méthode pour le système de chauffage (M3-x) pour la distribution (MX-6). En particulier le découpage de Colibri est en phase avec les normes qui relèvent de l'EPBD (surlignées en rouge sur le schéma), ce qui est une exigence du cahier des charges pour la déclinaison de Colibri en moteur de calcul réglementaire pour le volet énergétique. La norme EN ISO 52000-1:2017 qui relève également de l'EPBD (Energy Performance Building Directive) n'est pas présentée dans le schéma dans la mesure où c'est une norme chapeau qui établit une structure systématique, complète et modulaire pour évaluer la performance énergétique des bâtiments neufs et existants (PEB) de manière globale. Toutefois l'architecture modulaire proposée pour Colibri et le découpage proposé permettent de répondre à cette norme.

Par ailleurs, la norme EN ISO 52120-1 qui porte sur les BACS (Building and Automation Control Systems : les systèmes de gestion, automatique et contrôle) est une norme qui relève également de l'EPBD et nécessite de traiter les éléments BACS à part entière dans le calcul. Or le découpage du schéma de calcul proposé n'impose pas cette séparation par défaut car elle pourrait être trop contraignante pour certains modules lorsque l'on ne souhaite pas traiter les BACS à part, par exemple dans

un module où les systèmes sont assimilés à un simple rendement global. Toutefois des versions de modules où les BACS sont traités à part entière peuvent être utilisés, et donc le moteur de calcul est bien en capacité de respecter cette norme, notamment pour les modules réglementaires soumis à l'EPBD.

Pour entrer dans le détail des entrées-sorties et de la compatibilité entre la proposition pour Colibri et les normes européennes, prenons plus précisément l'exemple du modèle de distribution pour les systèmes énergétiques qui relève de la norme 15316-3. Les entrées et sorties sont des variables de simulation au sens défini au §6.1.2 pour Colibri et des « operating data » au sens des normes PEB.

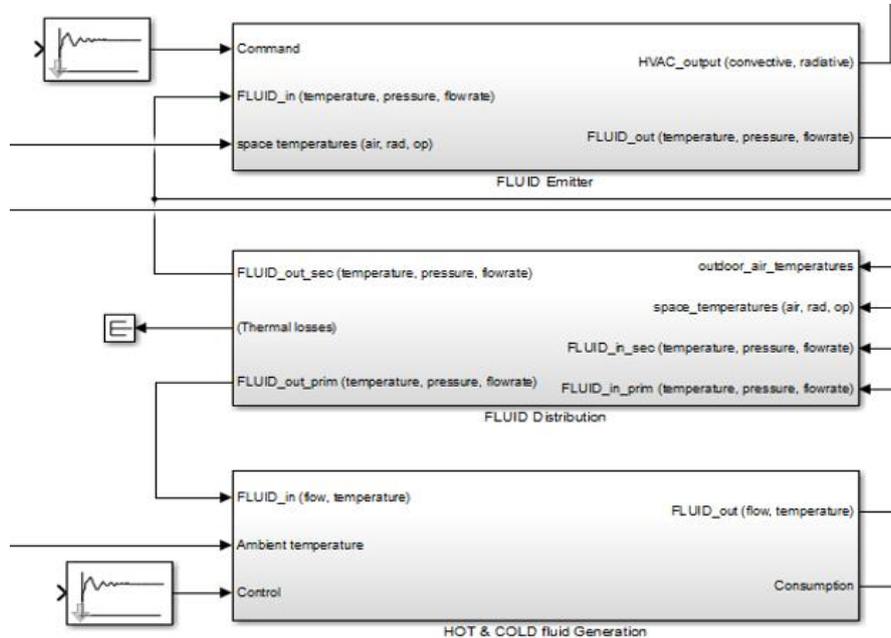


Figure 43 : Extrait du schéma détaillé de calcul Colibri autour de la distribution

Dans le **découpage Colibri**, le module de distribution hydraulique prend en entrée :

- La température, pression et débit d'arrivée du fluide en entrée (depuis le générateur)
- Les températures de zone ou extérieures dans lesquelles la distribution circule

Le module délivre en sortie :

- La température, pression et débit en sortie (vers les émetteurs)
- Les consommations énergétiques associées à la distribution (circulateurs...)
- Les pertes thermiques depuis le fluide ou les auxiliaires

La **norme EN 15316-3** (méthode de calcul pour la distribution pour le chauffage, l'eau chaude sanitaire et le refroidissement, M3-6, M4-6 et M8-6) demande en entrée :

- Des températures, débits dans les circuits d'entrée
- La charge partielle
- Les températures de zone dans lesquelles la distribution circule

La norme prévoit en sortie :

- La température de l'eau pour l'eau chaude sanitaire
- Les consommations énergétiques associées à la distribution (circulateurs...)
- Les pertes thermiques récupérables depuis la distribution ou ses auxiliaires

Cet exemple de la distribution montre que le découpage Colibri est largement compatible avec la norme PEB, avec une forte correspondance entre les entrées et sorties. Dans cet exemple, un ajustement du schéma de calcul n'est pas indispensable pour passer l'information de la charge partielle, absente en tant que telle dans le découpage Colibri mais présente côté norme, puisqu'elle peut être recalculée par l'utilisation de la pression et du débit d'arrivée en entrée.

8.5. Compatibilité avec CAP2030

Une dynamique collective s'est mise en place pour permettre aux acteurs d'aller au-delà de la réglementation environnementale RE2020 et ainsi préfigurer les sujets et enjeux de demain. Sous l'impulsion de l'État, le Groupement d'Intérêt Écologique et le Plan Bâtiment Durable travaillent à l'élaboration de ce cadre commun de référence, nommé CAP2030. Ce cadre explorera de nouvelles thématiques environnementales, au-delà de l'énergie et du carbone, et permettra d'accompagner l'évolution de la réglementation à moyen terme en expérimentant et en initiant le travail méthodologique sur les enjeux et indicateurs de la performance du bâtiment de demain.

Les travaux sont en cours avec des premiers éléments disponibles fin 2024, suivis d'expérimentations sur des projets pilotes et d'une seconde phase en 2025 qui s'apprête à débuter.

Il était donc essentiel que le futur moteur COLIBRI puisse intégrer les besoins en modélisations liés aux nouvelles thématiques identifiées par CAP 2030, tout en restant en étroite relation avec les discussions en cours. La compatibilité de COLIBRI avec CAP 2030 est assurée de deux façons :

- **gouvernance** : les équipes du projet CIBLE (et du futur COLIBRI) sont activement impliquées dans les deux projets. Notamment, les associations Effinergie et l'Alliance HQE-GBC, qui ont joué un rôle clé dans la collecte des besoins et l'élaboration du cahier des charges pour le projet CIBLE, sont également des acteurs majeurs dans le pilotage du projet CAP 2030 et l'animation des GT thématiques ;
- **la priorisation des thématiques** : étant donné que les travaux ont été menés en parallèle, il était important de veiller à ce que les thématiques prioritaires issues du cahier des charges de CIBLE (élaboré principalement en 2023) et les travaux de CAP 2030 (menés à partir d'octobre 2023) restent alignés et cohérents. Cela est le cas puisque chaque GT correspond à l'un des deux premiers niveaux de priorités de développement du cahier des charges COLIBRI (cf 4.2) :
 - o **GT Neutralité carbone** : prévu dans le Produit Minimum Viable (PMV) COLIBRI (Priorité 1 : Indispensable) ;
 - o **GT Mesurer les performances** : prévu dans la phase suivant le PMV (Priorité 2 : Souhaité) ;
 - o **GT Énergie et réseaux** : prévu dans le Produit Minimum Viable COLIBRI (Priorité 1 : Indispensable) ;
 - o **GT Qualité de l'environnement intérieur** : prévu dans la phase suivant le PMV (Priorité 2 : Souhaité) ;
 - o **GT Gestion durable de l'eau** : prévu dans la phase suivant le PMV (Priorité 2 : Souhaité) ;
 - o **GT Économie circulaire** : prévu dans la phase suivant le PMV (Priorité 2 : Souhaité) ;
 - o **GT Biodiversité** : initialement prévu en priorité 3 mais remonté, suite à phasage avec CAP2030, en Priorité 2 : souhaité dans le cahier des charges COLIBRI ;
 - o **GT Adaptation aux changements climatiques** : prévu dans le Produit Minimum Viable COLIBRI (Priorité 1 : Indispensable) ;
 - o **GT transversal Low-tech** : non rattachable à une thématique en particulier (GT transversal).

Ainsi COLIBRI est en phase pour devenir l'outil support à l'évaluation des indicateurs de demain issus de CAP2030.

8.6. Compatibilité avec les cas d'usage

Cas d'usage	Type d'acteur concerné	Fonctionnalité(s) associée(s)
Conception et Dimensionnement	Bureaux d'étude MOE	<ul style="list-style-type: none"> Facilité de saisie et de récolte des données (bibliothèques de produits, matériaux ou gestes de rénovation, BIM) Résultats proches du réel Aide à la décision Calcul réglementaire ET conception : permettre paramétrage complet du calcul, saisie de l'occupation prévue, etc.
Définir le moteur de calcul pour du calcul réglementaire.	Pouvoirs publics	<ul style="list-style-type: none"> Adéquation avec les directives et règlements européens Transparence du code et de la méthode
Diagnostic, Audit et Vérification de conformité réglementaires	Bureaux d'étude Diagnostiqueurs	<ul style="list-style-type: none"> Transparence du code et de la méthode Calcul réglementaire ET conception : faciliter bascule du calcul de conception au calcul réglementaire.
Estimation amont de conformité réglementaire (ou labels)	Architectes Maîtrise d'ouvrage	<ul style="list-style-type: none"> Facilité de saisie et de récolte des données Niveaux de saisie différents selon phase Aide à la décision Calcul réglementaire ET conception : faciliter bascule du calcul de conception au calcul réglementaire.
Garantie de performance / suivi d'exploitation	Occupants Propriétaires Exploitants Bureaux d'étude	<ul style="list-style-type: none"> Résultats proches du réel
Modéliser un système innovant dans le moteur de calcul ou Proposer une amélioration de modèle	Industriel Chercheur	<ul style="list-style-type: none"> Transparence du code et contributions possibles Ouverture aux contributions
Contrôles de conformité réglementaire - label / certification	Certificateur Bureau de contrôle	<ul style="list-style-type: none"> Tests de cohérence automatiques
Développer une interface et distribuer le moteur de calcul dans un logiciel commercial.	Editeurs de logiciel	<ul style="list-style-type: none"> Transparence du code et contributions possibles

Le tableau ci-dessus reprend les principaux cas d'usages listés pour Colibri dans le cahier des charges au §3.4. L'intégration des fonctionnalités associées dans le moteur ou dans les outils permet de répondre au cas d'usage.

De manière générale, ce sont le caractère modulaire et la possibilité d'adapter le niveau de saisie de données d'entrée qui permettent de répondre aux cas d'usage, avec un ensemble de modules et un niveau de données d'entrée adapté donc. Le caractère modulaire a été établi dans les prescriptions techniques. Par ailleurs, le jeu de données COLIBRI tel que décrit au §6.1.4 est détaillé, mais il est possible de choisir son niveau de précision. Il n'est pas nécessaire, par exemple, de décrire chaque meuble ou de travailler pièce par pièce sauf dans de très rare cas d'usage. Bien que le jeu de données COLIBRI soit très détaillé, ce niveau de granularité n'est pas forcément visible pour l'utilisateur dans les outils. On peut utiliser des jeux de données simplifiés et les convertir ou enrichir pour générer le jeu de données COLIBRI attendu en entrée du moteur de calcul. C'est ce qu'on appelle des convertisseurs de simplification et plusieurs preuves de concept ont été réalisées ces dernières années au CSTB en ce sens. Par exemple, un jeu de données type DPE relativement épuré et adapté à des modèles statiques, a pu être enrichi pour utiliser un moteur de simulation dynamique complexe.

8.6.1. Cas d'usage : Conception et Dimensionnement [Bureaux d'étude, MOE]

Il s'agit d'un des cas d'usage les plus représentés parmi les potentiels utilisateurs et potentielles utilisatrices de Colibri, avec des contraintes techniques importantes : permettre un calcul fiable, suffisamment rapide pour tester de nombreuses options de conception ou encore largement paramétrable pour prendre en compte les spécificités du projet.

Fonctionnalités associées	Lien avec le cas d'usage	Prise en compte dans Colibri
<p>Facilité de saisie et de récolte des données</p> <p>(bibliothèques de produits, matériaux ou gestes de rénovation, BIM)</p>	<p>Pour améliorer l'efficacité du modélisateur et lui dégager au maximum du temps d'analyse, il faut limiter son temps de saisie en bénéficiant des données importables, soit issues de maquettes préexistantes, soit de bases de données, qu'elles portent sur les produits, matériaux, ou même gestes de rénovation.</p>	<p>L'import de données et l'aide à la saisie dépendent plutôt du logiciel (avec interface) que du cœur de calcul.</p> <p>Toutefois le jeu de données choisi pour Colibri permet de mobiliser une maquette numérique lorsque celle-ci est disponible en bénéficiant de sa modélisation 3D, comme décrit au §8.3.</p>
<p>Résultats proches du réel</p>	<p>Le fait d'obtenir des résultats proches de la réalité est important en conception et pour dimensionner des systèmes en bonne adéquation avec les demandes de la maîtrise d'ouvrage et l'usage du bâtiment prévu.</p>	<p>Des modèles de conceptions robustes pour un calcul dynamique fiable, une vérification de ces modèles avec des tests normés.</p> <p>Une fonctionnalité de propagation d'incertitude pour estimer le risque d'écart réel – calculé.</p>
<p>Aide à la décision</p>	<p>L'aide à la décision sur les gestes de rénovation, matériaux ou produits facilite le travail du modélisateur et les choix à opérer.</p>	<p>L'aide à la décision dépend plutôt du logiciel (avec interface) que du cœur de calcul.</p>
<p>Calcul réglementaire ET conception : permettre paramétrage complet du calcul, saisie de l'occupation prévue, etc.</p>	<p>Permettre de passer facilement du calcul réglementaire au calcul de conception et inversement permet d'une part d'éviter le doublon de modélisation complet, d'autre part de valider rapidement le passage des seuils réglementaires pour des choix de conception opérés.</p>	<p>Le caractère modulaire du moteur de calcul permettra d'avoir des modules de conception et des modules réglementaires qui fixent certaines conventions, permettant facilement de passer d'un calcul à l'autre.</p>
<p>Calcul rapide</p>	<p>Permettre de tester de nombreuses options de conception donc avoir un calcul relativement rapide.</p>	<p>Avoir un ensemble de modules de calcul qui tournent rapidement en phase conception.</p>

8.6.2. Cas d'usage : Définir le moteur de calcul pour du calcul réglementaire [Pouvoirs publics]

Les pouvoirs publics ont pour contrainte de garder la maîtrise des méthodes de calcul réglementaires, d'être en adéquation avec les directives et règlements de l'union européenne, de pouvoir piloter les orientations réglementaires ou encore d'assurer la bonne application de la réglementation. Des fonctionnalités identifiées dans le cahier des charges peuvent permettre de rendre Colibri le plus compatible possible avec ces exigences. D'une part le respect de des directives et règlements européens, déjà évoquée précédemment au §8.4 est possible. D'autre part la transparence et la bonne documentation du moteur peuvent permettre d'améliorer la compréhension des méthodes de calcul et donc de favoriser la bonne application de la réglementation, voire de remonter plus aisément les éventuelles anomalies aux pouvoirs publics.

Fonctionnalités associées	Lien avec le cas d'usage	Prise en compte dans Colibri
Adéquation avec les directives et règlements européens	La réglementation nationale doit être en phase avec les directives et règlements européens, tels que la DPEB (Directive sur la Performance Énergétique des Bâtiments) ou le RPC (Règlement sur les Produits de Construction).	Le moteur de calcul disposera de modules réglementaires spécifiques, en phase avec ces obligations.
Transparence du code et de la méthode	La réglementation doit être comprise et lisible pour être bien appliquée. Un code partagé permet cela. Par le passé, si la méthode de calcul pour la réglementation énergétique du bâtiment neuf a toujours été diffusée, l'absence de partage direct du code source parallèle à la méthode pouvait générer des frustrations, un effet « boîte noire », des incompréhensions sur les résultats et les évolutions opérées.	Proposer le code sur un dépôt public accessible, dans un langage de programmation accessible pour des ingénieurs métiers.

8.6.3. Cas d'usage : Diagnostic, Audit et Vérification de conformité réglementaire [Bureaux d'étude et Diagnostiqueurs]

Le calcul réglementaire, que l'on soit en diagnostic, audit ou dans le cas de la réglementation environnementale, est là encore d'un cas d'usage répandu parmi les potentiels utilisateurs et potentielles utilisatrices de Colibri.

Parmi les contraintes pour ce calcul, il faut que la méthode soit claire pour le modélisateur, pour une bonne application des règles de calcul et donc de la réglementation.

Dans le cas où le calcul réglementaire est adossé à une conception (ce n'est pas forcément le cas pour le DPE, mais c'est le cas pour la réglementation environnementale par exemple), il faut faciliter le passage du calcul de conception au calcul réglementaire, en ouvrant par exemple les données conventionnelles de modules réglementaires lors de la conception, ou encore en permettant la conversion de données d'entrée de modules non-réglementaires vers des modules réglementaires (ce qui ne relève pas forcément du moteur de calcul, mais peut relever des interfaces).

Evidemment le niveau de saisie demandée en réglementaire pour du neuf ne peut pas être le même que celui demandé pour le DPE en existant, ou l'exercice n'est pas le même, tant sur la maîtrise des paramètres que sur le temps nécessaire pour la modélisation. Mais comme expliqué en préambule de ce paragraphe §8.6, le niveau de saisie peut être différent en entrée, mais tout de même permettre d'alimenter un même moteur de calcul détaillé.

Fonctionnalités associées	Lien avec le cas d'usage	Prise en compte dans Colibri
Transparence du code et de la méthode	La réglementation doit être comprise et lisible pour être bien appliquée. Un code partagé permet de faciliter cela. Par ailleurs cela permet de prendre un module réglementaire et de modifier certaines conventions pour faire facilement des tests de conception sur la base du module réglementaire.	Proposer le code sur un dépôt public accessible, dans un langage de programmation accessible pour des ingénieurs métiers.
Calcul réglementaire ET conception : faciliter bascule du calcul de conception au calcul réglementaire.	Permettre de passer facilement du calcul réglementaire au calcul de conception et inversement permet d'une part d'éviter le doublon de modélisation complet, d'autre part de valider rapidement le passage des seuils réglementaires pour des choix de conception opérés.	Le caractère modulaire du moteur de calcul permettra d'avoir des modules de conception et des modules réglementaires qui fixent certaines conventions, permettant facilement de passer d'un calcul à l'autre.

8.6.4. Cas d'usage : Estimation amont de conformité réglementaire ou aux labels [Architectes et Maîtrises d'ouvrage]

Le cas d'usage présenté ici est celui qui consiste à réaliser une estimation d'indicateurs réglementaires dans des phases amonts, alors même que le projet n'est pas parfaitement défini. Cela rejoint le texte préambule de ce §8.6 qui indique qu'un même moteur détaillé peut être mobilisé avec des niveaux de saisie très différents, et ainsi répondre à ce cas d'usage en permettant un calcul des indicateurs réglementaires avec seulement quelques grands déterminants de conception en phase amont.

Il faut ensuite pouvoir améliorer la précision des résultats au fur et à mesure que les décisions permettent d'affiner le projet, sans reprendre systématiquement la modélisation depuis le début. Cela demande une bonne gestion des versions de fichiers et de leur enrichissement progressif.

Fonctionnalités associées	Lien avec le cas d'usage	Prise en compte dans Colibri
Facilité de saisie et de récolte des données	Pour permettre une saisie simple pour des personnes non-expertes techniques en éco-conception, il faut permettre de bénéficier au maximum des données importables issues de maquettes pré-existantes, de bases de données, qu'elles portent sur les produits, matériaux, ou même gestes de rénovation.	L'import de données et l'aide à la saisie dépendent plutôt du logiciel (avec interface) que du cœur de calcul. Toutefois le jeu de données choisi pour Colibri permet de mobiliser une maquette numérique lorsque celle-ci est disponible en bénéficiant de sa modélisation 3D, comme décrit au §8.3.
Niveaux de saisie différents selon phase	Pour une phase amont d'un projet il peut être nécessaire de calculer rapidement des ordres de grandeur d'indicateurs d'éco-conception, alors même que le niveau de connaissance sur le projet est encore très sommaire, puis d'enrichir au fur et à mesure de l'avancement du projet le niveau de détail, et fiabiliser ainsi les indicateurs. Il est donc intéressant de faire varier le niveau de saisie de projet. Cela permet aussi de faire varier le niveau de saisie en fonction du type de projet : la connaissance des matériaux et équipement peut par exemple être plus difficile à maîtriser en rénovation par rapport à un projet neuf dans lequel on maîtrise l'ensemble des choix de conception. Il peut donc aussi être nécessaire d'avoir un niveau de saisie différent.	Le niveau de saisie dépend plutôt du logiciel (avec interface) que du cœur de calcul. Des interfaces peuvent permettre de saisir quelques informations sommaires sur le projet puis d'avoir un enrichissement de ces données, pour calculer des indicateurs. La conversion de jeu de données d'entrée pour des cas d'usage très différents a déjà fait l'objet d'exploration, par exemple au CSTB : un jeu de données type DPE relativement épuré et adapté à des modèles statiques, a pu être enrichi pour utiliser un moteur de simulation dynamique complexe.
Aide à la décision	La réglementation doit être comprise et lisible pour être bien appliquée. Un code partagé permet d'éviter cela. Par ailleurs cela permet de prendre un module réglementaire et de modifier certaines conventions pour faire facilement des tests de conception sur la base du module réglementaire.	Proposer le code sur un dépôt public accessible, dans un langage de programmation accessible pour des ingénieurs métiers.
Calcul réglementaire ET conception : faciliter bascule du calcul de conception au calcul réglementaire.	Permettre de passer facilement du calcul réglementaire (ici amont) au calcul de conception et inversement permet d'une part d'éviter le doublon de modélisation complet, d'autre part de valider rapidement le passage des seuils réglementaires pour des choix de conception opérés.	Le caractère modulaire du moteur de calcul permettra d'avoir des modules de conception et des modules réglementaires qui fixent certaines conventions, permettant facilement de passer d'un calcul à l'autre.

8.6.5. Cas d'usage : Garantie de performance et suivi d'exploitation [Occupants Propriétaires Exploitants Bureaux d'étude]

Ce cas d'usage est un peu moins évoqué parmi les personnes qui ont participé à la définition du cahier des charges dans le projet CIBLE. Toutefois, lorsqu'il est remonté il est souvent adossé à des sujets de garantie de performance énergétique. En effet la modélisation peut être utilisée dans ce cadre pour identifier des consommations cibles théoriques pour le bâtiment, en permettant par exemple d'alimenter la modélisation avec l'usage réel et la météo réelle.

Fonctionnalités associées	Lien avec le cas d'usage	Prise en compte dans Colibri
Résultats proches du réel	Le fait d'obtenir des résultats proches de la réalité est important notamment dans le cadre de contrats de garantie de performance. Il faut d'une part avoir un calcul robuste, et d'autre part corriger le calcul de l'occupation et de la météo réelle, pour s'assurer que la performance cible est atteinte en s'affranchissant de ces effet pas maîtrisés (par le modélisateur).	Des modèles de conceptions robustes pour un calcul dynamique fiable, une vérification de ces modèles avec des tests normés. En vérification, permettre un paramétrage complet avec des fichiers météo et occupation pour les approcher de la réalité. En calcul amont, une fonctionnalité de propagation d'incertitude pour estimer le risque d'écart réel – calculé, notamment en prenant en compte la variabilité liée à l'occupation, la météo.

8.6.6. Cas d'usage : Modéliser un système innovant dans le moteur de calcul ou Proposer une amélioration de modèle [Industriel Chercheur]

Ce cas d'usage est assez largement remonté chez les industriels qui ont participé aux entretiens et à l'enquête CIBLE. Pouvoir proposer un module spécifique à un produit ou système innovant permet de valoriser ses propriétés particulières, toutes choses égales par ailleurs en conservant les autres modules.

Fonctionnalités associées	Lien avec le cas d'usage	Prise en compte dans Colibri
Transparence du code et contributions possibles	L'accès au code et la possibilité de faire des propositions de modèles sont pertinente pour les chercheurs ou pour les industriels, par exemple pour améliorer des modèles de systèmes existants ou bien proposer des modèles de systèmes innovants.	Proposer le code sur un dépôt public accessible, dans un langage de programmation accessible pour des professionnels de profil métier (non spécialistes de l'informatique). Prévoir une procédure de contribution sur la plateforme de dépôt de code, avec une procédure spécifique pour la validation technique du module (comité technique). Le caractère modulaire du moteur et son découpage permettent de faciliter les contributions sur un volet seulement du calcul.

8.6.7. Cas d'usage : Contrôles de conformité réglementaire - label / certification [Bureau de contrôle Certificateur]

Le cas d'usage du contrôle de conformité à la réglementation ou de certification pour un label peut nécessiter des fonctionnalités qui relèvent plutôt de l'interface, comme mettre en place des contrôles de cohérences, mettre en visibilité des anomalies potentielles au contrôleur.

Fonctionnalités associées	Lien avec le cas d'usage	Prise en compte dans Colibri
Tests de cohérence automatiques	S'assurer que les saisies sont cohérentes, détecter les anomalies et en alerter le contrôleur.	Mettre en place des contrôles de cohérences sur les entrées, cela dépend principalement de l'interface, mais des erreurs peuvent aussi être remontées dans le moteur de calcul lorsque le paramétrage conduit à des anomalies.

8.6.8. Cas d'usage : Développer une interface et distribuer le moteur de calcul dans un logiciel commercial [Editeurs de logiciel]

Ce cas d'usage, spécifique aux éditeurs de logiciel consiste intégrer le moteur de calcul dans un outil avec interface, avec une interface adaptée au type d'utilisation. L'une des exigences sur le moteur de calcul pour permettre facilement son intégration, est qu'il dispose d'une documentation claire, son utilisation sera également facilitée si le code est ouvert et directement lisible. Un canal d'échange pour les discussions autour de cette intégration est également nécessaire, comme ça a été le cas précédemment entre les pouvoirs publics, le CSTB et les éditeurs de logiciel pour les réglementations thermiques et la RE2020.

Fonctionnalités associées	Lien avec le cas d'usage	Prise en compte dans Colibri
Transparence du code	Permettre l'appropriation du moteur de calcul dans un logiciel, avec possibilité de remonter directement les anomalies ou blocages.	Proposer le code sur un dépôt public accessible, avec la documentation nécessaire à son intégration dans un logiciel. Permettre également les échanges sur cette plateforme.

8.7. Compatibilité avec la rénovation

	En Existant et en Neuf
Projets	<ul style="list-style-type: none">• Des niveaux de saisis différents pour le neuf et l'existant dans les outils• Articuler les indicateurs et méthodes : notamment l'ACV en rénovation par rapport à l'ACV en neuf• Veiller à considérer les spécificités des bâtiments existants, en particulier les solutions et produits mis en œuvre qui diffèrent du neuf.

Tableau 44 : Ligne des types de projets : neuf et existant, extrait de la synthèse du cahier des charges du §4.2

Prise en compte dans le jeu de données descriptif

Historiquement, la prise en compte de la rénovation dans les outils de simulation énergétique se faisait en modélisant deux jeux de données descriptifs : l'un pour l'état initial et l'autre pour l'état après rénovation. Cela suffit pour les problématiques énergétiques, mais lorsque l'on souhaite réaliser, par exemple, une Analyse du Cycle de Vie (ACV) de la rénovation, les états avant et après ne sont plus suffisants. Il est alors nécessaire de connaître le chemin parcouru, c'est-à-dire le type de travaux effectués, car ils influencent le bilan carbone de la rénovation.

Ces informations sur les actions entreprises pour atteindre l'état final deviennent donc des paramètres d'entrée pour les modules ACV qui seront donc remontés dans le jeu de données descriptif du projet. Cela implique une convention dans le jeu de données descriptif de COLIBRI : ces paramètres liés aux actions de l'ACV sont renseignés dans le jeu de données descriptif APRÈS travaux du bâtiment et laissés vides dans le jeu de données descriptif AVANT travaux.

Ainsi, un jeu de données COLIBRI représente l'état actuel du bâtiment. Le fait de renseigner des éventuelles actions de rénovation (ce qui a été enlevé, remplacé, avec quelle technique, etc.) pour arriver à cet état permet de prendre en compte l'impact de la rénovation, s'il y en a eu une et que l'on souhaite comptabiliser ses impacts.

Des données souvent simplifiées ou manquantes dans l'existant

En raison de la nature même de leur contexte de réalisation, les outils pour les bâtiments neufs et existants ne proposent que rarement les mêmes niveaux de saisie dans le jeu de données descriptif. Pour les bâtiments neufs, la saisie est souvent exhaustive car toutes les informations sont connues : quantités, caractéristiques techniques, etc. En revanche, pour les bâtiments existants, la saisie est simplifiée car certaines informations peuvent être inconnues ou cachées (comme l'épaisseur de l'isolant, par exemple).

Alors, comment COLIBRI peut-il faire cohabiter ces deux approches ? De deux manières :

- **En conservant exactement le même cœur de calcul physique** (c'est-à-dire le même schéma de calcul, cf. §6.1.2 et §6.3), mais en prévoyant côté application/interface des enrichisseurs et convertisseurs qui, à partir d'une description simplifiée (par exemple, un DPE), fournissent le jeu de données détaillé (équivalent au niveau d'un bâtiment neuf) attendu en entrée du moteur COLIBRI. Cette approche a été testée avec succès par le CSTB entre le DPE version 2021 et le moteur de la RE2020, permettant de bénéficier d'un moteur de calcul dynamique (représentant donc plus fidèlement les phénomènes physiques et notamment le confort d'été) à partir d'une description simplifiée de type DPE.
⇒ *L'avantage de cette approche est que le moteur de calcul est identique entre le neuf et l'existant, assurant une cohérence et une continuité des résultats et des indicateurs entre les deux. Seules l'incertitude sur les données d'entrée et leur enrichissement peuvent induire des écarts.*
- **En adaptant directement le moteur COLIBRI au cas de l'existant grâce à sa modularité.** Dans ce cas, certains modules spécifiques à l'existant peuvent être sélectionnés dans le schéma de calcul COLIBRI. Ces modules, qui peuvent demander des paramètres de saisie plus simples dans le jeu de données descriptif, peuvent également proposer des modèles de calcul adaptés à cette simplification : des modules qui fonctionnent plus rapidement et/ou aux équations plus simples et avec moins de précision, car une précision importante est moins nécessaire compte tenu de l'incertitude sur les données d'entrée.

Veiller à considérer les spécificités des bâtiments existants, en particulier les solutions et produits mis en œuvre qui diffèrent du neuf

La structure modulaire de COLIBRI offre deux approches pour adapter le moteur dans le contexte de la rénovation à partir d'un schéma qui serait créé essentiellement autour de la prise en compte de bâtiments récents (après 1948) :

- Extension du schéma COLIBRI : il est possible d'ajouter des modules spécifiques pour traiter des comportements propres aux bâtiments anciens ou existants, qui ne sont pas couverts par le schéma classique. Par exemple, des interfaces pourraient être dédiées à la gestion des phénomènes d'humidité et de remontées capillaires, fréquents

dans les bâtiments anciens dépourvus de membranes étanches sous les fondations, ou parfois rénovés avec des matériaux modernes non-perméables qui empêchent l'évaporation et le séchage de ces remontées capillaires.

- Enrichissement ou déclinaison des modules existants : il est envisageable d'améliorer les modules actuels pour gérer un plus grand nombre de cas dans le cadre du schéma existant. Par exemple, le module de résolution thermique pourrait être adapté pour tenir compte de matériaux hétérogènes ou de résistances thermiques dynamiques, qui varient en fonction des saisons.

Conclusion / Perspectives

Grâce à de nombreuses concertations et à l'intervention d'experts techniques du bâtiment, le projet CIBLE a jeté les bases du moteur de calcul de demain pour l'évaluation de la performance des bâtiments. Le cahier des charges partagé est ambitieux, mais les prescriptions techniques montrent que cette ambition est tenable. Ce moteur repose sur une architecture modulaire robuste et des spécifications techniques capables de répondre à une grande diversité de cas d'usage (neuf, existant, réglementaire ou conception libre) ainsi qu'à des enjeux environnementaux élargis (adaptation au changement climatique, QAI, économie circulaire, eau...).

Ce n'est que le début de l'histoire. Bien que les plans soient désormais connus et les fondations posées avec le socle architectural du proof-of-concept qui est prêt à accueillir les futurs modules de calcul, il reste à développer et intégrer les modules de calculs dans un schéma de calcul COLIBRI consolidé.

Il est probable que les premiers développements du moteur COLIBRI soient alimentés et poussés par la nécessité de préparer les méthodes de calcul réglementaire de demain. Le travail sur cette version réglementaire servira ainsi de base au futur moteur COLIBRI et pourrait, après quelques mois, aboutir à une première version open-source. Cette version initiale ouvrira dès lors la voie à un développement collaboratif de modules non-réglementaires par d'autres acteurs, permettant ainsi une utilisation communautaire élargie, en accord avec les besoins remontés dans le projet CIBLE.

L'ambition est que COLIBRI devienne une référence en France, voire en Europe, et qu'il soit utilisé dans une large variété d'applications liées à la conception et à la rénovation des bâtiments de demain. L'objectif est d'accompagner les acteurs du secteur à relever les défis futurs en matière de performance énergétique et environnementale.

9. Annexe : Grille d'entretien

Introduction

Le projet CIBLE vise à co-construire, avec les acteurs de la filière bâtiment, l'écosystème du futur moteur national de simulation pour l'éco-conception du bâtiment. Ce projet a été impulsé par le CSTB et est mené en partenariat avec le Collectif Effinergie et l'Alliance HQE-GBC, et avec le soutien financier de l'ADEME.

Dans le cadre de ce projet, nous menons une série d'entretiens avec les acteurs de la filière afin de venir alimenter les propositions que nous ferons et nous vous remercions d'avoir accepté cet échange.

1. Vos pratiques actuelles

- De quelle manière utilisez-vous aujourd'hui les outils existants dans votre pratique professionnelle ?

NB : Définition ce qu'on peut entendre par "outils" dans cette question : outil de simulation, conception, moteur de calcul, logiciel, etc.

- Quels outils exactement ?
- De quel(s) outil(s) aurez-vous besoin à l'avenir, dans 10 ans ?
- Selon vous, à chaud, quelle devra être la(les) priorité(s) de(s) ce(s) futur(s) outil(s) ? S'il ne fallait en retenir qu'une ?

2. Vos attentes vis-à-vis du futur moteur national de simulation pour l'éco-conception du bâtiment

RAPPEL - Le projet CIBLE : mission, temporalité, livrables et produit minimum viable imaginé

 Mission Définir l'écosystème du futur moteur national d'éco-conception de référence, pour accompagner l'ensemble des acteurs du bâtiment sur les 15 ans qui suivront sa mise en service.	 Convergence Neuf/Existant 
 Durée du projet ADEME 24 mois	 Multi-indicateurs : a minima sur Carbone (ACV), Energie, Confort 
 Livrables principaux Cahier des prescriptions pour le moteur de demain Synthèse des concertations et ateliers Code Proof Of Concept de l'architecture modulaire	 Multi-usages : réglementaires, conception, R&D... 
	 Cœur transparent et partagé ouverture aux contributions, voire open source 

NB : on prépare l'écosystème du moteur de simulation national, pas un outil avec interface, donc potentiellement plusieurs outils en sortie.

2.1. Réactions au "produit minimum viable"

- Souhaitez-vous que cet outil permette les calculs réglementaires ET non réglementaires (conception, R&D) ? Et si oui, comment ?
- Souhaitez-vous que cet outil rapproche les calculs énergie / confort d'été / ACV / autres ?
 - Si oui, comment ?
 - Quel en serait l'impact sur vos activités ?
- Souhaitez-vous que cet outil rapproche le calcul en rénovation/neuf ?
 - Quel en serait l'impact sur vos activités ?
- Quel aspect vous paraît le plus important ? Un moins utile/pertinent pour vous ? Un qui vous interpelle ?
- Au-delà des usages propres à votre métier, voyez-vous d'autres intérêts à l'écosystème que nous souhaitons créer ?

2.2. Périmètre de l'outil : thématiques, indicateurs, échelles de travail

- Selon vous, quelles sont les thématiques incontournables -carbone, énergie, confort été, ressources...- à adresser/évaluer ?
- Quelle unité de normalisation vous semble la plus adaptée pour évaluer un bâtiment / une opération ? *Impacts par usager (valorise mutualisation, densification) ; impacts par m2 de surface utile/surface habitable ; impacts par euro investi pour un service donné.*

- Quelle échelle de travail vous paraît pertinente pour la simulation ? (bâtiment, logement/pièce, quartier...)
- Avez-vous d'autres remarques, propositions, opinions concernant le périmètre de l'outil ?

2.3. Fonctionnalités de l'outil

- Selon-vous, existe-t-il des outils/moteurs qui devraient inspirer ces travaux ? Si oui, lesquels ?
- Pour votre métier, à quelles phases d'utilisation doit s'adresser l'outil ? Avec quelles particularités par phase (données disponibles, résultats attendus...) ? (conception plus ou moins amont, programme, DCE, EXE, etc.)
 - De quelles informations disposez-vous à quelle étape ?
 - Combien de temps/budget pourriez-vous accorder à une préconception ? En DCE ? EXE ?
- Quelles sont les innovations fonctionnelles qui vous paraissent indispensables pour les outils de demain ?
Prise en compte du BIM ou pas, connexions BDD, open-source, etc.
- Selon vous, quelles sont les priorités fonctionnelles ?
 - Facilité de saisie et de récoltes de données (connexion BDD, BIM, interopérabilité)
 - Aide à la décision et interprétation des résultats facilités (choix, indicateurs pédagogique)
 - Résultats proches de la réalité
 - Exhaustivité des indicateurs calculés (énergie, carbone, confort, biodiversité, coût, déchets...)
 - Possibilité de faire du calcul réglementaire et conception sur un même outil
 - Transparence et/ou possibilité de personnaliser les modèles pour tester mes systèmes, faire de la recherche et/ou possibilité de contribuer en proposant des modèles, améliorations ou corrections
 - Suivi de la performance réelle post-conception/livraison ou comparaison calcul/mesure objectif pour agir/corriger
 - Autres :
 - Quel temps de calcul est acceptable pour votre utilisation (instantané, minutes, heures...) ?
 - En dehors des fonctionnalités pour votre métier, imaginez-vous d'autres fonctionnalités intéressantes pour l'écosystème que nous souhaitons créer ?

3. Pilotage, gouvernance et modèle économique

- Idéalement, comment voyez-vous l'accès à ce moteur de simulation ? Doit-il être open source ?
- Selon vous, quelles doivent être les modalités de gouvernance de cet outil ?

Il est envisagé d'avoir des contributions au code du moteur de tous les acteurs qui le souhaitent, dans fonctionnement open source. Toutefois, cela pose question pour garantir la neutralité du moteur de calcul, en particulier pour les applications réglementaires. Aujourd'hui le ministère est entièrement décisionnaire sur les moteurs de calcul réglementaires. Pour le moteur de demain, on envisage de permettre des applications réglementaire/et non-réglementaire (conception, R&D) :

- Comment assurer la cohérence entre ces cas d'usage en s'assurant de la neutralité et pérennité du moteur de calcul ?
- Quelle validation scientifique et technique peut-on imaginer ?
- Selon vous, quel serait le bon modèle économique de cet outil ?

Aujourd'hui les outils purement réglementaires sont financés par le ministère et mis gratuitement à disposition des éditeurs de logiciel qui l'intègrent dans leur logiciel et vendent leur logiciel (licences). Demain, si on a des usages réglementaires/non-réglementaire, comment finance-t-on l'outil ?

En conclusion

- A quel horizon souhaitez-vous voir cet outil déployé ?
- Pour vous, est-ce que l'on a oublié quelque chose ?

Et pour la suite ?

Nous allons terminer les entretiens qui vont alimenter nos futurs échanges : des concertations plus larges par consultation en ligne, puis par ateliers thématiques. Ces consultations vont nous permettre de construire un cahier des charges et de le faire valider, pas à pas.

Vous serez informé des prochaines étapes et pourrez y participer.

10. Annexe : Schéma de calcul Colibri

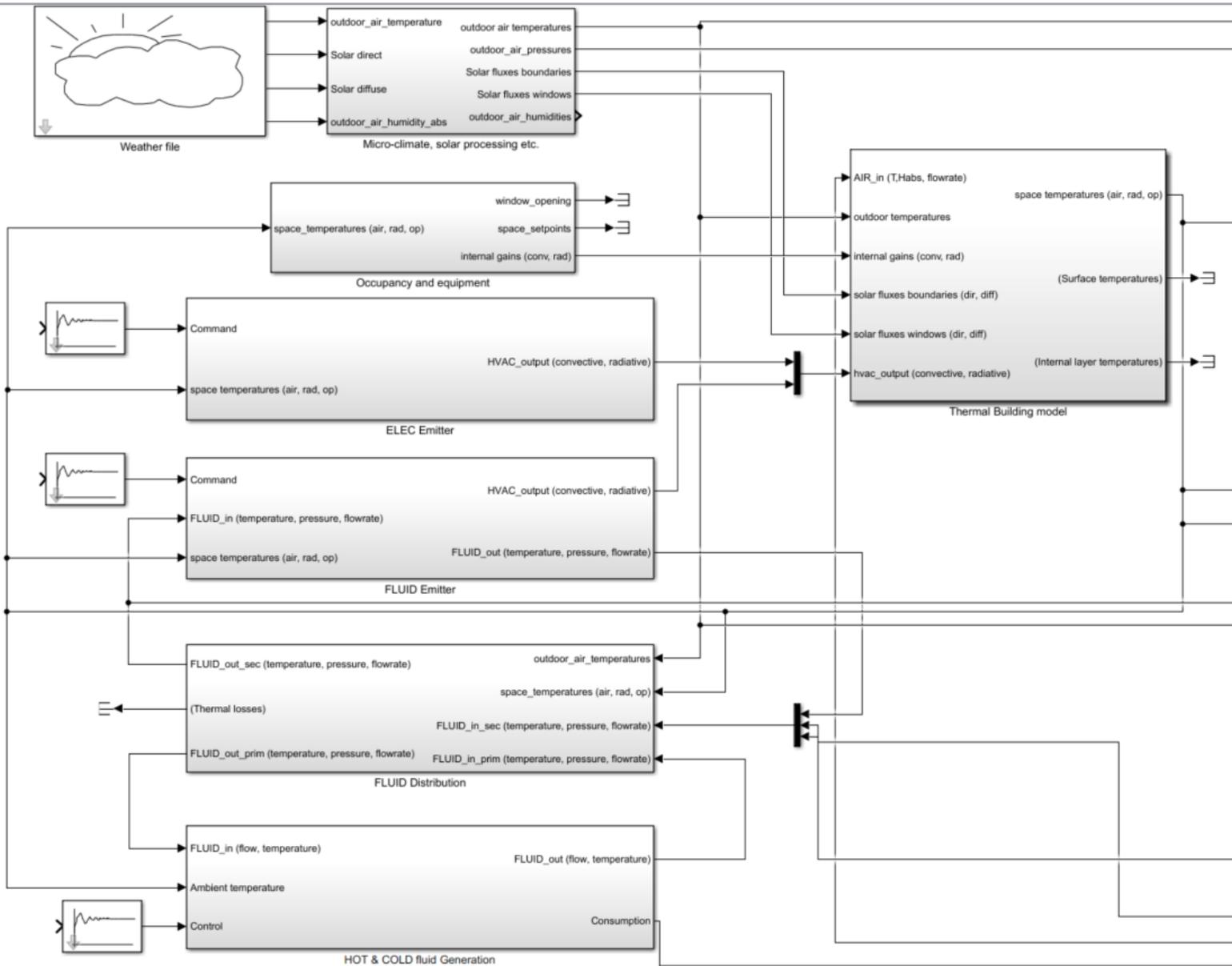


Figure 45 : Schéma de découpage des modules Colibri partie gauche

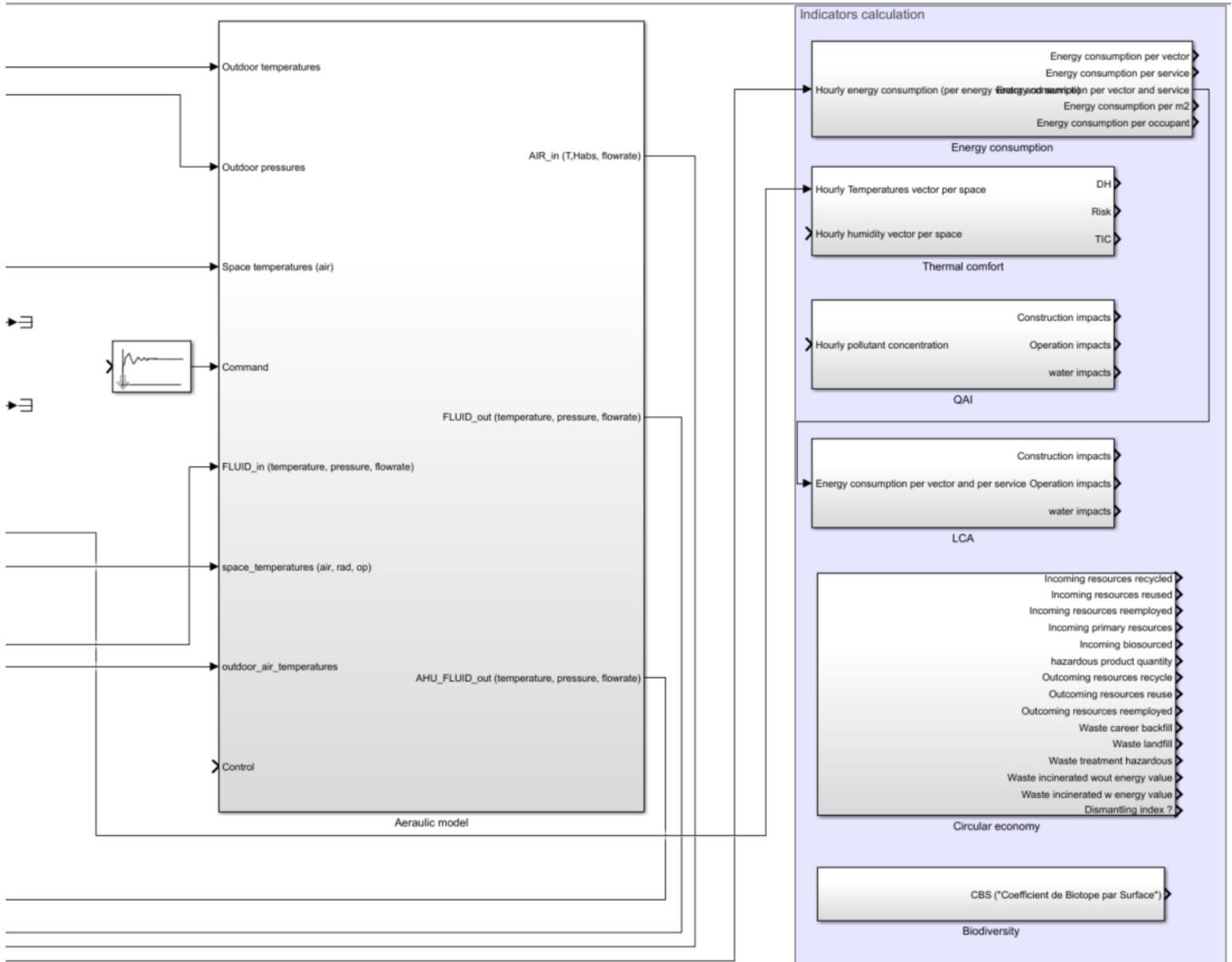


Figure 46 : Schéma de découpage des modules Colibri partie droite

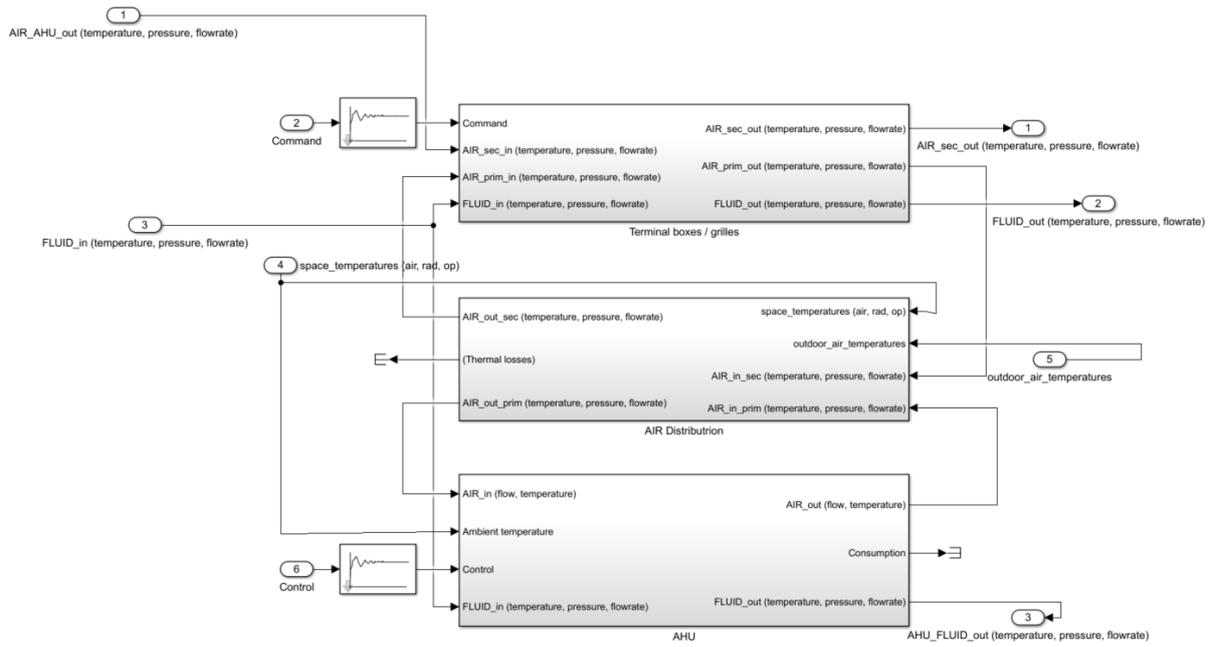


Figure 47 : Zoom sur le modèle aéraulique, partie système, illustration conceptuelle du sous-découpage possible

INDEX DES TABLEAUX ET FIGURES

Figure 1 - Organisation du projet CIBLE.....	12
Figure 2 - Nombre de réponses au sondage en ligne par type d'entité	14
Figure 3 : Type de projets sur lesquels travaillent les répondants	15
Figure 4 : Nombre de répondants par type de projet	15
Figure 5 : Type de calculs réalisés par les répondants pour le Neuf	16
Figure 6 : Type de calculs réalisés par les répondants en rénovation	17
Figure 7 : Type de calculs réalisés par les répondants en exploitation.....	17
Figure 8 : Tableau récapitulatif de l'enquête en ligne et des entretiens par thématique	28
Figure 9 : Note moyenne par thématique	29
Figure 10 : Récapitulatif de l'enquête en ligne et des entretiens pour chaque échelle de travail	32
Figure 11 : Moyenne des notes pour chaque échelle.....	32
Figure 12 : Nombre de réponses par indicateur	33
Figure 13 : Phases auxquelles l'outil doit s'adresser d'après les participant.e.s	34
Figure 14 : Temps de calcul demandé par les répondants en préconception	34
Figure 15 : Temps de calcul demandé par les répondants en conception	35
Figure 16 : Temps de calcul demandé par les répondants en construction	35
Figure 17 : Temps de calcul demandé par les répondants en exploitation	35
Figure 18 : Récapitulatif de l'enquête en ligne et des entretiens par fonctionnalité	43
Figure 19 : Note moyenne par priorité fonctionnelle.....	44
Figure 20: Réponses 'A quel horizon souhaitez-vous voir cet outil déployé ?'.....	47
Figure 21 : Répartition des notes pour la convergence Neuf /Existant	49
Figure 22 : Moyenne des notes sur la convergence Neuf Existant	49
Figure 23 : Répartition des notes pour la convergence.....	50
Figure 24 : Moyenne des notes sur la convergence ACV / Energie / Confort d'été	50
Figure 25 : Répartition des notes pour la convergence Réglementaire / Conception	50
Figure 26 : Moyenne des notes sur la convergence Réglementaire / Conception	50
Figure 27 : Répartition des notes sur la Transparence du cœur de calcul et son caractère open source	51
Figure 28: Moyenne des notes sur la Transparence du cœur de calcul et son caractère open source	51
Figure 29 : Note moyenne par thématique	53
Figure 30 : Moyenne des notes pour chaque échelle.....	54
Figure 31 : Note moyenne par priorité fonctionnelle.....	55
Figure 32 - Exemple de cloisonnement des méthodes par sous-modules dans la grille de calcul (backbone ou colonne vertébrale) de la norme CEN/ISO 52000-1 sur la performance énergétique du bâtiment.....	59
Figure 33 - Illustration de l'architecture modulaire COLIBRI et de ses différents composants	60
Figure 34 - Illustration d'une interface de module de calcul de flux au travers d'une paroi et de deux modules compatibles.....	64
Figure 35 - Illustration de différents schémas de calcul et de leur compatibilité avec le schéma de calcul COLIBRI	66
Figure 36 - Un jeu de données organisé autour d'une description en boundary, space, BoundaryObject, LinearJunctions ...	70
Figure 37 - Les archétypes rassemblent les caractéristiques intrinsèques des composants (Projet Object) et permettent de factoriser des caractéristiques communes.....	70
Figure 38 - Structure globale du jeu de donnée descriptif du bâtiment (exemple issu du PoC)	71
Figure 39 : Schéma de calcul des modules Colibri.....	73
Tableau 40 : Ligne des thématiques, extrait de la synthèse du cahier des charges du §4.2	79
Tableau 41 : Ligne des priorités fonctionnelles, extrait de la synthèse du cahier des charges du §4.2	80
Figure 42 : Superposition des normes européennes sur le schéma de calcul Colibri	84
Figure 43 : Extrait du schéma détaillé de calcul Colibri autour de la distribution	85
Tableau 44 : Ligne des types de projets : neuf et existant, extrait de la synthèse du cahier des charges du §4.2.....	94
Figure 45 : Schéma de découpage des modules Colibri partie gauche	99
Figure 46 : Schéma de découpage des modules Colibri partie droite	100
Figure 47 : Zoom sur le modèle aéralique, partie système, illustration conceptuelle du sous-découpage possible	101

SIGLES ET ACRONYMES

ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
ACV	Analyse de Cycle de Vie
AMO	Assistance à Maîtrise d'Ouvrage
BIM	Building Information Modeling
CEE	Certificats d'Economie d'Énergie
Colibri	Cœur Libre des Bâtiments Résilients
CPE	Contrat de Performance Energétique
CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
DPE	Diagnostic de Performance Energétique
EPBD	Energy Performance of Building Directive
MOA	Maîtrise d'œuvre
MOE	Maîtrise d'ouvrage
PMV	Produit Minimum Viable
QAI	Qualité de l'Air Intérieur
STD	Simulation Thermique Dynamique

L'ADEME EN BREF

À l'ADEME - l'Agence de la transition écologique -, nous sommes résolument engagés dans la lutte contre le réchauffement climatique et la dégradation des ressources.

Sur tous les fronts, nous mobilisons les citoyens, les acteurs économiques et les territoires, leur donnons les moyens de progresser vers une société économe en ressources, plus sobre en carbone, plus juste et harmonieuse.

Dans tous les domaines - énergie, économie circulaire, alimentation, mobilité, qualité de l'air, adaptation au changement climatique, sols... - nous conseillons, facilitons et aidons au financement de nombreux projets, de la recherche jusqu'au partage des solutions.

À tous les niveaux, nous mettons nos capacités d'expertise et de prospective au service des politiques publiques.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle du ministère de la Transition écologique et du ministère de l'Enseignement supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.

CIBLE : Cahier des charges

Depuis 1974, des réglementations encadrent la consommation énergétique des bâtiments, avec en 2022 l'intégration d'indicateurs sur l'impact climatique dans la RE2020. Les outils et moteurs de calcul actuels sont souvent désuets ou incomplets, et ne répondent plus aux défis contemporains. Le projet CIBLE a permis de définir les prescriptions pour un outil d'éco-conception du bâtiment national, de référence, pour accompagner l'ensemble des acteurs du bâtiment sur les 15 ans qui suivront sa mise en service, soutenant tous les acteurs du bâtiment dans leurs besoins et usages de la simulation (réglementaire ou non).

Le CSTB, fort de son expérience en moteurs de calcul et d'évaluation de la performance du bâtiment, a coordonné le projet CIBLE en collaboration avec divers acteurs du secteur (pouvoirs publics, architectes, industriels, etc.), à travers une démarche collaborative. Ce cahier des prescriptions pour le futur moteur a été créé avec la contribution de ces acteurs, notamment via les réseaux de l'Alliance HQE – GBC et d'Effinergie, partenaires du projet.

Ainsi, le cahier des prescriptions détaillé, reflète les besoins et idées de tous les participants et participantes transcrites dans le cahier des charges, avec des prescriptions techniques pour y répondre. Ce cahier des prescriptions couvre des aspects scientifiques, techniques, organisationnels et de diffusion, assurant l'interopérabilité, l'efficacité et la pérennité du moteur de demain, ainsi que sa transparence et appropriation par le plus grand nombre.

