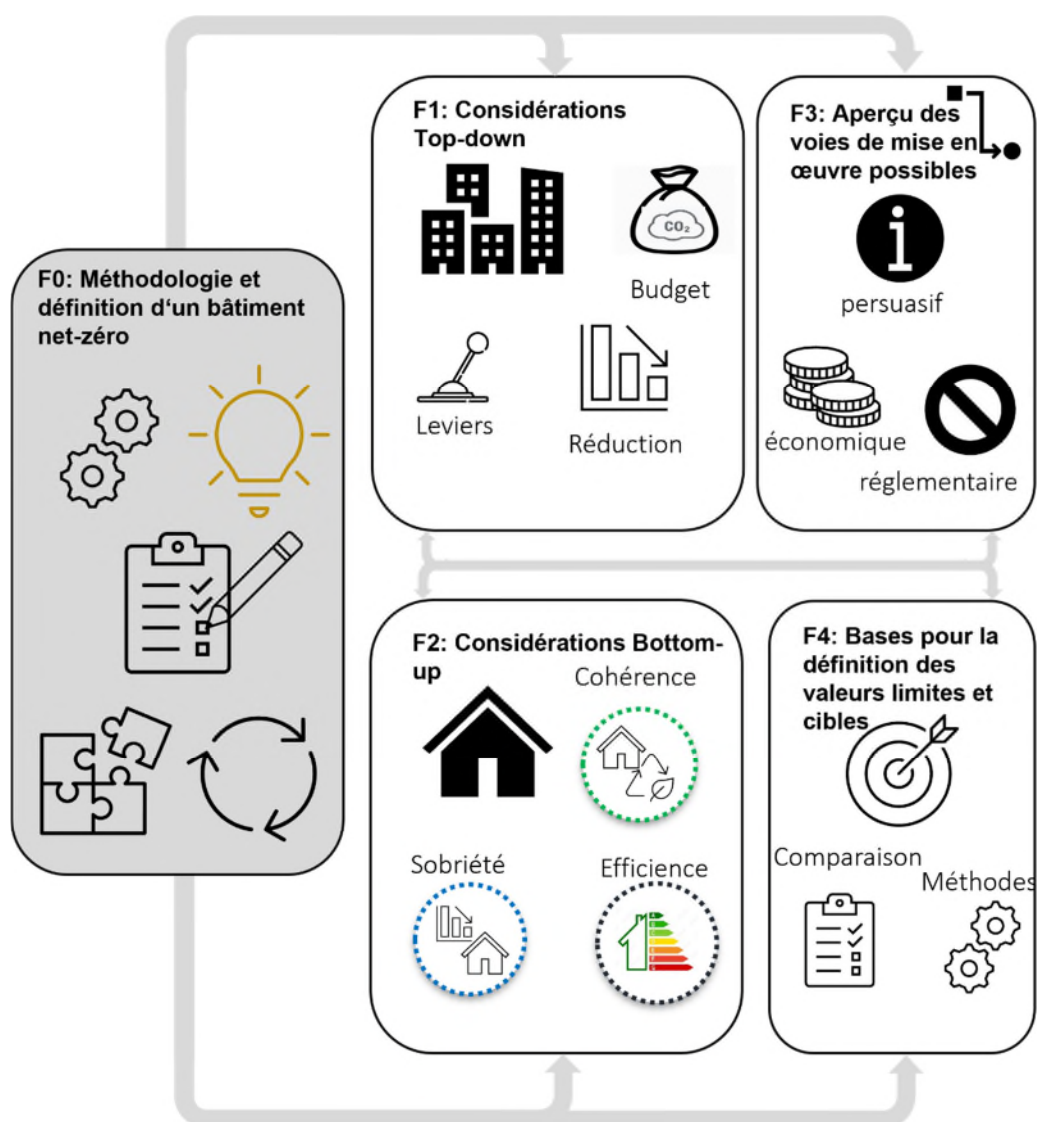




Rapport final du 30 novembre 2024

Net-zéro émissions de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment (NN-THGG)

Rapport de synthèse



**Prestataire de subvention :**

Office fédéral de l'énergie OFEN
Section recherche énergétique et cleantech
CH-3003 Berne
www.recherche-energetique.ch

Bénéficiaires de la subvention :

TEP Energy GmbH
Rotbuchstr. 68, CH-8037 Zürich
www.tep-energy.ch

Carbotech AG
St. Alban-Vorstadt 19, Postfach, CH-4002 Basel
www.carbotech.ch

HEIA-FR – ENERGY/iTEC
Passage du Cardinal 13B, 1700 Fribourg
<https://www.smartlivinglab.ch/fr/groups/energy/>
<https://www.smartlivinglab.ch/fr/groups/itec/>

Paul Scherrer Institut (PSI)
Forschungsstrasse 111, 5232 Villigen
<https://www.psi.ch/en/ta>

ETHZ – Chair of Sustainable Construction
Stefano-Franscini-Platz 5, 8093 Zürich
<https://sc.ibi.ethz.ch/en/>

HEIG-VD – IE
Avenue des Sports 20, 1401 Yverdon-les-Bains
<https://heig-vd.ch/rad/instituts/ie>

INTERFACE Politikstudien
Forschung Beratung AG
Seidenhofstrasse 12 Rue de Bourg 27
CH-6003 Luzern CH-1003 Lausanne
www.interface-pol.ch

KOS PartnerInnen GmbH
Giesshübelstrasse 62i,
8045 Zürich
<https://www.kos.swiss/>

Auteur(s) :

Yasmine D. Priore, HEIA-FR/ETHZ, priorey@ethz.ch (Lead)
Martin Jakob, TEP Energy
Cornelia Stettler, Carbotech
Guillaume Habert, ETHZ
Thomas Jusselme, HEIA-FR
Amadea Tschannen, Interface

Equipe de projet de toutes les questions F0-F4 :

Gestion du projet : Christine Steiner, KOS

F0

Martin Jakob, TEP
Cornelia Stettler,
Carbotech

F1

Martin Jakob, TEP
Giacomo Catenazzi,
TEP
Cornelia Stettler,
Carbotech
Joachim Bagemihl, TEP
Armin Binz, Binz
Energie am Bau

F2

Yasmine D. Priore,
ETHZ, HEIA-FR
Guillaume Habert,
ETHZ
Thomas Jusselme,
HEIA-FR
Daia Zwicky, HEIA-FR
Sonia Anselmina Cau,
HEIA-FR
Sébastien Lasvaux,
HEIG-VD
Mija Frossard, HEIG-
VD
Didier Favre, HEIG-VD
Xiaojin Zhang, PSI,
ETHZ

F3

Amadea Tschannen,
Interface
Aline Hänggli, Interface
Stefan Rieder, Interface

F4

Martin Jakob, TEP
Joachim Bagemihl, TEP
Cornelia Stettler,
Carbotech

Suivi du projet à l'OFEN :

Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
Rolf Frischknecht, treeze Ltd., mandaté par l'OFEN



Membres du groupe d'accompagnement :

René Bähler, KBOB
Tom Blindenbacher, 2000W-Gesellschaft
Olivier Brenner, EnDK*
Christoph Gmür, MuKEN*
Adrian Grossenbacher, BFE
Niko Heeren, AHB Stadt Zürich
David Hiltbrunner, BAFU
Sabrina Krank, ETH Rat / BLO
Annick Lalive, SIA 2032

Andrea Lötscher, EnFK*
Joe Luthiger, Verein NNBS
Andreas Meyer, Verein Minergie / Verein GEAK
Katrín Pfäffli, SIA 390/1
Roger Ramer, BAFU
Marianne Stähler, Verein Ecobau*
Christoph Starck, SIA
Sabine von Stockar, Verein Minergie / Verein GEAK
*) uniquement parties F0, F1, F2 et F4

Numéro du contrat de l'OFEN : SI/502615-01 et SI/502634-01

Les auteurs sont seuls responsables du contenu et des conclusions du présent rapport. Ce rapport est une traduction du rapport original en allemand. En cas de divergence, c'est la version allemande qui fait référence.



Préambule

Que signifie « net-zéro » dans le domaine du bâtiment ? La question est aussi simple que la réponse est complexe. Le présent projet de recherche a examiné cette question sous différents angles et fournit des réponses concrètes.

La question du budget carbone pour atteindre les objectifs climatiques dans le domaine du bâtiment a été examinée dans la partie top-down, tandis que les stratégies possibles de réduction des émissions au niveau du bâtiment ont été identifiées dans la partie bottom-up. Une autre partie du projet a mis en évidence des mesures politiques possibles et a discuté de leur éventuelle mise en œuvre. Enfin, la méthode net-zéro whole life carbon développée dans le cadre de ce projet a permis de vérifier dans quelle mesure les standards et les labels actuels pour les bâtiments sont adaptés pour représenter un bâtiment net-zéro.

Le groupe d'accompagnement a joué un rôle particulièrement important dans ce projet. Les représentants impliqués des labels de bâtiments, de la SIA, de la Confédération, des cantons et des villes se sont engagés avec beaucoup de ferveur dans la mise au point d'une méthode de calcul orientée vers la pratique et réalisable pour les bâtiments net-zéro. Les discussions intenses au sein du groupe et avec les équipes de recherche qui, de leur côté, portaient un regard scientifique, ont été une expérience précieuse pour tous les participants, tant sur le plan du contenu que sur celui de la compréhension commune de points de vue parfois très différents. Cette dernière a été prise en compte dans la définition des prémisses du travail de recherche.

Vous trouverez dans l'executive summary les principales conclusions de ce projet exceptionnel en termes de complexité et d'implication des parties prenantes. Viennent ensuite les résumés des différentes parties du projet et, pour finir, les conclusions générales. Pour anticiper : Atteindre le net-zéro dans le domaine du bâtiment est extrêmement difficile et en plus, le temps presse. Toutefois, l'approche net-zéro ready peut être mise en œuvre immédiatement. Cela nous permet d'être confiants quant à notre capacité à contribuer à la réalisation des objectifs climatiques de la Suisse grâce aux résultats scientifiques de ce projet de recherche, aux recommandations pratiques et à une définition commune des bâtiments net-zéro.

Je vous souhaite une lecture captivante et enrichissante.

Andreas Eckmanns

Responsable du domaine Recherche Bâtiment de l'OFEN



Table des matières

Table des matières	5
Abréviations	5
Executive Summary	6
Introduction	10
Concepts et définitions	10
F0 Méthodologie et définition d'un bâtiment net-zéro	12
Questions de recherche et constatations	12
Conclusion et recommandations de F0	18
F1 Considérations Top-down	19
Questions de recherche et constatations	19
Conclusion et recommandations de F1	25
F2 Considérations Bottom-up	26
Questions de recherche et constatations	26
Conclusion et recommandations de F2	30
F3 Aperçu des voies de mise en œuvre possibles	31
Questions de recherche et constatations	31
Conclusion et recommandations de F3	32
F4 Bases pour la définition des valeurs limites et cibles	34
Questions de recherche et constatations	34
Conclusion et recommandations de F4	37
Conclusions générales	38
Bibliographie	39

Abréviations

BM	Modèle de bilan (électrique)
CCS, BECCS	Carbon Capture and Storage, Bioenergy with Carbon Capture and Storage
CECB	Certificat de performance énergétique des bâtiments des cantons
DACCS	Direct Air Capture and Storage
EBMin	Émissions brutes minimisées
EN	Émissions négatives
EPD	Déclaration environnementale de produit (Environmental Product Declaration)
GES	Gaz à effet de serre
GO	Garantie d'origine
KBOB	Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrage publics
LCA	Life Cycle Assessment (analyse du cycle de vie)
LCI	Loi fédérale sur le climat et l'innovation
NET	Technologie à émissions négatives
NZ	Net-zéro
WLC	Whole Life Carbon



Executive Summary

Situation de départ et objectifs

Les émissions net-zéro de gaz à effet de serre (émissions NZ-GES) dans les bâtiments sont considérées comme un moyen indispensable pour atteindre les objectifs climatiques de Paris. L'environnement bâti représente une part importante des émissions nationales et internationales. Il est donc crucial de réduire à la fois les émissions opérationnelles et les émissions en amont et en aval, appelées « émissions grises ». Les émissions opérationnelles, principalement dues aux systèmes de chauffage à combustible fossile, vont fortement diminuer dans un avenir proche. Il est cependant plus difficile de décarboniser la production et l'élimination des matériaux de construction afin de réduire les émissions grises. Le présent projet de recherche, qui a fait l'objet d'un appel d'offres de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN) en 2022, a identifié des stratégies appropriées pour atteindre des émissions NZ-GES dans le domaine du bâtiment et propose une méthode de calcul à cet effet. Ce projet en plusieurs parties combine des approches descendantes (top-down) et ascendantes (bottom-up). L'objectif est de développer des lignes directrices, des références et des recommandations pour les décideurs, les professionnels de l'immobilier et de la construction, ainsi que les acteurs des standards et labels des bâtiments. Les résultats doivent fournir des informations permettant de prendre des décisions sur le futur cadre réglementaire et contribuer à orienter le domaine suisse du bâtiment (nouvelles constructions et bâtiments existants) vers un le net-zéro d'ici 2050.

Principaux résultats

1) Définition d'un bâtiment net-zéro

Un bâtiment dont les émissions de gaz à effet de serre sont net-zéro (en abrégé « bâtiment net-zéro ») présente un minimum d'émissions de GES pour sa construction et son exploitation tout au long de son cycle de vie et réduit les émissions de GES restantes grâce à des émissions négatives imputables au niveau des matériaux et des éléments de construction. Les émissions négatives sont comptabilisées si le stockage permanent du CO₂ biogénique est assuré. Cette possibilité n'existe pas de facto aujourd'hui.

2) Bâtiment « net-zéro ready »

Un bâtiment qui utilise des puits temporaires – par exemple des matériaux de construction biogènes – qui peuvent être convertis par la suite en émissions négatives (EN) permanentes. La condition préalable pour le net-zéro ready est une réduction importante des émissions brutes, par exemple selon l'exigence supplémentaire A de la SIA voie du climat. Contrairement au bâtiment net-zéro, une garantie juridiquement contraignante n'est pas obligatoire ici.

3) Budgets d'émissions et trajectoires de réduction pour le domaine du bâtiment

Le budget d'émissions cumulé dérivé de la LCI (loi sur le climat et l'innovation) est d'environ 510 Mt de CO₂eq pour le domaine du bâtiment (y compris les émissions en amont et en aval). Selon les projections actuelles, cette trajectoire de réduction permet d'atteindre l'objectif de 2°C avec une probabilité de 83 %. L'objectif de 1,7°C a 50 % de chances d'être atteint, mais l'objectif de 1,5°C sera clairement manqué. Le scénario de base¹ de ce projet suppose une réduction de 78 % des émissions de GES dans le domaine du bâtiment d'ici 2050. Pour cela, il est nécessaire d'éliminer complètement les émissions du scope 1 (dues aux combustibles fossiles) et de réduire considérablement les émissions des scopes 2 et 3. Malgré ces hypothèses exigeantes, le domaine du bâtiment dépasse de deux fois l'objectif dérivé du LCI dans le scénario de base. Sur les émissions estimées à environ 6,5 Mt de CO₂eq par an en 2050, 5,4 Mt correspondent à des émissions de scope 3 liées à la construction, à la rénovation et aux infrastructures énergétiques. Des mesures supplémentaires sont donc nécessaires pour atteindre

¹ Le « scénario de base » prend en compte une meilleure efficacité énergétique de l'enveloppe des bâtiments, des systèmes de chauffage, de la technologie et des appareils, ainsi que l'abandon presque total des énergies fossiles d'ici 2050. La demande en électricité pour le chauffage électrique devrait être presque nulle, tandis que les pompes à chaleur et le chauffage urbain devraient augmenter. Les facteurs d'émission sont fortement réduits, et l'utilisation des matériaux ainsi que les types de construction jouent un rôle important. Les leviers puits temporaires et émissions négatives sont considérés séparément.



l'objectif dérivé du LCI de 2 Mt CO₂eq par an. Celles-ci comprennent une réduction importante des émissions grises des matériaux de construction, l'abandon total des combustibles fossiles dans les bâtiments et pour la production d'énergie (y compris les réseaux énergétiques) et l'augmentation de la durée d'utilisation des bâtiments.

4) Prise en compte des émissions grises

La majorité des émissions opérationnelles peuvent être réduites par des mesures simples d'efficacité énergétique et d'électrification (par ex. pompes à chaleur, chauffage urbain) et de décarbonisation de l'approvisionnement énergétique. Les émissions grises, en revanche, sont plus difficiles à réduire. Avec la réduction des émissions opérationnelles au fil du temps, on s'attend à ce que les émissions grises représentent une part plus importante des émissions totales. Les résultats de cette recherche montrent qu'il est important de réduire les émissions grises grâce à des pratiques de construction innovantes, à l'efficacité des matériaux et à l'utilisation de matériaux à faible émissions. Il est donc important que les secteurs du bâtiment et de l'immobilier collaborent avec les secteurs de l'énergie (électricité et réseaux thermiques) et de l'industrie (production de matériaux et d'éléments de construction).

5) Approche globale et multi-mesures des bâtiments

Les mesures individuelles de réduction des émissions de GES au niveau du bâtiment permettent d'atteindre une réduction moyenne de 15 % des émissions de GES, ce qui est toutefois bien inférieur aux niveaux requis pour atteindre un bilan net-zéro. C'est pourquoi une approche à plusieurs niveaux est nécessaire, combinant innovations technologiques, mesures politiques et changements de comportement. Trois stratégies prometteuses ont été identifiées pour atteindre l'objectif de bâtiment net-zéro : Premièrement, une réduction de l'activité de construction (moins de nouvelles surfaces, plus de rénovations, une utilisation efficace de l'espace), deuxièmement, l'optimisation de la performance des bâtiments (efficacité énergétique, planification sobre) et troisièmement, l'intégration de matériaux et énergie renouvelables et à faibles émissions. Le potentiel de réduction des émissions des stratégies et mesures combinées peut atteindre 72 % dans le bâtiment de référence étudié. Cependant, cela n'est possible que dans des conditions optimales et sur un site approprié. Dans les autres cas, il convient d'évaluer individuellement le spectre des réductions possibles.

6) Harmonisation des standards et des labels des bâtiments

Pour atteindre effectivement les objectifs net-zéro d'ici 2050, une harmonisation des standards et des labels des bâtiments suisses, tels que ceux de la Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA), Minergie, Ecobau, le Certificat énergétique cantonal des bâtiments (CECB) et le Standard de construction durable Suisse (SNBS), est nécessaire. Il existe déjà des définitions et des hypothèses communes, mais certaines différences subsistent dans les méthodes de calcul, les limites du système et la reconnaissance des certificats. Ce projet définit une approche « bâtiment net-zéro whole-life-carbon (WLC) » sur laquelle les normes et les labels peuvent s'appuyer. La méthode définie dans le projet de norme « FprSIA 390/1:2024 », est cohérente avec l'approche WLC lorsque la méthode de calcul avec vente de garanties d'origine et sans utilisation d'électricité verte est utilisée. Minergie s'écarte de la méthodologie définie dans le projet dans toutes les versions, en raison de la différence de comptabilisation des installations PV (en termes d'émissions de production et d'électricité produite). L'élimination de cette différence méthodologique permet d'une part d'assurer la cohérence avec la méthodologie WLC_{NZ}. D'autre part, cela permet d'assurer la continuité entre les instruments Minergie et la trajectoire climatique SIA.

7) Mesures politiques

Les mesures politiques actuelles s'adressent principalement aux émissions directes liées à l'exploitation des bâtiments (scope 1) et aux émissions indirectes liées à la consommation d'énergie (scope 2). Cependant, les émissions de scope 3 sont rarement abordées, seuls les critères de commande publique y font référence. Dans le secteur de la construction et des déchets, il n'existe aucune réglementation visant à réduire les émissions (scope 3). Pour atteindre les émissions NZ-GES dans le domaine du bâtiment, des lacunes réglementaires doivent être comblées, notamment dans le domaine de l'économie circulaire, en mettant l'accent sur les exigences légales relatives aux émissions de GES des bâtiments. Les cantons sont donc appelés à inclure des valeurs limites pour les émissions grises de



GES dans le cadre de leurs lois sur l'énergie. Parallèlement, la construction à faibles émissions devrait également être encouragée du côté des déchets, par exemple en renforçant les dispositions relatives à l'élimination des déchets.

De nouvelles mesures contraignantes (obligations/interdictions), telles que des valeurs limites pour les émissions grises ou des rénovations obligatoires en cas de changement de propriétaire, peuvent responsabiliser davantage les acteurs privés. Cependant, elles peuvent se heurter à une résistance politique en raison de leur impact sur les comportements individuels et de leur intervention sur le marché. Un travail de sensibilisation est également nécessaire pour mettre en œuvre des mesures politiques plus fortes sur le plan réglementaire. Le renforcement des incitations financières existantes, par exemple par le biais du Programme Bâtiments, peut faciliter la transition vers des réglementations plus strictes (interdictions/obligations). Les investissements dans l'échange et le développement ciblé des connaissances sont également décisifs. Le potentiel de réduction des émissions dans le domaine du bâtiment réside également dans la promotion de mesures d'économie circulaire, l'utilisation accrue de matériaux biosourcés (notamment le bois) et l'utilisation efficace des surfaces dans la construction de logements.

Recommandations pour les décideurs politiques et administratifs

- 1) Renforcer la réglementation sur les émissions grises : Les décideurs devraient combler les lacunes réglementaires, notamment en ce qui concerne les émissions en amont et en aval (scope 3) dans les secteurs de la construction et des déchets. Cela inclut l'introduction de valeurs limites pour les émissions grises dans les réglementations énergétiques cantonales et le développement de directives nationales sur l'économie circulaire.
- 2) Renforcer les incitations financières et la sensibilisation : L'extension du soutien financier par le biais d'instruments tels que le Programme Bâtiments et les marchés publics peut encourager l'utilisation d'alternatives à faibles émissions de CO₂. Les mesures de sensibilisation sont un levier important pour obtenir le soutien du public en faveur de règles de construction plus strictes et de pratiques durables.
- 3) Rénovation plutôt que construction neuve de remplacement : la rénovation des bâtiments devrait généralement être préférée à la démolition et reconstruction neuve, avec une attention particulière à la minimisation des émissions grises. Il convient toutefois de tenir compte de l'utilisation des sols (pour la densification, des constructions neuves de remplacement peuvent également s'avérer utiles).
- 4) Evolution future des émissions : les décideurs devraient se concentrer sur l'évolution future des émissions, notamment sur la décarbonisation de la production et de l'élimination des matériaux utilisés dans les mesures de rénovation et de renouvellement dans le secteur de la construction.

Recommandations pour les standards et labels des bâtiments

- 5) Afin de promouvoir la cohérence des standards et labels de construction et de renforcer leur contribution à la réalisation de l'objectif net-zéro, il est recommandé d'établir un cadre coordonné pour la comptabilisation des émissions et une approche de normalisation progressive sur les bases élaborées dans le cadre de ce projet et de les mettre en œuvre dans les standards et labels.
- 6) Selon la « réalité des émissions » de la méthode-WLC, le calcul des émissions devrait en principe être effectué avec une résolution horaire, c'est-à-dire que la consommation propre ou le prélèvement sur le réseau est calculé par heure et agrégé sur un bilan annuel, éventuellement mensuel. Pour la mise en œuvre pratique dans les programmes de calcul de vérification, il est possible de définir des cas standard correspondants.
- 7) Bilan des émissions grises des installations PV : Minergie (ou méthodologie CECB) ainsi que FprSIA 390/1 avec bilan annuel (méthode de calcul avec non-vente des GO) devraient adapter la méthodologie de calcul afin de rapprocher les résultats de la méthode WLC. Des exigences séparées devraient être posées pour la mise en place d'incitations, par exemple pour les grandes installations photovoltaïques, et clairement identifiées comme telles.



- 8) Durée de vie et durabilité des bâtiments : il convient d'examiner si l'allongement des durées de vie de référence pour les bâtiments et leurs composants pourrait encourager l'utilisation de matériaux plus durables. De plus, des méthodes d'adaptation des durées de vie en fonction des types de bâtiments, des stratégies d'utilisation et des déclarations de produits devraient être développées.
- 9) Bilan sur la durée d'utilisation : il est recommandé de représenter l'évolution annuelle des émissions lors de la présentation des valeurs du projet et des valeurs requises, plutôt que d'utiliser un ou deux indicateurs. Il est ainsi possible de faire la distinction entre les émissions liées à la construction et celles liées aux mesures de remplacement. Cela permet d'accroître la transparence et de mieux mettre en évidence les possibilités de prévention des émissions tout au long du cycle de vie des bâtiments.
- 10) Données sur les matériaux et composants à faibles émissions de CO₂ : Il est recommandé de mettre à disposition la liste des écobilans des données spécifiques aux fabricants en ligne, adaptée aux consommateurs, avec une interface API. Ainsi, les mises à jour pourront être utilisées facilement et en temps utile par les utilisateurs et surtout par les fournisseurs de programmes de vérification.

Recommandations pour l'industrie

- 11) Promouvoir les matériaux à faible émission de CO₂ et les matériaux biosourcés : il est nécessaire d'accélérer la recherche et d'encourager l'utilisation de matériaux de construction à faible émission de CO₂ grises (énergie renouvelable dans la fabrication des matériaux et des produits, matériaux de construction biosourcés, béton avec des types de ciment à faible teneur en clinker) dans la construction, l'équipement et l'isolation thermique. Les acteurs industriels doivent promouvoir la décarbonisation de la chaîne d'approvisionnement.
- 12) Poursuivre le développement des technologies à émissions négatives (NET) : compte tenu des besoins prévus en NET, il est nécessaire d'investir dans la recherche et les projets pilotes, y compris le stockage permanent du carbone biogénique. Ces technologies joueront un rôle central pour égaliser les émissions résiduelles qui ne peuvent pas être évitées par des stratégies de réduction directes.

Recommandations intersectorielles

- 13) Promouvoir la coopération intersectorielle : la réalisation de l'objectif net-zéro nécessite une coopération entre les secteurs, y compris l'énergie, la construction et la gestion des déchets. Les administrations, les représentants de l'industrie et les instituts de recherche doivent coordonner leurs efforts afin d'accélérer la mise en œuvre de pratiques et de technologies innovantes.



Introduction

L'objectif du projet « net-zéro émissions de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment », initié en 2022 par l'Office fédéral de l'énergie (OFEN), était de développer une définition complète des émissions net-zéro de GES (NZ-GES) dans le domaine du bâtiment en Suisse. Cette définition doit servir de ligne directrice pour les cadres réglementaires et soutenir les objectifs climatiques à long terme du pays, notamment l'atteinte d'émissions net-zéro d'ici 2050. Le projet comble les lacunes existantes en matière de connaissances en examinant les limites du système de comptabilisation, les voies de réduction et les conditions cadres nécessaires pour atteindre le net-zéro dans le domaine du bâtiment. Pour sa mise en œuvre, le projet de recherche, dont la thématique est très large, a été divisé en plusieurs sous-projets :

- F0 : Méthodologie et définition d'un bâtiment net-zéro.
- F1 : Considérations Top-down.
- F2 : Considérations Bottom-up.
- F3 : Aperçu des voies de mise en œuvre possibles.
- F4 : Bases pour la définition des valeurs limites et cibles.

Les sections suivantes résument les principaux résultats et recommandations des cinq sous-projets.

Concepts et définitions

Afin de soutenir la mise en œuvre de l'objectif « émissions net-zéro de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment » dans la pratique, la partie F4 du projet a dressé un aperçu des niveaux d'exigence possibles qui sont déjà utilisés dans la pratique ou qui pourraient l'être. Ces niveaux sont présentés ici à titre indicatif :

Méthodologie WLC_{NZ} :

La méthodologie de calcul des bâtiments net-zéro est appelée WLC_{NZ}. WLC signifie Whole Life Carbon et l'indice NZ indique que la méthodologie est capable de représenter le net-zéro (par opposition aux méthodologies WLC qui ne représentent « que » les émissions brutes). Le Tableau 1 présente les approches méthodologiques ajustées qui servent de base à la définition commune de la méthodologie permettant de définir les bâtiments net-zéro – avec les valeurs d'exigence correspondantes.

Net-zéro (NZ_{WLC}) :

Un bâtiment dont les émissions de gaz à effet de serre sont net-zéro (en abrégé « bâtiment net-zéro ») présente un minimum d'émissions de GES pour sa construction et son exploitation tout au long de son cycle de vie (émissions brutes minimisées_{WLC}) et réduit les émissions de GES restantes grâce à des émissions négatives imputables au niveau des matériaux et des éléments de construction. Les émissions négatives sont comptabilisées si le stockage permanent du CO₂ biogénique est assuré. Le calcul des émissions de GES est effectué selon les principes méthodologiques WLC définis dans ce projet (Tableau 1).

Net-zéro ready (NZ_{WLC} ready):

Un bâtiment dont les émissions brutes sont minimisées_{WLC} (voir définition séparée), où des puits temporaires sont utilisés, qui seront transformés par la suite en émissions négatives (EN) permanentes, si elles ne sont effectivement pas réémises. Ces puits temporaires doivent être liés à des mesures futures à définir concrètement. On peut citer par exemple l'utilisation de matériaux de construction et de matériaux biogènes qui servent de puits temporaires pouvant être convertis ultérieurement en émissions négatives afin de compenser les émissions liées à la construction et à l'exploitation. La condition préalable pour le NZ_{WLC} ready est une réduction importante des émissions brutes. Contrairement au bâtiment NZ_{WLC}, une garantie juridiquement contraignante n'est pas obligatoire. Lors de l'évaluation des EN, il faut tenir compte du fait que, pour des raisons pratiques, la totalité des puits temporaires ne peut



pas être convertie en EN et que les pertes d'efficacité inévitables, par exemple dans le cas de la capture et du stockage du carbone (CCS), doivent être prises en compte.

Émissions brutes minimisées_{WLC}, 2025 (EBMin_{WLC}, 2025) :

Pour les émissions brutes minimisées_{WLC}, 2025, un niveau d'exigence doit être défini de telle sorte qu'il puisse être atteint par la mise en œuvre de mesures étendues (meilleure technologie disponible et meilleures pratiques) au niveau de la conception, de la planification, de la construction et de la matérialisation. Les émissions opérationnelles doivent également être fortement limitées. Ainsi, les émissions GES peuvent être évitées de manière substantielle sur le cycle de vie par rapport à la construction actuelle (voir entre autres le sous-projet F2 : Priore et al. 2024). L'exigence supplémentaire A selon la voie du climat SIA (variante conforme à la méthodologie WLC_{NZ} proposée dans ce projet) sert de point de référence pour la définition du niveau des « émissions brutes minimisées ». Il convient alors d'examiner si et comment des circonstances particulières, par exemple des situations de pente ou de nappe phréatique, doivent être prises en compte.

Émissions brutes minimisées_{WLC} (EBMin_{WLC}, indice de temps) :

La quantité d'émissions difficiles à éviter ou le niveau d'émissions brutes minimisées_{WLC} dépendent de l'état actuel de la technique et de l'offre de matériaux et d'éléments de construction, ainsi que des mesures de prévention « raisonnables » ou acceptées. C'est pourquoi il est recommandé d'accompagner le terme « émissions brutes minimisées » d'une indication temporelle, par exemple en ajoutant « aujourd'hui ou 2025, 2035, 2050, etc. », ceci dans le sens d'une trajectoire de réduction. Les valeurs doivent être valables à la date indiquée et doivent être fixées en référence à l'état de la technique et à la pratique de la planification et de la construction au sens de la meilleure pratique, par exemple par une mise à jour régulière des exigences légales ainsi que des exigences dans les labels et les normes, qui peuvent également contenir une trajectoire de réduction obligatoire à moyen terme.

Trajectoire de réduction :

Les niveaux d'exigence décrits ci-dessus pour les émissions brutes minimisées_{WLC} peuvent être appliqués à l'heure actuelle (construction ou rénovation actuelle) ou à l'avenir. Dans les secteurs de l'industrie (production de matériaux de construction et d'éléments de construction) et de l'énergie (fourniture d'énergie finale), des changements sont attendus dans les années à venir. Il convient donc d'indiquer une temporalité pour chaque valeur d'exigence.



F0 Méthodologie et définition d'un bâtiment net-zéro

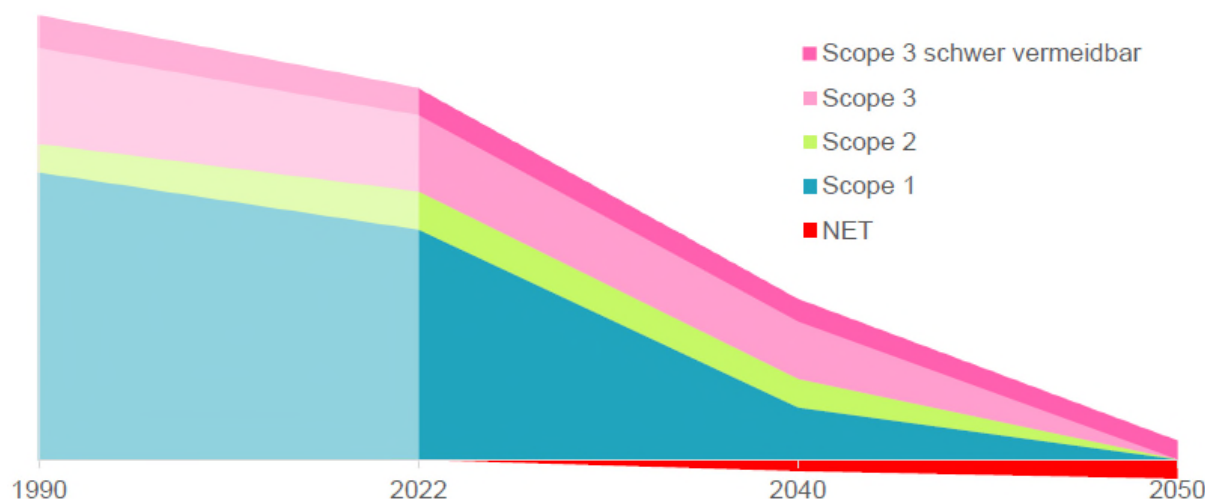


Figure 1 : Représentation schématique. Budget d'émissions du secteur du bâtiment (turquoise) et du domaine du bâtiment (toutes les couleurs). Les émissions des technologies d'émissions négatives (NET) sont représentées en rouge. Couleurs pastel : budget déjà consommé entre 1990 et 2022. Couleurs vives : budget restant jusqu'en 2050. Source : TEP Energy, 2024.

Questions de recherche et constatations

Le sous-projet F0 documente les travaux sur les questions méthodologiques et sert de base aux travaux subséquents du projet de recherche « net-zéro émissions de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment ». Il tient compte du contexte dans lequel s'inscrivent les différentes approches méthodologiques, y compris les effets incitatifs à prendre en compte pour les différents groupes cibles. Enfin, F0 analyse les questions méthodologiques ouvertes, évalue les différentes approches et propose des solutions.

Définition des émissions net-zéro de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment

Les émissions net-zéro de GES signifient qu'il n'y a pas plus d'émissions de GES dans l'atmosphère que ce que les réservoirs naturels ou techniques peuvent absorber. Pour cela, les émissions de GES doivent être évitées dans la mesure du possible. Les émissions restantes, difficilement évitables, doivent être éliminées de l'atmosphère par des puits d'émission naturels permanents ou par des mesures techniques, puis stockées ou éliminées en toute sécurité à long terme (plus de mille ans). Grâce à cette égalisation des émissions, l'augmentation à long terme de la température moyenne mondiale est la même que si les émissions de GES n'avaient pas été émis du tout (net-zéro). Dans une approche globale, le domaine du bâtiment comprend également les chaînes d'approvisionnement nécessaires à la fabrication des produits et éléments de construction, à la construction et à l'exploitation des bâtiments, ainsi qu'à l'élimination des produits et éléments de construction. L'objectif défini dans cette étude, à savoir l'atteinte d'un niveau net-zéro émissions GES dans le domaine du bâtiment, est donc fondé sur la physique du climat. Il s'appuie sur une approche de type « Whole Life Carbon » (WLC), et ne doit pas être confondu avec les objectifs politiques nationaux et les objectifs sectoriels qui en découlent conformément à l'Accord de Paris, qui reposent sur une approche territoriale et orientée sur les processus.



Tableau 1 : Aperçu des questions méthodologiques examinées et des approches méthodologiques utilisées à ce jour, qui constituent ensemble la définition commune de la méthodologie WLC_{NZ} (recommandations consolidées de l'équipe de recherche et du groupe d'accompagnement). Les abréviations des questions, telles qu'elles sont utilisées dans les rapports, sont indiquées entre parenthèses.

Thème, question	Méthodologie WLC _{NZ} développée dans ce projet
Durée de vie et d'utilisation des bâtiments (allocation temporelle) (F0.2.A)	Bâtiments individuels, pratique de planification actuelle : amortir sur la durée d'utilisation du bâtiment. Parc de bâtiments, portefeuilles immobiliers : comptabiliser les GES au moment où elles se produisent.
Durée de vie et d'utilisation des bâtiments (données et hypothèses) (F0.2.B)	Durées d'amortissement normalisées pour le cas standard de Normes, standards, et labels qui accompagnent la phase de planification
NET Technologies/matériaux (F0.3.A)	Les matériaux NET sont les suivants : matériaux de construction minéraux, minéraux organiques et organiques.
Puits temporaires : comptabilisation (F0.3.B)	Le CO ₂ biogénique est " neutre pour le climat " (approche " 0/0 " ou " -1+1 " selon EN 15804+A2) sans garantie de stockage permanent.
Présentation de la Contribution des NET (F0.3.C)	La contribution NET doit être enregistrée et présentée séparément. Pas de bilan au niveau des matériaux de construction et des éléments de construction.
Émissions négatives : comptabilisation (F0.3.D)	• EN ne peut être comptabilisé que pour l'égalisation des émissions des bâtiments. • Les certificats d'EN (performance de séquestration) des matériaux de construction doivent être achetés et conservés. • Possibilité de prendre en compte les matériaux de construction organiques si une garantie légale ou juridiquement contraignante de non-libération (ou de stockage permanent) du C. biogène est fournie.
Réutilisation et recyclage (F0.4.A+B)	Approche " effort supplémentaire ", cut-off pour les émissions déjà effectuées.
Production photovoltaïque : allocation des émissions de production, règles d'injection dans le réseau (F0.4.C)	" Répartir l'investissement " : prendre en compte les émissions GES du système PV au prorata de la part d'autoconsommation dans la production. L'électricité injectée dans le réseau porte les caractéristiques environnementales de l'électricité PV ; pas de déduction en phase d'exploitation.
Injection PV : résolution temporelle pour la détermination de la part d'autoconsommation (F0.4.D)	Déterminer la part d'autoconsommation avec une résolution horaire et l'agréger en valeur annuelle.
Modélisation du mix électrique suisse : situation actuelle, modèle de bilan (F0.6.A)	Mix de consommateurs = production nationale moins exportations plus importations (modèle BM3 pour les écobilans de bâtiments selon la recommandation KBOB 2009/1)
Modélisation du mix électrique suisse : résolution temporelle (F0.6.B)	Agréger les valeurs horaires en bilans annuels
Modélisation du mix électrique suisse : pondération du profil de demande (F0.6.C)	Pas de pondération pour la phase de planification (cas d'application 1 selon la norme SIA 380:2022)
Modélisation du mix électrique suisse : prise en compte de l'évolution future (F0.6.D)	Considération statique : situation actuelle du mix électrique et des centrales pour toute la phase d'exploitation, idem pour toutes les autres sources d'énergie.



Tableau 2 : Aperçu des questions méthodologiques examinées et des approches méthodologiques qui nécessitent une analyse et une discussion plus approfondies après l'achèvement de ce projet ou qui concernent le niveau supérieur

Thème, question	Approches méthodologiques à approfondir (variantes NZ _{WLC})
Evaluation du budget d'émission indirectes pour les marchandises importées et les importations d'énergie (F0.1.A)	M1 : égalité de traitement (c.-à-d. même trajectoire de réduction relative à l'étranger qu'en Suisse) M2 : Se référer aux réglementations actuelles de l'UE pour tendre vers le net-zéro émissions de GES
Evaluation des émissions de fabrication de matériaux et de composants à faibles émissions (F01.B)	M1 : Analyse du cycle de vie des données spécifiques aux fabricants conformément aux "Règles pour l'analyse du cycle de vie des matériaux et produits de construction en Suisse" de la KBOB, ecobau et IPB (2024) M2 : Exigences de qualité pour l'approbation et la conversion des valeurs de DEP (internationales) ou de programmes comparables, afin de les rendre conformes et donc comparables aux méthodes d'écobilan reconnues ici. La nécessité et l'ampleur des mesures à prendre à cet égard devront être examinées dans le cadre du suivi de ce projet.
Comptabiliser les GES au moment où ils se produisent ou les amortir sur la durée d'utilisation ? (F0.2.A)	M1 : Reconnaître les GES au moment de leur apparition. M2 : Accumuler successivement au cours de la période d'utilisation à des fins d'illustration et de visualisation.
Quelles sont les données et les hypothèses à utiliser en ce qui concerne la durée de vie et d'utilisation des bâtiments et des équipements ? (F0.2.B)	M2 : durées de vie de référence pouvant être adaptées au cas par cas (par exemple, en fonction du type de bâtiment, du concept d'utilisation prévu, des stratégies de rénovation, des bases de l'analyse du cycle de vie et de la déclaration des produits ; les détails et les conditions doivent être examinés).
Modélisation du mix électrique suisse : situation actuelle, modèle de bilan (F0.6.A)	Vérifier après ce projet si le BM3 doit continuer à être utilisé à l'avenir ou si une révision est appropriée.
Modélisation du mix électrique suisse : quelles sont les pondérations (chaleur, froid, types de bâtiments) à appliquer pour déterminer le mix électrique et les émissions GES ? (F0.6.C)	M3 (nouveau) : Pas de pondération, mais mise à disposition de valeurs horaires. Concerne : cas d'application 2 et 3 selon chiffre 4.1.1. de la norme SIA 380:2022
Modélisation du mix électrique suisse : prise en compte des évolutions futures possibles du mix électrique et des technologies des centrales électriques (F0.6.D)	M2 : Observation prospective des caractéristiques environnementales de l'électricité moyennées entre la situation actuelle et 2050 (éventuellement au-delà) sur la base d'un scénario 2050 compatible avec l'objectif de net-zéro émissions GES (similaire à celui présenté à titre d'exemple dans le rapport F0, mise en œuvre dès que les bases seront établies (KBOB)).

En ce qui concerne les différentes questions de recherche, les résultats et les conclusions du sous-projet F0 sont les suivants, qui justifient les recommandations du Tableau 2 ci-dessus.



F0.1 Quel budget de CO₂ jusqu'en 2050 découle de la trajectoire de réduction pour le secteur du bâtiment (émissions directes) selon le LCI ? Quelle part du budget d'émissions encore disponible pour la Suisse doit être ajoutée, dans une perspective de cycle de vie complet, pour le domaine du bâtiment ?

Le budget CO₂ jusqu'en 2050 pour le secteur du bâtiment, c'est-à-dire le budget des émissions directes provenant de la combustion d'énergies fossiles dans les bâtiments (scope 1), est la somme des émissions sous la trajectoire de réduction définie par la LCI : réduction de 82 % jusqu'en 2040 et de 100 % jusqu'en 2050, toujours par rapport à l'année de référence 1990. Les valeurs absolues ont été déterminées dans la partie F1 du projet. Comme la construction et l'exploitation des bâtiments entraînent d'autres émissions induites, un budget supplémentaire pour les émissions indirectes (scope 2 et 3) doit être attribué au domaine du bâtiment. Il s'agit en partie d'émissions nationales et en partie d'émissions générées à l'étranger. Les émissions domestiques (CH) occupent donc une partie du budget d'émissions domestiques des secteurs de l'industrie (production de matériaux et d'éléments de construction) et de l'énergie ou du secteur de la transformation (production de chauffage urbain, d'électricité et d'autres sources d'énergie). Les budgets de ces secteurs doivent donc être répartis en conséquence :

- Budget pour les émissions liées aux bâtiments pour
 - o Fabrication de matériaux et d'éléments de construction (secteur industriel)
 - o Production de chauffage urbain, d'électricité et d'autres sources d'énergie (inventaire des émissions GES : secteur industriel ; statistiques de l'énergie : secteur de la transformation)
 - o Transports routiers et ferroviaires liés aux bâtiments (liés à la construction (y compris la rénovation des bâtiments) et à la fourniture d'énergie, sans la mobilité induite par l'utilisation des bâtiments)
- Budget pour les autres émissions telles que le génie civil, la production alimentaire et d'autres produits industriels et les biens de consommation.

La répartition des budgets entre ces deux domaines peut être effectuée de différentes manières :

- Répartition proportionnelle
- Prendre en compte ou non le fait que la production de matériaux et d'éléments de construction génère plus d'émissions « difficilement évitables » que le reste du secteur industriel.

Pour la partie des émissions générées à l'étranger, il convient également de définir le budget. Dans le secteur industriel (importation de matériaux et d'éléments de construction), les différentes approches suivantes sont discutées :

- M1 : traiter les produits importés de la même manière que les produits nationaux, c'est-à-dire définir des objectifs et des budgets comparables pour le secteur industriel,
- M2 : Se référer à la réglementation actuelle de l'UE pour aller vers une plus grande réduction des émissions de GES et tendre vers l'objectif net-zéro avant 2050.

Cette question ouverte nécessite des recherches supplémentaires, en tenant compte des indications suivantes :

L'égalité de traitement entre les produits importés et la production suisse serait contre-productive si l'hypothèse correspondante était appliquée dans les normes, standards et labels de bilan, mais que l'équivalence du bilan écologique ne pouvait pas être imposée aux produits importés (et que cela n'était pas pris en compte dans les calculs). C'est pourquoi il est très important de clarifier la question de savoir selon quelles approches les matériaux et les composants à plus faibles émissions doivent être mesurés et pris en compte. Cette question devrait être abordée de toute urgence dans le cadre du suivi de ce projet.



F0.2 Comment la durée de vie d'un bâtiment est-elle prise en compte de manière méthodique et pertinente en ce qui concerne l'énergie grise et les émissions de gaz à effet de serre : comptabilisation unique lors de la phase de construction, ou amortissement sur plusieurs années (dans ce dernier cas : comment traiter le parc immobilier existant) ?

L'approche suivante a été utilisée pour la comptabilisation des émissions GES :

- Principe d'investissement (analogie à celui de l'économie) : Conformément à la loi sur le CO₂, à la recommandation du protocole GHG et aux approches qui s'en inspirent, les émissions sont comptabilisées une seule fois au moment où elles sont produites. Les émissions de la construction sont donc comptabilisées d'une part pendant la phase de construction, pendant l'exploitation lors du remplacement des éléments de construction et d'autre part à la fin de la durée de vie. Dans cette perspective, la question de la durée d'utilisation se pose surtout dans une optique de portefeuille et de parc immobilier (bilan des activités de construction, de rénovation et de déconstruction), lorsqu'il s'agit de calculer des trajectoires ou des budgets d'émissions.

F0.3 Quelles méthodologies existent pour prendre en compte les technologies d'émissions négatives (par exemple, la carbonatation du béton, le biochar) ou les puits de CO₂ (par exemple, le stockage temporaire de carbone biogénique) ?

Les sous-questions spécifiques suivantes ont été analysées et discutées dans le cadre du projet de recherche :

- Quels sont les matériaux NET disponibles et lesquels sont éligibles ?
 - Matériaux de construction minéraux, minéraux-organiques et organiques. Comptabilisation comme puits temporaires ou comme émissions négatives (EN)
- Prise en compte des puits temporaires (matériaux de construction organiques)
 - Le CO₂ biogénique est « neutre pour le climat » (approche « 0/0 » ou « -1+1 » selon EN 15804+A2) sans garantie de stockage permanent.
- Comptabilisation de l'effet des technologies de capture du CO₂ avec un potentiel de stockage à long terme garanti.
 - La contribution NET doit être enregistrée et affichée séparément. Pas de compensation au niveau des matériaux et des éléments de construction. Au niveau du bâtiment, il convient de procéder à un équilibrage à la dernière étape, c'est-à-dire après avoir déclaré séparément les émissions brutes et les émissions négatives, afin d'indiquer si le solde net est nul ou non.
- Dans quelles conditions les EN peuvent-ils être pris en compte ?
 - Ne comptabiliser que pour l'égalisation des émissions liées aux bâtiments (scopes 2 et 3).
 - EN de matériaux de construction, si des certificats attestant de leur effet d'émission négatif sont fournis et ne sont pas vendus à des tiers.
 - Possibilité de prendre en compte le contenu de carbone biogénique des matériaux de construction minéraux-organiques et organiques si une garantie juridiquement contraignante de non-libération (ou de stockage permanent) est donnée.

F0.4 Quelles méthodologies existent pour modéliser a) la réutilisation des composants de construction, b) le recyclage des matériaux de construction en fin de durée de vie du bâtiment, et c) l'injection dans le réseau de l'électricité produite par les installations solaires associées au bâtiment ?

Les méthodes suivantes sont privilégiées pour modéliser la réutilisation des éléments de construction, le recyclage des matériaux de construction en fin de vie du bâtiment et l'injection d'électricité dans le réseau :



- « Effort supplémentaire » pour la réutilisation et le recyclage des matériaux de construction. Les émissions déjà produites par les matériaux et composants utilisés précédemment ne doivent pas être prises en compte (que ce soit au niveau de l'exploitation ou de la construction), mais uniquement les émissions futures liées au recyclage ou à la préparation des composants réutilisés (plus l'élimination en fin de vie).
- « Partager l'investissement » pour l'injection dans le réseau d'électricité produite par des installations solaires liées à des bâtiments. Les émissions de production sont partagées entre le bâtiment sur lequel le système est installé et les acheteurs de l'électricité photovoltaïque injectée ou vendue. Déterminer la part d'autoconsommation (ou taux de couverture) et comptabiliser la part d'autoconsommation des émissions GES de fabrication et élimination du système-PV. L'électricité injectée dans le réseau porte les caractéristiques environnementales de l'électricité photovoltaïque ; pas de déduction en phase d'exploitation.

F0.5 Quel rôle jouent les mesures selon F0.4 en ce qui concerne le développement des trajectoires de réduction et l'objectif de zéro émission nette dans le domaine du bâtiment ?

Lorsque des matériaux et des composants issus de la réutilisation ou du recyclage sont utilisés, on peut s'attendre à ce que les émissions de la construction soient inférieures à celles d'une nouvelle construction. Cette meilleure efficacité énergétique et en termes d'émissions peut être prise en compte de manière méthodique lors de la définition de la trajectoire de réduction pour la construction, mais cela peut entraîner une augmentation des émissions lors de l'exploitation.

L'injection en électricité des installations photovoltaïques des bâtiments a tout au plus un impact indirect sur la trajectoire de réduction de l'ensemble du domaine du bâtiment. En effet, de telles injections remplacent aujourd'hui et dans les prochaines années les émissions dans le système énergétique (européen) et permettent ainsi, entre autres, une production de matériaux de construction plus respectueuse du climat.

Sur le parc immobilier en tant que système global, l'injection de bâtiments avec une surcapacité permet d'alimenter d'autres bâtiments avec un faible potentiel photovoltaïque, par exemple en raison de restrictions liées à la protection des monuments historiques.

- Du point de vue du bâtiment, l'injection d'électricité dans le réseau est une activité (économique) qui génère des émissions de scope 3 (émissions liées à la production et élimination de l'installation photovoltaïque). Cette activité peut éventuellement être exclue du périmètre du système du bâtiment (dans ce cas, la demande totale d'électricité doit être évaluée avec l'achat du réseau et les émissions correspondantes). Un « crédit » au sens d'émissions négatives n'est pas possible.
- Du point de vue du système global, les émissions de production des systèmes photovoltaïques dans les bâtiments représentent en partie des émissions nationales du secteur industriel, en partie des émissions grises « importées » (par ex. pour les modules photovoltaïques importés).

F0.6 Quelles conditions-cadres doivent être définies pour la méthodologie de calcul de l'exploitation des bâtiments (par exemple, comptabilisation de l'électricité réinjectée dans le réseau, période de bilan pour l'électricité, prise en compte des contrats de fourniture et des certificats) ?

Une fois l'analyse et la discussion effectuées, les conditions générales suivantes ont été définies pour la méthodologie de calcul de l'exploitation :

- F0.6.A Modélisation du mix électrique suisse : Situation actuelle, modèle de bilan
 - Mix de consommation = production nationale moins exportations plus importations. Correspond au modèle pour les écobilans des bâtiments selon la recommandation 2009/1 de la KBOB.
- F0.6.B Modélisation du mix électrique suisse, résolution temporelle



- o Agréger les valeurs horaires en bilans annuels. Correspond à la procédure des bilans écologiques des bâtiments selon la recommandation 2009/1 de la KBOB.
- F0.6.C Modélisation du mix électrique suisse, pondération du profil de la demande
 - o Pas de pondération pour la phase de planification. Correspond à la procédure du cas d'application 1 selon le point 4.1.1. de la norme SIA 380:2022.
- F0.6.D Modélisation du mix électrique suisse, prise en compte de l'évolution future
 - o Considération statique : situation actuelle du mix électrique et des centrales pour toute la phase d'exploitation, idem pour toutes les autres sources d'énergie. Correspond à la procédure des écobilans de bâtiments selon la recommandation 2009/1 de la KBOB.

En ce qui concerne les questions méthodologiques et les approches qui nécessiteront une étude plus approfondie à l'issue de ce projet, il convient de noter ce qui suit :

- F0.6.A et F0.6.C : Des travaux de base et de recherche supplémentaires sont nécessaires pour émettre une recommandation contraignante pour un (ou plusieurs) modèle(s) de bilan électrique (BM), car les incertitudes restent importantes pour les trois modèles de bilan, malgré des recherches approfondies. Il est recommandé d'effectuer les travaux correspondants après l'achèvement du projet. Dans un souci de continuité avec l'approche actuelle, ce projet part du principe que le mix de consommation CH utilisé aujourd'hui sera maintenu jusqu'à nouvel ordre.
- F0.6.B : selon l'équipe de projet et d'après les retours du groupe d'accompagnement, il existe des indications selon lesquelles l'agrégation sur des valeurs mensuelles plutôt qu'annuelles correspond mieux à la réalité des émissions.
- F0.6.D : La question de l'évolution future ne se pose pas seulement pour l'électricité, mais aussi, par analogie, pour le mix de chauffage urbain. Il est recommandé d'adopter la même approche, c'est-à-dire de prendre en compte les stratégies de décarbonisation des entreprises énergétiques locales.

Conclusion et recommandations de F0

F0 aborde de manière exhaustive les défis méthodologiques liés à la définition de net-zéro émissions de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment. Les résultats fournissent un cadre solide pour comprendre les émissions de l'ensemble du cycle de vie des bâtiments. L'élaboration des deux définitions « bâtiment net-zéro » et « bâtiment net-zéro ready » est une étape importante. L'introduction du stockage temporaire pour égaliser les émissions résiduelles des bâtiments « net-zéro ready » est une solution viable jusqu'à ce que des possibilités de stockage permanent soient disponibles.



F1 Considérations Top-down

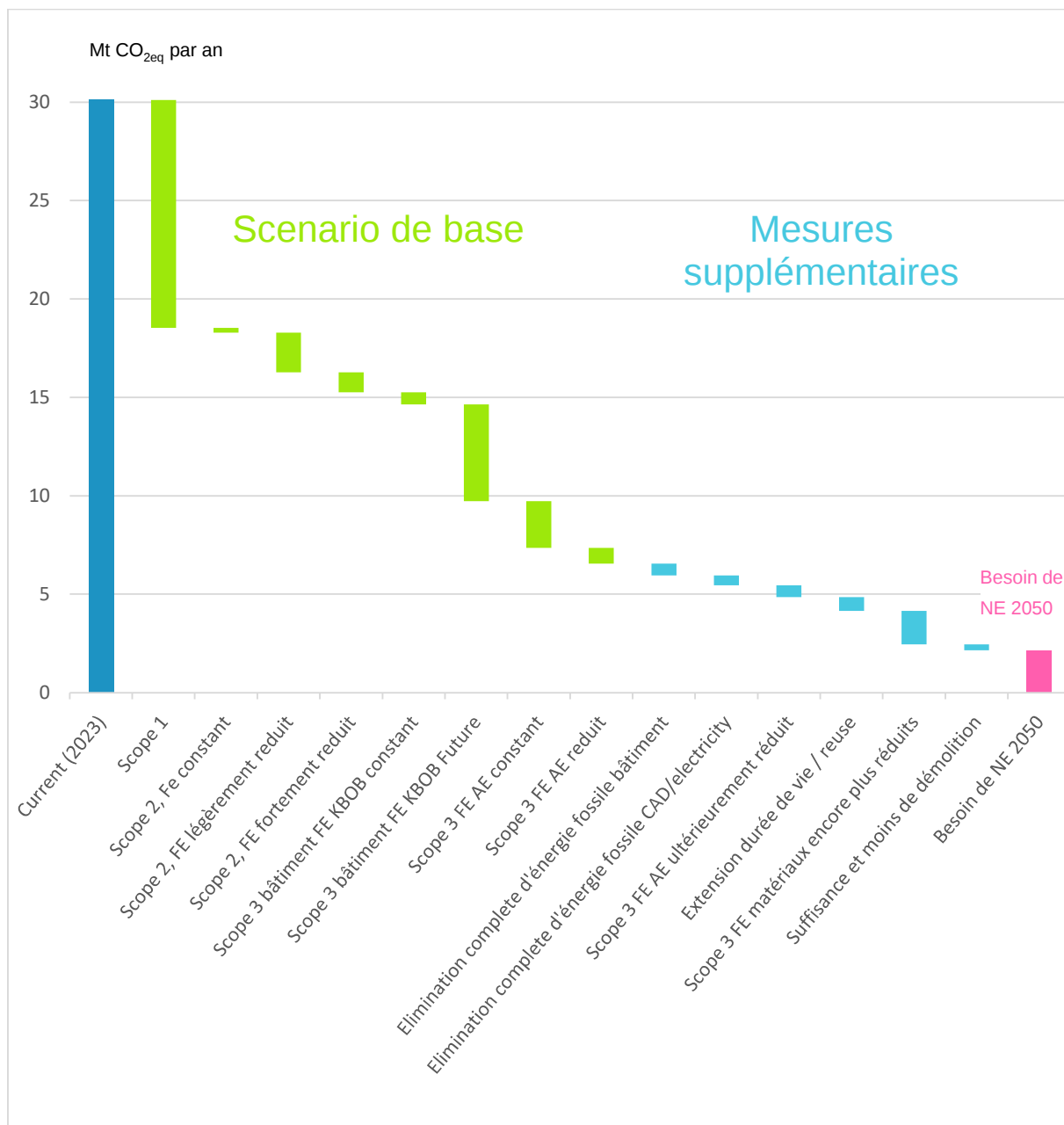


Figure 2 : Émissions GES en 2023 (Mt CO₂-eq par an), réduction par levier jusqu'en 2050 pour le scénario de base et les mesures supplémentaires, ainsi que besoin en émissions négatives (EN) en 2050. Source : TEP Energy, 2024.

Questions de recherche et constatations

Dans le sous-projet F1, le domaine du bâtiment est considéré sur l'ensemble de son cycle de vie, y compris les émissions GES en amont et en aval (scope 3) (approche « Whole Life Carbon » WLC). Il se distingue donc fondamentalement de la période et du périmètre d'analyse du secteur du bâtiment selon la loi sur le CO₂ ou la loi sur le climat et l'innovation (LCI). Seuls les émissions GES directes y sont prises en compte, à l'exception du « rôle d'exemple de la Confédération et des cantons » ; les



émissions GES indirectes sont adressées dans leurs secteurs respectifs, par exemple dans le secteur industriel, sans distinction entre les émissions liées aux bâtiments et les autres émissions.

L'objectif du sous-projet F1 est de montrer comment le budget d'émissions défini pour le secteur du bâtiment peut être respecté, quelles émissions supplémentaires sont attendues pour le domaine du bâtiment en Suisse et à l'étranger et quelles conditions ascendantes sont nécessaires pour atteindre l'objectif. Le rôle des développements technologiques et structurels des secteurs de l'énergie et de l'industrie, des technologies à émissions négatives et des matériaux de construction à base de biomasse est également mis en évidence.

Les considérations top-down reposent d'une part sur des modélisations avec le modèle de parc immobilier pour la période 2023-2050 et d'autre part sur des analyses top-down ciblées des potentiels et des flux de matériaux. Le tableau suivant Tableau 3 décrit le scénario de base défini et les différentes variantes de scénarios et de sensibilités.

Tableau 3 : Définition du scénario de base, des variantes de scénarios et des sensibilités pour les 3 scopes.

Scopes	Scénario de base	Variantes et sensibilités
Tous les	Augmentation de l'efficacité énergétique dans le domaine de l'enveloppe du bâtiment, des installations de chauffage, de la technique du bâtiment et des appareils.	<i>Pas de variantes ni de sensibilités</i>
1	Pratiquement aucune énergie fossile dans le parc immobilier d'ici 2050	<i>Aucune énergie fossile dans le parc immobilier d'ici 2050</i>
2	▪ Réduction de la demande en électricité pour le chauffage électrique/chauffe-eau à un niveau proche de 0, augmentation des PAC ▪ Demande croissante de chauffage urbain ▪ Facteurs d'émission (FE) "fortement" réduits	<i>FE moins ou pas du tout réduit pour montrer l'effet de ce levier</i>
3 Bâtiment	▪ Levier Choix du type de construction ▪ Levier Choix des matériaux ▪ Avec levier KBOB Facteurs et coefficients d'émission 2050 ▪ Sans levier Mesure non technique ▪ Leviers de baisses temporaires et leviers NET présentés séparément	<i>Effet moindre ou inexistant de certains leviers pour mettre en évidence leurs effets.</i> <i>Leviers plus larges ou supplémentaires pour réduire davantage les émissions par rapport au scénario de référence :</i> • Une plus grande part de construction en bois • Réduction supplémentaire des éléments de construction FE • Moins de démolition et de construction de remplacement • Moins de croissance de la SRE • Durées de vie plus longues
3 Sources d'énergie	▪ Demande constante ou en baisse ▪ Facteurs d'émission (FE) fortement réduits	<i>FE moins ou pas du tout réduit pour montrer l'effet de ce levier</i>



En ce qui concerne les différentes questions de recherche, les résultats et les conclusions sont les suivants :

F1.1 Définition de l'objectif : que signifie zéro émission nette en ce qui concerne les émissions GES causées par la construction et l'exploitation du parc immobilier suisse jusqu'en 2050, en incluant les Scopes 1, 2 et 3 ?

Deux approches sont utilisées pour répondre à cette question. D'une part, pour le secteur du bâtiment, en se référant aux conditions-cadres légales (LCI) et, d'autre part, le budget pour le domaine du bâtiment en Suisse est décomposé à partir d'un budget global scientifiquement justifié pour la Suisse (méthode selon la partie F0 du projet).

- Dans la première approche, une trajectoire cible est définie pour le calcul du budget d'émissions GES sur la base de l'objectif de la LCI. Les différentes limites du système sont prises en compte. Pour le secteur du bâtiment, il en résulte une réduction des émissions annuelles de GES de -30 % d'ici 2030, -54 % d'ici 2040 et -93 % d'ici 2050, toujours par rapport à la situation de 2020. Il en résulte pour 2050 une part restante d'émissions difficilement évitables et donc un besoin d'émissions négatives (EN) de 2.0 Mt CO₂-eq. L'objectif de la LCI aboutit à un budget d'émissions pour la période 1990-2050 d'environ 1620 Mt CO₂-eq, dont près de 70 % auront déjà été consommés en 2023. Il reste donc un budget d'environ 510 Mt CO₂-eq
- Dans la seconde approche (perspective globale), le budget dépend des facteurs suivants : objectif visé, certitude de l'atteindre et approche d'allocation, le principe d'antériorité ayant été utilisé ici. Pour un objectif de 1,5°C, 200 Mt CO₂-eq. Pour un objectif de 1,7°C, il s'agit de 420 Mt CO₂-eq. ou moins (dans chaque cas, avec une probabilité d'au moins 67 %).

Si l'on compare les deux approches, le budget résiduel de 510 Mt CO₂-eq. basé sur la LCI est donc un objectif plutôt généreux. Si l'on se réfère au budget global scientifiquement justifié dont dispose la Suisse, une réduction nettement plus rapide des émissions de GES du domaine du bâtiment est nécessaire par rapport à la LCI.

F1.2 Quelles réductions des émissions GES et quelles émissions négatives sont attendues de la phase de construction, et quelles réductions des émissions GES sont attendues de l'exploitation pour atteindre le zéro en émissions nettes dans le domaine du bâtiment dans une perspective de cycle de vie ?

Dans le scénario de base défini, les réductions suivantes sont réalisées entre aujourd'hui (2023) et 2050 :

- Les émissions de scope 1 provenant de la combustion de fioul et de gaz naturel peuvent être réduites à presque zéro.
- Les émissions du scope 2, liées à la production d'électricité et de chauffage urbain, devraient également connaître une forte réduction. Cela s'explique notamment par le fait que la demande en électricité pour les pompes à chaleur et le chauffage urbain augmente et que les facteurs d'émission ne sont pas nuls.
- Pour les émissions de scope 3, la réduction est encore un peu plus faible. Les émissions de scope 3 provenant de la construction, de la rénovation et de la déconstruction des bâtiments diminuent de près de 60 %. Cela s'explique par la réduction de l'activité de construction et par l'utilisation de types de construction, de composants et de matériaux moins polluants. Les émissions de scope 3 liées à la fourniture de sources d'énergie et à l'infrastructure énergétique sont également en baisse.

Entre 2023 et 2050, les émissions des scopes 1 et 2 sont réduites de 93 %, celles du scope 3 de 62 % et celles des trois scopes réunis de 78 %. Malgré ces réductions significatives, les émissions de CO₂ dans le scénario de référence s'élèvent encore à environ 6,5 Mt par an en 2050. Ces émissions proviennent principalement de la construction et de la rénovation (environ 4.1 Mt par an) et en partie de l'exploitation des bâtiments (environ 2.4 Mt par an, dont près de 1.3 Mt pour le scope 3 des sources d'énergie). Il en résulte donc un besoin d'émissions négatives d'environ 6.5 Mt par an pour 2050 dans



le scénario de base. Cela dépasserait largement les quantités de 2 Mt de CO₂-eq. par an dérivées de la LCI. D'autres mesures sont donc importantes pour réduire le besoin d'EN à un niveau atteignable (voir la question F1.4).

F1.3 Quelle est l'ampleur des potentiels et de la disponibilité durable des matériaux de construction (en particulier ceux à base de biomasse) pouvant conduire à des émissions négatives dans le domaine du bâtiment ?

Le potentiel des matériaux de construction sous forme de solutions NET durables pour le bâtiment, comme l'utilisation de béton carbonaté, est loin d'être suffisant pour égaliser les émissions restantes du scénario de base. C'est le cas même si le stockage de charbon végétal est pris en compte. La plus grande contribution aux émissions négatives potentielles (EN) est apportée par les mesures qui, grâce à l'utilisation de matériaux de construction biogènes, génèrent d'abord des puits temporaires qui peuvent être convertis en EN par la suite. Cela est possible si le carbone stocké dans le bois ou d'autres matériaux de construction biosourcés est conservé au-delà de la durée de vie du bâtiment. Ce potentiel d'EN est essentiel pour égaliser les émissions restantes en raison de l'importance des stocks de carbone. Dans la variante de scénario « plus de bois », le besoin pour des EN dérivé de la LCI pour équilibrer pour les émissions résiduelles d'environ 2 Mt CO₂-eq. par an est tout juste atteint (si les puits temporaires sont déjà pris en compte lors de la pose des matériaux et non pas seulement au moment du transfert effectif en EN).

F1.4 Quelles trajectoires de réduction pour 2030/2040/2050, en conformité avec le budget de CO₂ pour le domaine du bâtiment selon F0.1 et différenciées entre émissions de GES et émissions négatives, en résultent, avec une distinction entre le parc immobilier existant et les nouvelles constructions ?

En 2023, les émissions du domaine du bâtiment, qui s'élèvent à environ 30 Mt CO₂-eq. par an, proviennent pour moitié des émissions directes et indirectes (scopes 1 et 2) et pour moitié des émissions en aval (scope 3). Les premières sont principalement émises pendant la phase d'exploitation des bâtiments (directement ou par les centrales de chauffage et de production d'énergie) et les secondes sont émises pendant la construction et l'élimination des matériaux. Il convient également de distinguer les nouvelles constructions des bâtiments existants : en 2023, les émissions liées à la construction s'élèvent à 4,3 Mt CO₂-eq. par an pour les nouvelles constructions et à 5,3 Mt CO₂-eq. par an pour les bâtiments existants. Les trajectoires de réduction suivantes se rattachent aux émissions de 2023 :

- Pour les scopes 1 et 2, la trajectoire de réduction est principalement basée sur le remplacement des énergies fossiles que sont le fioul et le gaz naturel par des pompes à chaleur (PAC) et le chauffage urbain (CHU). Motivé par l'objectif d'une utilisation accrue du bois comme matériau de construction, le bois-énergie utilisé pour le chauffage des bâtiments est également réduit de plus de 30 %. Les émissions de scope 2 sont également réduites par la décarbonisation de la production de chauffage urbain et d'électricité. En ce qui concerne l'électricité, la réduction de la demande, rendue possible par des gains d'efficacité dans le domaine des appareils et des techniques de construction, joue également un rôle.
- Pour les émissions du scope 3, les effets suivants contribuent à la trajectoire de réduction :
 - Une réduction significative de l'activité de construction, due entre autres au ralentissement de la croissance démographique et à la stagnation des besoins en surface par personne. Par conséquent, les émissions annuelles du domaine de la construction neuve sont déjà réduites d'environ 40 % sans mesures supplémentaires. En raison de la part croissante du parc immobilier dont les éléments de construction doivent être remplacés en raison de leur âge, il y a une activité de rénovation accrue. Ceci est lié aux émissions de la construction, et dans ce domaine, le potentiel relatif de réduction par des mesures techniques d'optimisation est moins important que dans le domaine des nouvelles constructions. Il est donc important de prendre des mesures complémentaires pour prolonger la durée de vie, la réparabilité et la réutilisation des éléments de construction.



- o Les mesures prises au niveau des bâtiments, c'est-à-dire le choix de types de construction, d'éléments de construction et de matériaux moins émissifs, sont surtout efficaces dans le domaine des nouvelles constructions (réduction d'environ 20 %).
- o Une réduction des émissions de scope 3 peut être obtenue par la fourniture d'énergie finale et d'énergie secondaire (principalement le chauffage urbain et l'électricité pour les PAC). Tant par la réduction de la demande que par la réduction des émissions spécifiques (par exemple pour les installations photovoltaïques et éoliennes).
- o Les mesures prises par l'industrie, c'est-à-dire la réduction des facteurs d'émission spécifiques des matériaux et des éléments de construction, réduisent les émissions de la construction d'environ deux tiers, sur la base des facteurs d'émission selon « KBOB-Future ».

En tenant compte de ces trajectoires de réduction, la rénovation du parc immobilier représente l'essentiel des émissions de la construction en 2050 (3,3 des 4,1 Mt de CO₂-eq. par an). Il s'agit des émissions dues à la rénovation et au remplacement des matériaux, des éléments du bâtiment et des installations techniques, ainsi que des aménagements intérieurs et extérieurs. L'importance plus grande du parc immobilier par rapport à la construction neuve s'explique par les raisons suivantes : l'activité de construction neuve diminue, le parc immobilier augmente et les potentiels de réduction dans le parc immobilier sont plus faibles (selon la base KBOB Future utilisée).

Avec les leviers techniques identifiés (voir tableau 2) dans la conception, la construction et l'exploitation des bâtiments, ainsi que la réduction des émissions dans le système énergétique et dans la production de matériaux et d'éléments de construction au sens des futurs facteurs d'émission selon « KBOB-Future », le budget de 500 Mt CO₂-eq. dérivé de la LCI pour la période 2023-2050 est certes respecté. Le budget de 200 Mt CO₂-eq. alloué globalement est toutefois nettement dépassé. Dans l'ensemble, l'objectif de réduction prévu pour 2050 est loin d'être atteint dans le scénario de base : en 2050, il reste des émissions GES brutes de l'ordre de 6,5 Mt de CO₂-eq. par an. Si aucune mesure supplémentaire n'était prise, il faudrait un grand nombre de EN à mettre en œuvre. Cela dépasserait largement les montants d'EN dérivés de la LCI pour le domaine du bâtiment, soit 2 Mt CO₂-eq. par an. En plus des mesures considérées, d'autres leviers sont donc nécessaires, qui vont au-delà du scénario de base. Leur effet a été grossièrement quantifié dans une analyse de sensibilité. Les leviers suivants ont été sommairement étudiés :

- Élimination totale des énergies fossiles dans les bâtiments. Effet supplémentaire par rapport au scénario de base : environ 0,6 Mt CO₂-eq. par an.
- Élimination totale des énergies fossiles dans la production des sources d'énergie secondaires que sont le chauffage urbain et l'électricité, par exemple en utilisant des pompes à chaleur, la biomasse, l'hydrogène vert ou d'autres sources d'énergie sans fossile ou produites à partir de sources renouvelables.
Effet supplémentaire par rapport au scénario de base : environ 0,5 Mt CO₂-eq. par an.
- Réduction de moitié des émissions de scope 3 de l'approvisionnement des agents énergétiques (hypothèse analogue à celle des matériaux de construction et des éléments de construction).
Effet supplémentaire par rapport au scénario de base : environ 0,6 Mt CO₂-eq. par an.
- Prolonger la durée de vie et d'utilisation des bâtiments et des composants, par exemple en planifiant soigneusement la rénovation des bâtiments, en séparant les systèmes et en réutilisant les composants lorsque cela est possible, en améliorant la réparabilité des composants, de la technologie et de l'équipement des bâtiments.
Effet supplémentaire par rapport au scénario de base : environ 0,85 Mt CO₂-eq. par an.
- Réduction supplémentaire de 50 % des émissions spécifiques des matériaux de construction et des éléments de construction, c'est-à-dire au-delà des hypothèses de « KBOB-Future ». Effet supplémentaire par rapport au scénario de base : environ 2 Mt CO₂-eq. par an.



- Réduction de la surface (sobriété) et moins de démolitions et de constructions de remplacement.

Effet supplémentaire par rapport au scénario de base : environ 0,3 Mt CO₂-eq. par an.

En tenant compte des effets de superposition, les émissions d'exploitation sont réduites d'environ 1,7 Mt de CO₂-eq. par an et les émissions de construction d'environ 2,7 Mt de CO₂-eq. par an. Les émissions brutes s'élèvent donc à environ 2 Mt CO₂-eq. par an en 2050, au lieu de 6,5 Mt CO₂-eq. par an dans le scénario de base. Ces émissions peuvent être égalisées par des EN dans le domaine du bâtiment. Cela signifie, d'une part, que l'objectif net-zéro dans le domaine du bâtiment est en principe réalisable et, d'autre part, que tous les leviers disponibles doivent être activés.

F1.5 Quantification des impacts des trajectoires de réduction sur l'accumulation ou la diminution du stock de carbone dans le bois incorporé et autres matériaux de construction à base de ressources renouvelables.

Le scénario de base prévoit une augmentation de la part de la construction en bois dans les catégories de bâtiments analysées. L'augmentation ainsi obtenue de la quantité de bois utilisée annuellement entre 2030 et 2050 est d'environ 30 % supérieure à la valeur de départ du scénario de base. Une variante de scénario « part accrue de la construction en bois » a permis d'esquisser une augmentation de l'utilisation du bois de construction (augmentation de 40 % au lieu de 30 %) et une promotion supplémentaire des matériaux d'isolation en paille. Il en résulte, sur l'horizon 2023-2050, une augmentation de 180 % à 195 % de la quantité de bois utilisé par rapport à la quantité de bois prélevée sur le parc immobilier en cas de démolition et de remplacement d'éléments de construction. Sur la période 2023-2050, cela représente une augmentation nette de 3,9 à 5,5 Mt de carbone stocké dans le parc immobilier. Cela correspond à un puits temporaire de 14 à 20 Mt de CO₂-eq. d'ici 2050 ou à une augmentation du puits de 0,5 à 0,7 Mt de CO₂-eq. par an. La condition préalable à la comptabilisation comme EN est, comme décrit ci-dessus dans la section F1.3, une garantie légale et/ou juridiquement contraignante de la permanence, au-delà de la durée de vie des bâtiments. Il est également impératif d'éviter les doubles comptages par des mesures appropriées.

Au niveau d'une vision globale de l'écosystème forêt-parc de bâtiments, une augmentation de l'utilisation du bois de construction ne signifie pas nécessairement une forte augmentation de la récolte de bois suisse ou une surexploitation des forêts. L'augmentation de l'utilisation du bois de construction modélisée dans le scénario de base et dans la variante de scénario « part accrue de la construction en bois », peut être compensée par la diminution de l'utilisation du bois énergie dans les bâtiments individuels. La variation des stocks de carbone due à l'utilisation du bois au niveau de l'écosystème forestier dépend de la consommation totale de bois pour les bâtiments, les meubles et autres applications industrielles. L'exploitation n'entraîne pas de diminution des stocks de bois, mais seulement une augmentation légèrement plus faible des stocks dans les écosystèmes forestiers. A part ça, la réduction de l'utilisation du bois pour maximiser les stocks de carbone dans les écosystèmes forestiers a un intérêt limité compte tenu des risques croissants de dommages dus à la chaleur/sécheresse et de la nécessité d'adapter les espèces d'arbres en conséquence.

F1.6 Quelle est la part territoriale des objectifs d'émissions et des trajectoires de réduction (selon la stratégie climatique à long terme, dans laquelle les émissions négatives sont réservées aux émissions inévitables) dans une perspective de cycle de vie des bâtiments ou du parc immobilier ?

Les émissions GES de la construction sont actuellement de l'ordre de 9 à 11 Mt CO₂-eq. par an. Dans cette étude, les objectifs de réduction de 90 % par rapport à 1990 fixés par la LCI pour le secteur de la construction sont également appliqués à la part territoriale des émissions à l'étranger. Il reste donc du côté de la construction une valeur finale d'émissions difficilement évitables d'environ 2 Mt de CO₂-eq. en 2050, avec des parts territoriales d'environ 1 Mt de CO₂-eq. provenant de la production nationale et de produits importés. Dans le scénario de base avec optimisation des bâtiments et production des matériaux de construction avec des facteurs d'émission selon KBOB-Future, cette valeur est nettement dépassée : avec 4,1 Mt CO₂-eq. , il reste environ deux fois plus d'émissions GES pour la construction. Pour réduire de moitié la valeur finale, il faut prendre d'autres mesures, voir F1.4.



Conclusion et recommandations de F1

Les objectifs d'émissions dérivés de la LCI ne sont pas atteints avec les hypothèses retenues pour le scénario de référence. C'est surtout vers la fin de l'horizon temporel, dans les années 2040-2050, que des écarts importants apparaissent. Les émissions difficilement évitables dans le domaine du bâtiment en 2050 peuvent être estimées à 2 Mt CO₂-eq sur la base des objectifs de la LCI. Même en supposant une réduction des émissions dans la production de matériaux de construction, combinée à une forte baisse de la construction neuve, les émissions résiduelles restent à un niveau de 6,5 Mt CO₂-eq. Des émissions négatives ou des puits temporaires sont, du point de vue actuel, loin d'être suffisants pour combler cette lacune. De plus, il existe des obstacles techniques et réglementaires. Des mesures supplémentaires de réduction des émissions, telles que celles proposées dans ce projet, sont donc nécessaires. Leur contribution à la réduction des émissions devrait être analysée plus en détail par la suite, en mettant l'accent sur la remise en état et la rénovation des bâtiments existants et aux chaînes en amont et en aval.



F2 Considérations Bottom-up

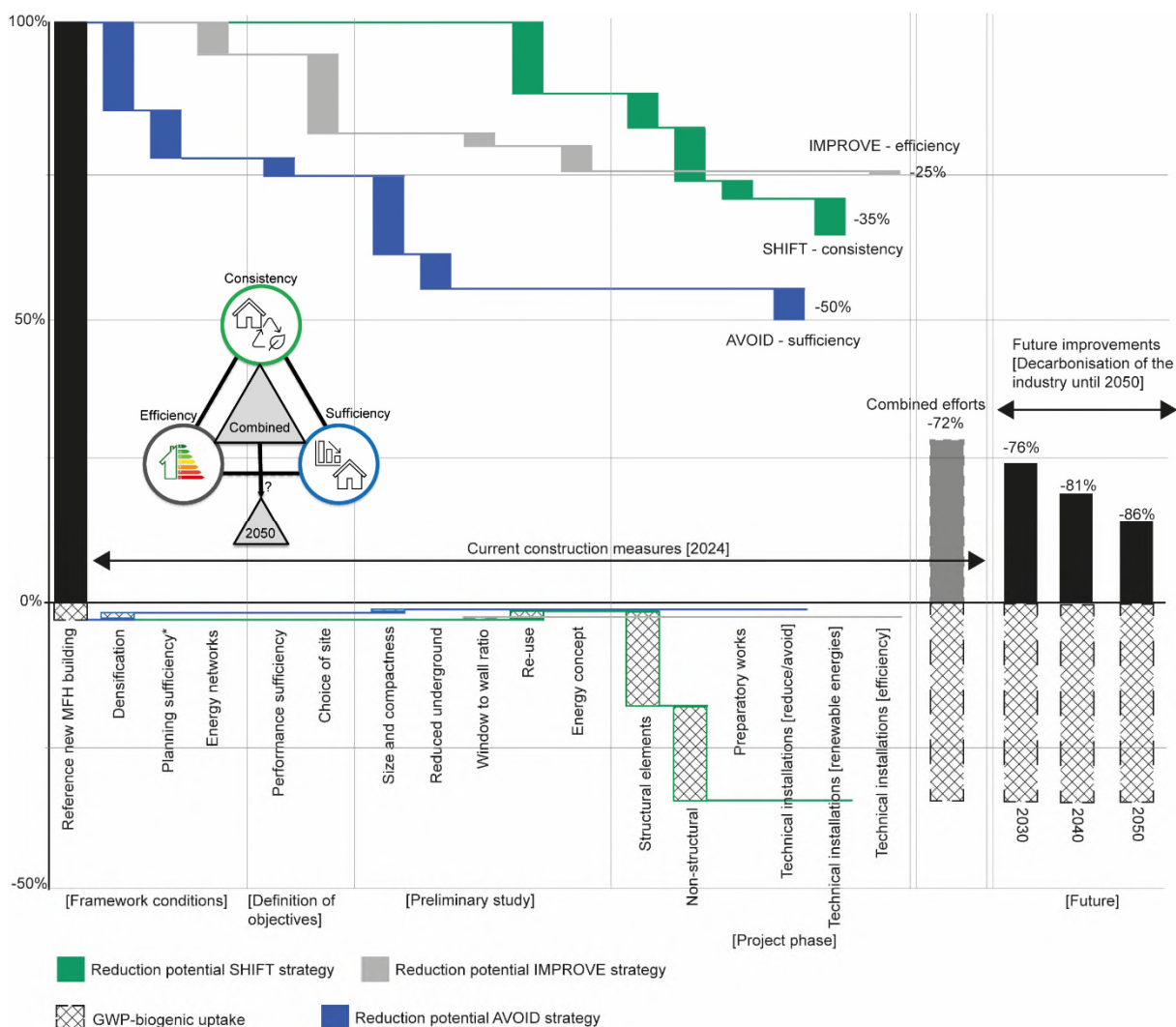


Figure 3 : Potentiel relatif de réduction des émissions de GES et potentiel de stockage de carbone biogénique des mesures et stratégies proposées pour un bâtiment de référence d'habitation collectif (MFH) 100 % représente 20kgCO_{2eq}/m².an. Illustration extraite du rapport F2.

Questions de recherche et constatactions

La question de recherche F2 vise à définir des stratégies d'émissions GES net-zéro, à établir des valeurs de référence et à aider les parties prenantes à mettre en œuvre des pratiques net-zéro émissions GES au niveau des bâtiments. Les objectifs du sous-projet F2 incluent l'identification des mesures de réduction des émissions GES issus de la construction et de l'exploitation au niveau des bâtiments, la formulation de stratégies pour atteindre les émissions NZ-GES d'ici 2050, l'évaluation de ces stratégies d'un point de vue social, économique et technique, et la classification des standards de construction par rapport aux objectifs NZ. Pour répondre aux questions de recherche, une approche systématique comprenant des recherches bibliographiques, des regroupements logiques et des collectes de données est utilisée. Les résultats présentés dans le rapport sont basés sur une approche de cycle de vie. Les mesures sont évaluées en fonction de leur pertinence par rapport aux émissions au niveau du bâtiment et des contraintes liées aux données disponibles et à la mise en œuvre de chaque mesure. Des recommandations sont ensuite formulées pour chaque mesure, offrant un aperçu détaillé



des défis et des opportunités pour la mise en œuvre de pratiques de bâtiment net-zéro. Les mesures sont ensuite évaluées à l'aide d'indicateurs de faisabilité sur les plans économique, social et technique. Enfin, les mesures sont combinées en stratégies en fonction des résultats de l'étude de faisabilité. Parallèlement à l'évaluation des mesures et des stratégies, les standards et les labels des bâtiments disponibles en Suisse sont examinés afin d'identifier les écarts éventuels par rapport aux objectifs net-zéro.

En ce qui concerne les différentes questions de recherche, les résultats et les conclusions sont les suivants :

F2.1 Quelles mesures techniques et non techniques de réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES) liées à la construction et à l'exploitation existent au niveau des bâtiments individuels, avec une distinction entre les nouvelles constructions et le parc immobilier existant (y compris la rénovation) ? Les mesures peuvent concerner le bâtiment lui-même et/ou ses chaînes d'approvisionnement (notamment la fabrication de matériaux de construction).

Les mesures suivantes sont discutées en fonction de leur potentiel global de réduction des émissions de GES, en tenant compte des limites des projets individuels et des conditions contextuelles.

Pour les nouvelles constructions :

- Mesures techniques : L'utilisation de matériaux à faible émissions carbone, y compris les matériaux biogènes (par exemple le bois et la paille), peut réduire considérablement les émissions grises. De plus, une construction compacte et l'absence de constructions souterraines (par ex. sous-sols, garages) réduisent les besoins en matériaux et de conséquence les émissions. D'autres mesures comprennent l'amélioration de l'efficacité énergétique, l'utilisation de sources d'énergie renouvelables et l'optimisation de la structure porteuse.
- Mesures non techniques : Encourager la densification plutôt que la construction de nouveaux bâtiments, promouvoir les mesures de sobriété (par exemple, une surface plus petite par habitant) et mettre l'accent sur la durabilité et la flexibilité des matériaux et des bâtiments sont essentiels pour minimiser les émissions.

Pour les bâtiments existants (rénovations) :

- Mesures techniques : La rénovation des bâtiments existants plutôt que la construction de nouveaux bâtiments offre un potentiel considérable pour minimiser les émissions dans le domaine du bâtiment. La mise à niveau des bâtiments avec des technologies efficaces sur le plan énergétique, ainsi que l'utilisation de matériaux et d'installations à faible émissions carbone et réutilisés, contribue également de manière significative à la réduction des émissions.
- Mesures non techniques : L'allongement de la durée de vie des bâtiments et la réduction de l'ampleur des rénovations peuvent également contribuer à réduire les émissions.

F2.2 Quelles stratégies (combinaison de mesures) sont appropriées pour atteindre le net-zéro émission d'ici 2050 au niveau du bâtiment individuel ?

Les mesures identifiées dans la section F2.1 peuvent être regroupées dans les trois stratégies suivantes:

- ÉVITER / AVOID : Cette stratégie se concentre sur des mesures de sobriété, telles que la réduction de la surface habitable par personne, l'évitement de nouvelles constructions et la réduction de la consommation d'énergie des bâtiments. Cette stratégie pourrait réduire les émissions de GES jusqu'à 50 % dans le cas d'une construction neuve d'un immeuble collectif de référence, mais elle se heurte à des défis en termes d'acceptation et de faisabilité économique.
- COHERENCE / SHIFT : Cette stratégie vise à remplacer les matériaux et systèmes conventionnels par des matériaux à faibles émissions et/ou réutiliser et l'utilisation d'énergies



renouvelables. Cette stratégie est très bien acceptée par la société et apporte des avantages environnementaux supplémentaires, mais présente des défis techniques et de coûts.

- **AMÉLIORER / IMPROVE** : Cette stratégie se concentre sur l'amélioration de l'efficacité des pratiques existantes, telles que l'amélioration de l'efficacité énergétique des bâtiments, l'optimisation des réseaux énergétiques et l'augmentation de l'efficacité des systèmes. L'efficacité de cette stratégie dépend fortement des réformes des infrastructures et des politiques, comme le développement des infrastructures d'énergie renouvelable.

F2.3 Comment ces stratégies sont-elles évaluées d'un point de vue technique et économique ?

Pour toutes les stratégies, il existe des obstacles liés aux conditions générales d'un projet, en particulier les coûts d'extension des réseaux d'énergie et de décarbonisation de l'industrie, l'acceptation publique des mesures de sobriété et la difficulté technique de la décarbonisation de l'industrie. Les indicateurs techniques indiquent que les mesures peuvent être rapidement et facilement mises à l'échelle dans les premières phases de planification (par exemple, compacité, rapport fenêtre/mur, éviter les sous-sols). Les mesures possibles pour la phase de projet, telles que le choix et le dimensionnement des éléments de construction et des installations techniques, sont techniquement réalisables, mais présentent une complexité de mise en œuvre moyenne à faible et sont souvent associées à des coûts plus élevés. Dans l'ensemble, l'évaluation de la faisabilité montre que la plupart des mesures sont prêtes à être mises en œuvre. Cependant, les mesures prises à un stade précoce de la planification présentent généralement des conditions plus favorables. Alors que les mesures au niveau des conditions générales rencontrent plus d'obstacles pour tous les indicateurs étudiés (économiques, sociaux, techniques).

F2.4 Comment les différents standards et labels de bâtiment (MoPEC 2014, CECB, Minergie-(P/A)-ECO, SNBS, ainsi que la voie SIA vers l'efficacité énergétique) se positionnent-ils par rapport à l'objectif de zéro émission nette, et quelles différences méthodologiques présentent-ils ?

Les normes de construction et les standards techniques SIA 2032, 2040 et FprSIA 390/1:2024 sont cohérentes entre elles en ce qui concerne le champ d'application, les indicateurs et les données utilisées, ainsi que les valeurs limites pour les émissions GES. Elles permettent toutes d'évaluer un bâtiment sur la base d'une approche de cycle de vie complet, avec des limites et des objectifs à respecter en termes d'émissions GES.

Les autres standards et labels de bâtiments analysés ne suivent pas une approche de cycle de vie complète et leurs exigences diffèrent. Cela peut s'expliquer par le champ d'application du label ou du standard de bâtiment en question. Par exemple, le CECB n'est actuellement pas conçu pour refléter une analyse complète du cycle de vie (ACV), mais plutôt pour informer le propriétaire du bâtiment sur la performance énergétique du bâtiment et les émissions GES associés. Pour une meilleure comparabilité, une harmonisation entre les standards/normes des bâtiments basés sur l'ACV (standards SIA) et les labels (par exemple Minergie) devrait être réalisée en ce qui concerne les règles spécifiques telles que l'attribution de l'électricité photovoltaïque entre le bâtiment et le réseau.

Au niveau des mesures, les labels exigent ou encouragent des mesures pratiques – de la planification urbaine et de la définition des objectifs à la sélection des fournisseurs lors des appels d'offres. Certaines mesures mentionnées dans les normes SIA et les bulletins techniques, bien qu'indirectement nécessaires pour répondre aux exigences, ne sont pas explicitement encouragées par les labels. Il s'agit notamment de l'optimisation de la taille et de la compacité des bâtiments, de la minimisation des constructions en sous-sol, de l'assurance d'un rapport optimal entre la surface des fenêtres et celle des murs et de la mise en œuvre d'une structure porteuse simple avec des portées adaptées (c'est-à-dire un dimensionnement optimal de la structure). Les mesures de stockage du carbone ou NET ne sont pas encouragées.

F2.5 Dans quelle mesure les valeurs limites et les valeurs cibles de ces standards répondent-elles à l'objectif de zéro émission nette pour chaque bâtiment individuel ?

Seule la FprSIA 390/1:2024 présente une trajectoire de réduction compatible avec un l'objectif net-zéro pour 2050, mais uniquement avec une annexe informative. Les labels existants, en particulier ceux qui sont plus orientés vers l'environnement comme Minergie-ECO et SNBS, pourraient s'orienter davantage



vers des objectifs net-zéro en adoptant dans les années à venir des limites uniformes d'émissions GES sur la base du cycle de vie, basées sur le budget carbone national pour les bâtiments. Dans le cas du SNBS, l'approche plus large de la durabilité réduit la pertinence des mesures compatibles avec un bilan net-zéro. Afin de rendre le label compatible avec les objectifs de net-zéro, les règles de certification devraient être plus strictes à cet égard. L'intégration de critères encourageant explicitement les mesures manquantes (taille et compacité, minimisation des sous-sols, rapport fenêtre/mur optimal et structures porteuses simples) pourrait sensibiliser les praticiens à ces leviers clés de réduction des émissions et faciliter ainsi la construction/rénovation de bâtiments à faible émission de carbone et, à terme, l'atteinte des objectifs net-zéro. Dans l'ensemble, la combinaison de l'absence d'exigences en matière de réduction des émissions de GES lors de la construction et de l'exploitation et de l'absence de mesures de stockage du carbone ou de NET montre que les labels étudiés ne sont pas encore tout à fait en phase avec les objectifs net-zéro.

F2.6 Quantification à l'aide d'exemples concrets pour différentes catégories de bâtiments.

L'identification et l'évaluation des mesures de réduction des émissions de GES au niveau des bâtiments ont mis en évidence la grande diversité des possibilités de réduction dont disposent les acteurs du domaine de la construction et de la rénovation. Les travaux de construction sont toujours étroitement liés aux conditions spécifiques du site, au cadre réglementaire, aux préférences des propriétaires et des occupants, à la typologie des bâtiments et aux conditions contextuelles. Ces facteurs constituent toujours des limites au plein potentiel des mesures identifiées. Néanmoins, chaque mesure offre des approches de réduction des émissions qui peuvent être mises en œuvre malgré les contraintes spécifiques à chaque cas. Il est essentiel de donner la priorité à ces approches pour tous les acteurs de la conception des bâtiments et de la mise en place des conditions générales correspondantes.

Le potentiel de réduction moyen d'une mesure individuelle est d'environ 15 %, mais aucune mesure individuelle ne permet de réduire les émissions de plus de 30 %. L'exception à cette règle est la rénovation plutôt que la construction, qui permet d'éviter complètement l'impact d'une nouvelle construction et donc d'éliminer ses émissions. Cependant, cela déplace la charge des émissions vers la rénovation du parc existant, dont les émissions sont en moyenne inférieures à celles d'une nouvelle construction, mais pas nulles. La décarbonisation continue de l'industrie d'ici 2050 présente le potentiel le plus élevé en tant que mesure unique, bien qu'elle soit associée à des incertitudes et des défis méthodologiques considérables. La taille et la compacité des bâtiments présentent un potentiel élevé en tant que mesure unique, avec une réduction de près de 20 % par rapport au cas de référence.

Dans l'ensemble, la stratégie ÉVITER peut potentiellement réduire les émissions GES d'un immeuble collectif de référence de 50 % et d'une maison individuelle de référence de 27 %. La deuxième stratégie est basée sur le principe de cohérence (SHIFT) et combine des mesures qui prévoient l'utilisation systématique d'options à faibles émissions de carbone et sans combustibles fossiles, telles que les matériaux biosourcés et une part plus importante d'énergies renouvelables. Cette stratégie atteint une réduction de 35 % des émissions GES pour les deux cas de référence et augmente potentiellement le stockage de carbone biogénique jusqu'à 32 % des émissions GES initiales de la maison multifamiliale de référence et 50 % de la maison individuelle de référence. La troisième stratégie se concentre sur les principes d'efficacité ou l'approche « IMPROVE », en combinant des mesures qui améliorent les pratiques existantes et augmentent l'efficacité des systèmes mis en place. Cette stratégie permet d'atteindre une réduction des émissions GES de 25 % pour un immeuble collectif de référence et de 12 % pour une maison individuelle de référence avec les technologies actuelles (sans décarbonisation future de l'industrie).

Si toutes les mesures sont combinées, une réduction de 72 % des émissions GES peut être obtenue pour un immeuble collectif de référence et de 50 % pour une maison individuelle, le stockage de carbone biogénique atteignant le niveau d'émission si l'on tient compte d'un stockage permanent avec des accords juridiquement contraignants. Le même bâtiment de référence avec mesures combinées qui serait construit en 2050 (en supposant une réduction des émissions dans les chaînes d'approvisionnement) pourrait réduire ses émissions de 50 % supplémentaires.



Conclusion et recommandations de F2

Les résultats du rapport F2 (approche bottom-up) montrent qu'une combinaison de mesures techniques et non techniques est essentielle pour atteindre les objectifs net-zéro. L'une des principales conclusions est qu'aucune mesure individuelle ni stratégie unithéorique ne suffit pour atteindre le net-zéro au niveau des bâtiments ; il faut plutôt adopter une approche globale qui tienne compte à la fois des émissions grises et des émissions opérationnelles.

Pour les nouveaux bâtiments, l'utilisation de matériaux à faible émission de carbone tels que les alternatives biogéniques, l'optimisation de la conception des structures porteuses et la réduction de la taille des bâtiments et des sous-sols sont essentielles. Pour les bâtiments existants, les rénovations combinées à l'efficacité énergétique, au développement des énergies renouvelables et à la réutilisation des matériaux de construction peuvent réduire considérablement les émissions GES.

Les stratégies les plus efficaces comprennent l'approche « ÉVITER », qui met l'accent sur les mesures de sobriété, et l'approche « SHIFT », qui met l'accent sur l'utilisation de matériaux et de sources d'énergie renouvelables. Une combinaison de stratégies, comme celle appliquée à un immeuble de référence dans ce projet, a montré une réduction possible de 72 % des émissions GES du cycle de vie. Il en résulte un impact d'émissions GES sur le cycle de vie de 5,4 kg CO₂-eq. /m² par an et une quantité équivalente ou supérieure de stockage de carbone biogénique temporaire.



F3 Aperçu des voies de mise en œuvre possibles

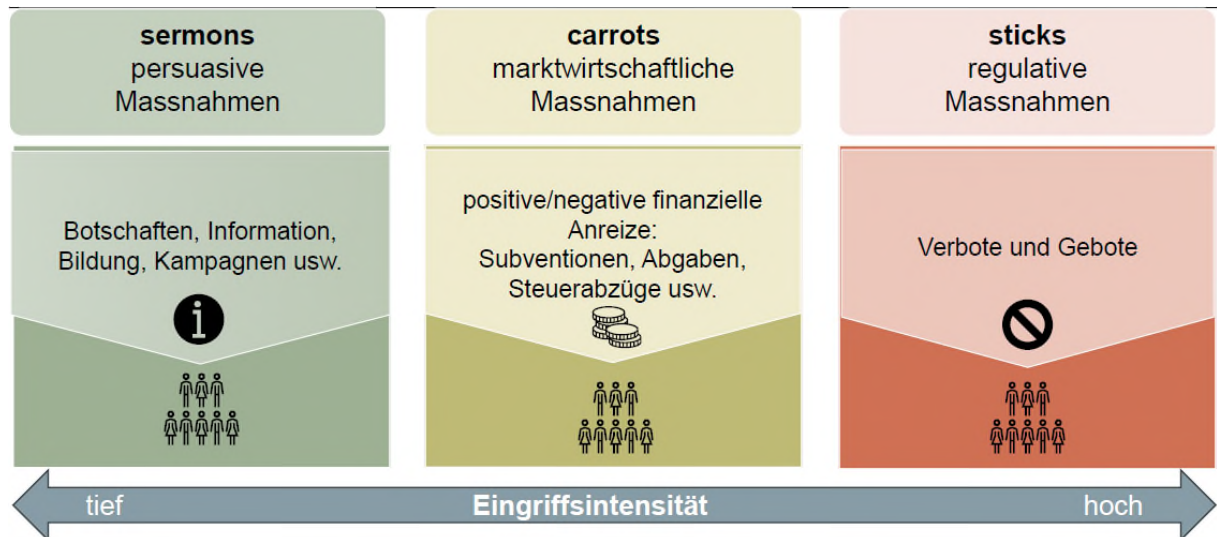


Figure 4 : Instruments politiques. Représentation de Interface, basée sur Verdung 2010 ; Sager et al. 2017.

Questions de recherche et constatations

Le sous-projet F3 a deux objectifs principaux : (1) établir une vue d'ensemble des conditions-cadres et des instruments politiques existants pour la stratégie « net-zéro émission de gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment » et (2) montrer le développement de mesures politiques basées sur les trois stratégies du sous-projet F2 (éviter, changer, améliorer). Les opportunités et les risques de ces mesures sont analysés qualitativement dans une perspective de science politique et des recommandations sont formulées pour l'élaboration future des politiques. L'analyse se base sur la littérature existante, les connaissances de l'équipe de projet et les retours du groupe d'accompagnement. Il est important de noter qu'il s'agit d'une étude qualitative qui dresse un état des lieux des mesures politiques existantes et contient des pistes de réflexion pour d'éventuelles nouvelles réglementations publiques. Les recommandations ont un caractère prospectif, car l'environnement réglementaire évolue de manière dynamique.

En ce qui concerne les différentes questions de recherche, les résultats et les conclusions sont les suivants :

F3.1 Quelles sont les conditions-cadres politiques actuelles (état des lieux) ?

L'état des lieux montre qu'il existe déjà un large éventail de mesures, mises en œuvre par différents acteurs d'exécution (Confédération et cantons, parfois aussi communes). Du point de vue du bâtiment, il s'agit d'une politique transversale, ancrée en premier lieu dans la politique énergétique, la politique climatique et de durabilité ainsi que la politique environnementale. La compétence (l'autorité) pour la conception et l'exécution des mesures et instruments centraux dans le domaine des émissions GES relève aussi bien de la Confédération que des cantons ou des communes. En outre, de nombreux aspects de la construction de bâtiments et de l'utilisation de logements relèvent en principe du secteur privé. Les pouvoirs publics n'influencent donc actuellement qu'une partie des conditions-cadres pertinentes pour les émissions NZ-GES dans le domaine du bâtiment.

F3.2 Quelles mesures politiques (réglementations, incitations) pourraient être utilisées de manière générale pour atteindre l'objectif défini à la question 1.1 ?

Plusieurs mesures politiques pourraient être utilisées pour atteindre les émissions NZ-GES dans le domaine du bâtiment. Il s'agit notamment de mesures réglementaires telles que des prescriptions contraignantes pour la réduction des émissions et des valeurs limites pour les émissions de CO₂ des



bâtiments. Des mesures incitatives pourraient être des programmes de soutien financier pour la rénovation énergétique des bâtiments et l'utilisation d'énergies renouvelables, comme déjà mis en œuvre dans le Programme Bâtiments ou envisagé dans la LCI (programme d'impulsion). Les mesures persuasives telles que les campagnes d'information, le développement des connaissances ou la poursuite du développement de standards et de labels pour les bâtiments afin de promouvoir les matériaux de construction durables jouent également un rôle important. Enfin, le renforcement de l'économie circulaire dans le domaine de la construction peut contribuer de manière significative à la réduction des émissions du scope 3.

F3.3 Quelles mesures politiques existantes sont insuffisantes dans une perspective de cycle de vie, c'est-à-dire en prenant en compte les Scopes 1, 2 et 3 ?

Les mesures politiques et les conditions cadres actuelles visent principalement les émissions directes dans l'exploitation (scope 1) et les émissions indirectes provenant de l'achat d'électricité, de chauffage ou de refroidissement urbain ou local (scope 2). Les émissions indirectes du scope 3, c'est-à-dire de la production de matériaux de construction et d'éléments de construction et de leur installation (en amont) ainsi que de la déconstruction, du traitement des déchets et de l'élimination (en aval) ne sont directement abordées que dans les critères d'attribution des marchés publics. La législation relative au secteur de la construction et des déchets ne contient actuellement aucune mesure visant à réduire les émissions de scope 3 pour le domaine du bâtiment. Dans l'optique d'atteindre les émissions NZ-GES, il existe donc des lacunes, notamment dans le domaine de l'économie circulaire. La révision (en cours) de la législation environnementale peut constituer une base matérielle importante pour combler cette lacune réglementaire. Ensuite, les cantons seront appelés à inclure des valeurs limites pour les émissions grises dans le cadre de leurs lois sur l'énergie.

F3.4 Comment évaluer les stratégies de la question 2.2 en termes de chances de mise en œuvre et de risques pour les périodes 2030/2040/2050 ?

En ce qui concerne la mise en œuvre des trois stratégies pour les émissions NZ-GES dans le domaine du bâtiment, on peut dire que les subventions (incitations) pour le changement des systèmes de chauffage à combustible fossile et pour les rénovations énergétiques sont déjà établies. De nouvelles mesures contraignantes (obligations/interdictions), telles que des valeurs limites pour l'énergie grise/émissions grises, un durcissement de la pratique des permis de construire ou des obligations d'assainissement lors de changements de propriétaire, peuvent responsabiliser davantage les acteurs privés. Cependant, de telles mesures sont politiquement très controversées en raison de l'intensité de l'intervention dans le comportement individuel et dans le marché. Les mesures politiques potentiellement efficaces pour atteindre les émissions NZ-GES dans le domaine du bâtiment sont : a) les directives visant à promouvoir l'économie circulaire et l'utilisation de matériaux à faible émissions carbone tels que le bois, b) le développement des incitations financières pour la rénovation énergétique des bâtiments, c) des règles de construction plus strictes pour réduire les émissions dans les nouvelles constructions et d) la promotion de la sobriété dans la construction de logements et la consommation de surface habitable par habitant. L'introduction de mesures politiques appropriées est un défi pour des raisons sociales et politiques. Il est donc important pour le développement et la mise en œuvre de « nouvelles » mesures politiques évolutives que les acteurs impliqués échangent en permanence et que les connaissances soient transférées entre les niveaux gouvernementaux, le secteur privé et la communauté scientifique.

Conclusion et recommandations de F3

Le projet offre un aperçu des mesures politiques possibles pour atteindre le net-zéro dans le domaine du bâtiment. La principale conclusion est qu'une approche à plusieurs niveaux de réglementation, d'incitation et de développement des connaissances est nécessaire pour atteindre des émissions de gaz à effet de serre net-zéro. Alors que les politiques actuelles s'adressent aux émissions directes (scope 1) et aux émissions liées à l'énergie (scope 2), il existe une lacune importante dans la prise en compte des émissions du cycle de vie tout au long de la chaîne d'approvisionnement (scope 3). Un renforcement de la réglementation, notamment dans le domaine de l'économie circulaire, présente un



potentiel, avec en premier lieu des exigences légales pour les émissions de GES des bâtiments. Ainsi, les cantons sont également appelés à inclure des valeurs limites pour les émissions grises de GES dans le cadre de leurs lois sur l'énergie. Parallèlement, la construction à faibles émissions devrait également être encouragée du côté des déchets.

De manière générale, la coopération et l'échange de connaissances entre les niveaux gouvernementaux et les experts sont des facteurs décisifs pour le développement de nouveaux instruments et mesures politiques. Enfin, il est impératif d'analyser de manière approfondie les effets d'une intervention accrue de l'État sur l'activité de construction et les pratiques d'autorisation futures. Il convient également de déterminer qui peut et doit contribuer aux émissions NZ-GES dans le domaine du bâtiment.



F4 Bases pour la définition des valeurs limites et cibles

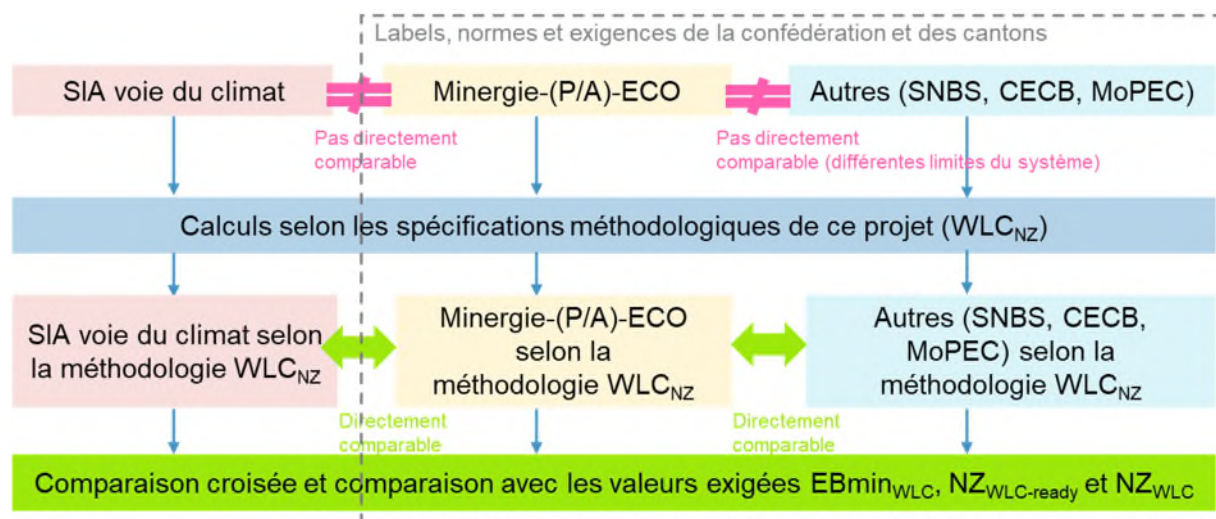


Figure 5 : Établissement de la comparabilité entre différents standards et labels en les transposant sur une base commune, la méthodologie WLC_{NZ}. Source : TEP Energy.

Questions de recherche et constatations

F4 examine les similitudes et les différences dans les définitions, les méthodes de calcul, les bases de données et les hypothèses pour les bâtiments net-zéro dans les standards et labels des bâtiments.

En ce qui concerne les différentes questions de recherche, les résultats et les conclusions sont les suivants :

F4.1 Où existe-t-il des définitions et des hypothèses uniformes, et où subsistent des divergences ? Comment peut-on traiter les différents systèmes d'évaluation de l'énergie livrée ?

Tant la trajectoire climatique SIA (FprSIA 390/1 : projet de norme SIA 390/1, état février 2024) que Minergie-(P/A)-ECO, incluent un bilan d'émissions complet sur le cycle de vie d'un bâtiment. Il existe certaines différences dans les approches méthodologiques et les valeurs requises. D'autres standards et labels pour les bâtiments, tels que le SNBS, se réfèrent à l'approche climatique SIA ou à Minergie-ECO ou à l'inverse, en fournissent les bases. Il convient de mentionner à cet égard le CECB, qui définit le calcul des émissions de la phase d'exploitation, mais ne couvre pas la phase de construction.

Les principaux points communs entre la trajectoire climatique SIA (FprSIA 390/1) et Minergie-(P/A)-ECO sont les suivants :

- Utilisation de définitions, d'hypothèses et de routines de calcul de base, en particulier parce qu'elles se réfèrent en partie les unes aux autres ou à des bases communes (par ex. SIA 380, SIA 380/1, SIA 2032, données d'écobilan KBOB).
- Tant Minergie-ECO que la voie climatique SIA reconnaît que ni l'efficacité énergétique utile, ni l'efficacité énergétique finale, ni l'efficacité énergétique primaire ne sont de bons indicateurs pour des émissions GES faibles ou nuls.
- Comme Minergie a intégré les émissions GES grises dans son label depuis 2023 et qu'il indique les émissions d'exploitation à titre informatif selon la méthodologie CECB, Minergie-ECO et la voie climatique SIA couvrent les domaines pertinents pour le net-zéro. Il existe toutefois des différences méthodologiques.



- Tant Minergie-(P/A)-ECO que la voie climatique SIA ne reconnaît que les mesures qui ont un lien avec le bâtiment. Les approches indépendantes, telles que les certificats pour l'électricité verte ou les émissions négatives, ne sont en principe pas reconnues (à l'exception de la voie climatique SIA, qui reconnaît l'électricité produite par de nouvelles installations écologiques afin d'inciter à la mise en place de grandes installations photovoltaïques).

Les différences méthodologiques suivantes existent entre Minergie-(P/A)-ECO et la trajectoire climatique SIA (FprSIA 390/1) :

- Bilan de l'électricité produite par les installations photovoltaïques et des émissions associées au prorata lors de la construction : dans le cadre de Minergie, la part d'autoconsommation de l'installation photovoltaïque dans le bâtiment est déterminée sur une base horaire. De plus, 40 % des émissions de construction qui seraient dues à l'électricité injectée dans le réseau électrique au prorata sont attribuées au bâtiment. Ce mode de calcul n'est pas conforme à la WLC. Dans le cas de la voie climatique SIA, la part d'autoconsommation est déterminée sur une base horaire, conformément à la méthode WLC, si les garanties d'origine (GO) sont fournies à des tiers. Afin d'encourager les grandes installations photovoltaïques, la part d'autoconsommation peut être déterminée sur une base annuelle dans le cadre de la voie climatique SIA (dans ce cas, les garanties d'origine ne sont pas vendues). Il en résulte des différences entre Minergie-ECO et la voie climatique SIA en termes d'émissions GES grises à prendre en compte pour la même taille d'installation dans la même situation. Ces différences sont importantes en soi pour l'évaluation des installations photovoltaïques, mais n'ont que peu d'impact sur l'évaluation de bâtiments entiers.
- Pour la mise en place d'incitations, la voie climatique SIA reconnaît certains GO ou certificats d'électricité verte, à condition qu'ils proviennent de nouvelles installations et qu'ils répondent à des exigences minimales de qualité écologique (par exemple, comme pour nature made star), mais pas Minergie. Toutefois, Minergie n'impose pas non plus d'exigences pour lesquelles cela serait pertinent. En particulier, les émissions d'exploitation ne sont indiquées qu'à titre informatif et ne sont soumises à aucune valeur limite. Les deux méthodes de calcul SIA-Klimapfad et Minergie-ECO mentionnées ne sont pas conformes à l'approche WLC développée dans ce projet.
- Pour le chauffage urbain, la voie climatique SIA utilise les émissions effectives du produit de chauffage urbain. Minergie, en revanche, utilise des facteurs de pondération spécifiques au projet en fonction de la part fossile du chauffage urbain acheté individuellement.

En ce qui concerne la définition des exigences et des incitations, les différences suivantes sont constatées entre Minergie-ECO et la voie climatique SIA :

- En ce qui concerne les exigences en matière d'émissions GES, la voie climatique SIA prend en compte les émissions de l'ensemble du cycle de vie. Minergie-ECO ne fixe des exigences explicites que pour les émissions de la construction, mais pas pour celles de l'exploitation. Ces dernières sont limitées de manière indirecte : D'une part, Minergie impose des exigences sur le plan énergétique par le biais de l'indice Minergie. D'autre part, l'utilisation d'énergies fossiles est limitée : les énergies fossiles sont exclues des installations de chauffage des bâtiments (avec des exceptions, par exemple pour la couverture des pics de consommation) et la part des énergies fossiles est également limitée lors de l'utilisation du chauffage urbain.
- La FprSIA 390/1 fixe des exigences systémiques pour les deux phases du bâtiment (construction et exploitation) sous la forme de valeurs limites et de valeurs cibles (concrètement, des exigences supplémentaires pour ces deux phases) et propose des valeurs indicatives séparées pour les deux phases. En revanche, Minergie fixe des exigences séparées pour chacune des deux phases du bâtiment, celles-ci dépendant en partie du projet afin de tenir compte des conditions spécifiques au projet (par ex. valeurs limites plus élevées pour les installations photovoltaïques, les sondes géothermiques, les capteurs solaires).
- Incitation à construire de grandes installations photovoltaïques ou des installations remplissant les toits : Lors de la détermination de la taille de l'installation nécessaire au projet pour atteindre



la conformité, des installations PV relativement petites peuvent déjà suffire dans la pratique. Minergie-ECO et la voie climatique SIA adoptent des approches différentes pour encourager les grandes installations photovoltaïques : Minergie exige une taille minimale (en % de la surface de toit utilisable) et la voie climatique SIA permet, en option, de calculer la part d'autoconsommation sur une base annuelle en cas de non-vente de la garantie d'origine, ce qui incite à construire de grandes installations photovoltaïques.

F4.2 Quelles solutions existent pour intégrer une définition commune de zéro émission nette basée sur les différentes approches méthodologiques des divers instruments de planification et de mise en œuvre de la SIA, Ecobau, SNBS, CECB et Minergie ?

La recherche de solutions pour une définition commune du net-zéro implique que les différents instruments de planification et de mise en œuvre de la SIA, Ecobau, SNBS, GEAK et Minergie soient en mesure de représenter les émissions de toutes les phases et de tous les scopes pertinents. Une définition commune est donc possible si les domaines qui ne sont pas couverts par un instrument (ou sa méthode de calcul) sont complétés par un autre instrument.

Pour qu'une définition net-zéro basée sur les différentes approches méthodologiques puisse être qualifiée de « commune », elle doit répondre aux points suivants :

- Doit être tout aussi complet : Par définition, le net-zéro n'autorise en principe aucune émission résiduelle à l'intérieur de la frontière du système du domaine du bâtiment. Le cas échéant, des émissions résiduelles peuvent subsister en dehors du périmètre du système, par exemple dans le secteur de l'agriculture ou des transports.
- Uniformiser les principes importants et les principes méthodologiques
- Être transparents et compréhensibles.
- Permettre une transférabilité entre les différentes méthodes de calcul ou une comparabilité aussi simple que possible, par exemple au moyen d'une conversion vers une base commune comme la méthodologie WLC_{NZ}.
- Viser une harmonisation sur le plan matériel (méthodologie)

F4.3 Comment les valeurs limites et les valeurs cibles, fondées sur des approches méthodologiques différentes, peuvent-elles être définies de manière à être harmonisées ?

Il existe plusieurs possibilités de fixer des valeurs limites et des valeurs cibles basées sur différentes approches méthodologiques de manière qu'elles soient cohérentes entre elles en termes de contenu et de matériel, c'est-à-dire en termes d'effet incitatif recherché. Les trois variantes suivantes ont été identifiées dans le projet :

- Subsidiarité : les différents instruments d'information et de planification sont liés les uns aux autres. Cela signifie que les valeurs limites et cibles d'un domaine ou d'un indicateur donné (par exemple les émissions du scope 1, 2 ou 3) ne sont calculées et évaluées qu'à un seul endroit ou dans un seul instrument (norme ou label). Par exemple, une instance (la SIA, l'OFEN) pourrait faire élaborer les bases méthodologiques et les normes et labels des bâtiments s'y référer. Dans une telle approche, les domaines non couverts ou d'autres approches méthodologiques (par exemple le principe d'amortissement ou d'investissement) seraient définis subsidiairement dans l'instrument concerné, où ils seraient utilisés.
- Harmonisation : les différents outils d'information et de planification sont harmonisés dans la mesure du possible. D'une part, en ce qui concerne les méthodes de calcul et le périmètre d'observation, et d'autre part, sur le plan matériel. Cela signifie que certaines adaptations méthodologiques et de contenu sont nécessaires et qu'un organe de coordination (p.ex. une commission composée de représentants des différents groupes d'acteurs) est nécessaire.
- Conversion : conserver les différentes méthodes de calcul et hypothèses entre les différents instruments et convertir les valeurs limites et cibles de manière qu'elles soient matériellement comparables (c'est-à-dire en termes de sévérité des exigences). Certaines différences dans les



domaines couverts pourraient, le cas échéant, être prises en compte au moyen de facteurs de correction ad hoc. Toutefois, à notre connaissance, les domaines à couvrir et l'indicateur clé, les émissions de GES, nécessitent des ajustements dans la plupart des instruments, de sorte que cette option pourrait ne pas être réalisable.

Conclusion et recommandations de F4

Les travaux menés dans les différents sous-projets ainsi que la littérature consultée montrent qu'à l'heure actuelle, le zéro net WLC est une exigence très exigeante qui ne peut être atteinte, en l'état actuel de la technique ou des matériaux et éléments de construction disponibles, qu'au moyen d'un grand nombre de mesures de grande envergure. Une forte réduction des émissions de la phase de construction par rapport à la construction neuve usuelle aujourd'hui et une large prévention des émissions de la phase d'exploitation sont une condition préalable pour pouvoir compenser les émissions restantes par des émissions négatives. Étant donné que les conditions techniques et légales ne sont pas encore établies pour que les émissions négatives soient suffisantes, nous proposons le concept « net zero ready » (NZ_{WLC}-ready).

Dans le cas du « net zero ready », on utilise des puits temporaires qui seront convertis ultérieurement en émissions négatives s'ils ne sont effectivement pas réémis, c'est-à-dire s'ils sont sécurisés et stockés, c'est-à-dire s'ils sont maintenus en permanence à l'écart de l'atmosphère. Les puits temporaires doivent être liés à des mesures à désigner concrètement. On peut citer par exemple l'utilisation de matériaux de construction biogènes, en raison de leur longévité dans le domaine de la construction. La condition préalable au NZ_{WLC}-ready est une réduction plus importante des émissions brutes. Contrairement au NZ_{WLC} Bâtiment, le concept NZ_{WLC}-ready ne nécessite pas obligatoirement une garantie juridiquement contraignante.

Les analyses du sous-projet F4 et les enseignements qui en ont été tirés ont permis de formuler les recommandations suivantes :

- Il est important de développer les différents instruments dans le sens de la réduction des émissions GES et d'inclure systématiquement les émissions GES de la phase de construction et de la phase d'exploitation (les trois scopes), au moins au niveau informatif. La phase d'exploitation et donc l'efficacité énergétique restent importantes. En outre, l'efficacité énergétique doit également être abordée dans une perspective descendante, par exemple avec des approches spécifiques aux vecteurs énergétiques pour l'efficacité électrique, la part d'électricité en hiver, la contrôlabilité de la production, de l'utilisation et du stockage de l'électricité.
- L'un des principaux leviers de réduction des émissions de GES de la construction réside dans les mesures prises par l'industrie lors de la production des matériaux et des composants de construction. Afin d'évaluer la réduction obtenue par les fournisseurs concernés, il est nécessaire de disposer de données d'ACV spécifiques aux fabricants et de les mettre à jour régulièrement. Une systématique uniforme, telle que celle proposée par la KBOB avec ses règles d'analyse du cycle de vie, est essentielle pour la comparabilité des données des différents fabricants.
- De nouvelles technologies telles que BECCS, CCS et NET dans le domaine des matériaux de construction produits sont nécessaires pour pouvoir atteindre un bilan net-zéro. L'utilisation du CCS et du NET, avec la vente déjà en cours de certificats d'EN, soulève de nouvelles questions, par exemple en ce qui concerne le double comptage. Les conditions de comptabilisation des BECCS, CCS et NET dans le bâtiment doivent être définies avec le commerce des certificats. La manière exacte dont cela doit se faire et les possibilités devraient être étudiées de manière plus approfondie à la suite de ce projet.
- Lors de l'évaluation des EN, il faut tenir compte du fait que, pour des raisons pratiques, il se peut que la totalité des puits temporaires ne puisse pas être convertie en EN. Il faut également tenir compte des pertes d'efficacité inévitables, par exemple dans le cas du CCS.



Conclusions générales

Le projet de recherche montre que la réalisation d'émissions net-zéro gaz à effet de serre dans le domaine du bâtiment est une condition indispensable pour atteindre les objectifs climatiques de la Suisse. L'approche globale de ce projet souligne que les émissions opérationnelles et grises doivent être abordées sur l'ensemble du cycle de vie des bâtiments. Alors que les émissions opérationnelles peuvent être considérablement réduites grâce à l'efficacité énergétique, l'utilisation d'énergies renouvelables et à l'électrification, les émissions grises provenant des matériaux, de la construction et de l'élimination représentent un défi plus important.

D'ici 2050, le scénario de référence, déjà ambitieux, prévoit une réduction globale des émissions de 78 %, ce qui, avec 6,5 Mt d'émissions de CO₂ par an, est toutefois nettement supérieur à l'objectif de 2 Mt dérivé de la LCI. Pour égaliser les émissions restantes de cet ordre de grandeur, un recours important aux technologies à émissions négatives (NET) serait nécessaire. Malgré les progrès réalisés dans ce domaine, il existe un écart entre les possibilités actuelles et l'objectif fixé par la loi pour 2050, ce qui rend nécessaires des mesures supplémentaires pour réduire la dépendance aux NET.

La réduction des émissions grises nécessite d'une part la conversion des processus de fabrication aux énergies et à l'électricité renouvelables et au captage et stockage du carbone (CCS) et d'autre part des solutions et pratiques innovantes en matière d'économie circulaire. Il faut à la fois l'acceptation sociale et la volonté politique (conditions-cadres appropriées) pour que ces solutions soient soutenues et compétitives. Si nous n'y parvenons pas, nous courons le risque que les émissions résiduelles restantes dans le domaine du bâtiment soient trop élevées pour être égalisée par des NET (notamment par l'utilisation de matériaux de construction biogènes associés aux BECCS). La réalisation des objectifs climatiques à long terme de la Suisse serait alors compromise.

La clé pour atteindre les objectifs climatiques est donc d'accélérer la mise en œuvre de l'initiative propre de l'économie et des mesures réglementaires, incitatives et de développement des connaissances. Il est notamment urgent de réduire davantage les émissions grises des matériaux de construction, d'éliminer totalement les combustibles fossiles dans les bâtiments, dans la production d'énergie (y compris les réseaux d'énergie) et dans la fabrication des matériaux et des éléments de construction, d'allonger la durée de vie des bâtiments et de rendre leurs composants réutilisables, et d'introduire le CCS dans le traitement des déchets.

Les étapes nécessaires consistent à élargir le cadre réglementaire afin de promouvoir l'utilisation de matériaux de construction renouvelables et à faibles émissions, à réaliser des bâtiments « net-zéro ready » et à s'assurer que ces initiatives sont soutenues par des politiques claires. En outre, les différentes parties du projet identifient également des besoins spécifiques de recherche supplémentaires.



Bibliographie

Jakob M., Stettler C. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F0 Methodische Fragen. TEP Energy und Carbotech i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.

Jakob M., Catenazzi G., Stettler C., Priore Y., Bagemihl J., Binz A. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F1 Top-down Betrachtungen. TEP Energy und Carbotech i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.

Priore Y., Habert G., Jusselme Th., Zwicky D., Anselmina Cau, S. Lasvaux S., Frossard M., Favre D., Zhang X. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F2 Bottom-up Betrachtungen. ETHZ, HEIA-FR, HEIG-VD, PSI i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.

Tschannen A., Hänggli A., Rieder S. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F4 Übersicht möglicher Umsetzungswege. Interface i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.

Jakob M., Stettler C., Bagemihl J. (2024). Netto-Null Treibhausgasemissionen im Gebäudebereich (NN-THGG) – F4 Grundlagen für die Grenz- und Zielwertsetzung. TEP Energy und Carbotech i.A. Bundesamt für Energie, Bern, November.