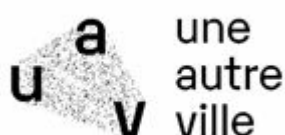


ADEME
Mission d'AMO dans le cadre de l'AMI
quartiers E+C-
Phase 2 – Capitalisation et outils – Fiches
méthodes et outils
Fiche Outils – Bilan carbone quartier



Date	10/06/2021
Auteur et contact	Alice Cori – Marine Querné

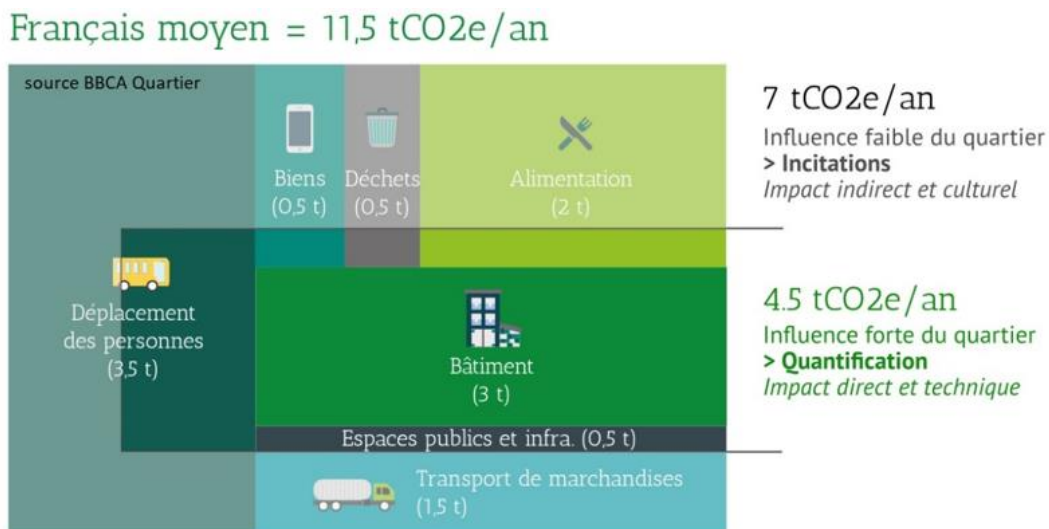
1 | Contexte et enjeux

La France a mis en place dès 2000 des politiques climatiques pour réduire ses émissions avec le Plan National de Lutte contre le Changement Climatique (2000) puis à travers les Plans Climat successifs. Suite au débat national sur la transition énergétique mené en 2013 et à l'adoption de la loi de transition énergétique pour la croissance verte (TECV) en 2015, une première Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC) a été publiée en 2015. Cette dernière visait la division par 4 des émissions de gaz à effet de serre de la France en 2050 par rapport à 1990. Elle constituait la première feuille de route pour la réduction des émissions de GES et fixait les premiers budgets-carbone jusqu'en 2028 pour atteindre ses objectifs.

En 2017, la France affirme dans son Plan Climat sa volonté d'accélérer la lutte contre le changement climatique et de rester en ligne avec l'Accord de Paris. Cette volonté se traduit par un nouvel objectif : l'atteinte de la neutralité carbone à horizon 2050.

L'empreinte carbone des Français représente en moyenne 11,5 tonnes d'équivalent CO₂ par français et par an. Pour cadrer avec la SNBC, cette empreinte carbone doit être réduite à 2 tonnes en 2050.

Or, près de 40% de l'empreinte carbone des français relève directement des choix techniques d'aménagement du quartier (construction des bâtiments et infrastructures, choix énergétiques, systèmes de mobilités, etc...). Les choix d'aménagement sont donc un enjeu fort de la réduction de l'empreinte carbone.



Pour travailler les bons leviers il est indispensable de comprendre et connaître les émissions de CO₂ relatives à chacun des choix de conception, c'est donc tout l'enjeu de la réalisation d'un bilan carbone quartier.

2 | Analyse de cycle de vie et bilan carbone

L'analyse de cycle de vie (ACV) est une méthode d'évaluation environnementale qui permet de quantifier les impacts d'un produit, d'un service, d'un procédé, sur l'ensemble de son cycle de vie, depuis l'extraction des matières premières qui le composent jusqu'à son traitement en fin de vie, en passant par les étapes de mise en œuvre et de vie en œuvre. Outil normalisé et reconnu, l'ACV est une méthode d'évaluation globale et multicritère, résultant de l'interprétation du bilan quantifié des flux de matières et d'énergies entrants et sortants à chaque étape du cycle de vie du produit¹.

Par définition, l'ACV est donc multicritère, et ses résultats s'expriment suivant de nombreux indicateurs, classés de la manière suivante selon la norme NF EN 15 978 :

¹ Source INIES

- Impacts environnementaux :
 - réchauffement climatique ;
 - pollution de l'air ;
 - ...
- Utilisation des ressources :
 - utilisation d'énergie primaire renouvelable ou non ;
 - utilisation d'eau douce ;
 - ...
- Flux sortants du système (déchets valorisés) :
 - composants destinés à la réutilisation ;
 - matériaux destinés au recyclage
 - ...
- Déchets solides éliminés :
 - déchets dangereux éliminés ;
 - déchets non dangereux éliminés ;
 - ...

Ainsi, le bilan carbone peut être vu comme une ACV particulière se concentrant sur l'indicateur de réchauffement climatique lié aux émissions de gaz à effet de serre (GES).

Les gaz à effet de serre sont variés (dioxyde de carbone, méthane, protoxyde d'azote, ozone, gaz fluorés..). C'est pourquoi les quantités de GES autres que le dioxyde de carbone (CO₂) émises sont ramenées à une quantité de CO₂ équivalente (en kg ou tonnes équivalent CO₂, eq CO₂, CO₂eq, CO₂e) en utilisant un facteur appelé pouvoir de réchauffement global (PRG ou GWP en anglais) et qui est défini par le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) pour les principaux gaz à effet de serre.

Dans la suite de ce document on désignera donc de manière indifférenciée les émissions de gaz à effet de serre par « émissions de CO₂» ou «émissions de GES»

2.1 | Impact carbone des produits de construction et équipements

L'impact carbone d'un produit de construction ou d'un équipement est le produit :

- De la quantité de produit ou équipement ;
- De l'impact issu de la donnée environnementale du produit ou équipement ;
- Du facteur de renouvellement du produit, soit le quotient de la période d'étude de référence du bâtiment et de la durée de vie estimée du produit ou équipement définie dans la donnée environnementale utilisée². La durée de vie du bâtiment est ici fixée sur la durée de référence de 50 ans définie dans le cadre du référentiel Énergie Carbone.

² Tout en étant au minimum de 1

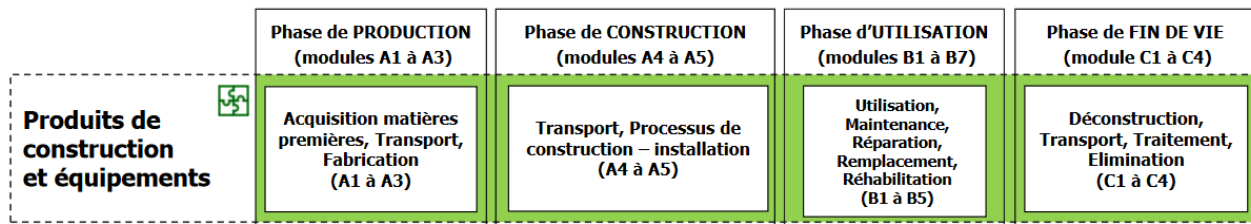


Figure 1 – Phases comptabilisées dans l'analyse du cycle de vie des produits de construction et équipements – source : Elodie

Les données environnementales des produits et équipements sont mises à disposition sur la base de données de référence française INIES sous le format de Fiches de Déclaration Environnementales et Sanitaires (FDES).

3 | Réalisation d'un bilan carbone à l'échelle d'un quartier

La réalisation d'un bilan carbone à l'échelle d'une opération d'aménagement est encore au stade de l'expérimentation, il n'y a pas encore de norme ou label qui cadre la méthodologie.

Pour évaluer le bilan carbone de son opération d'aménagement, l'aménageur peut se faire accompagner d'un bureau d'études spécialisé qui peut réaliser le bilan carbone quartier « à la main » ou utiliser un outil de simulation. Le développement de ces outils est en plein essor, certains outils existent déjà à l'heure actuelle, d'autres sont en cours d'élaboration.

3.1 | Périmètre

La première et principale étape pour réaliser un bilan carbone quartier est de bien définir le périmètre d'évaluation.

En fonction des objectifs attendus, de la phase du projet et des leviers d'action possibles il peut être opportun d'élargir plus au moins le périmètre d'évaluation.

Les différents postes d'émission de carbone qu'on retrouve dans un quartier sont les suivants :

- Emissions dues au changement d'occupation du terrain :
 - Terrain nu - déstockage de CO2 en fonction des sols et végétations existants détruits ;
 - Terrain bâti : émissions de la démolition.
- Emissions de la construction et de l'exploitation des lots immobiliers ;
- Emissions de la construction et de l'exploitation des espaces publics ;
- Emissions liés à la mobilité des usagers ;
- Emissions des déchets d'activité.

Le périmètre et la réflexion peuvent ensuite s'élargir à toutes les activités de l'utilisateur d'un quartier en intégrant les autres impacts liés aux biens de consommation, aux voyages, à l'alimentation.

3.1.1 | Emissions dues au changement d'occupation du terrain

Les changements d'affectation des sols modifient les stocks de carbone contenus sur les sols. Il peut en résulter soit une émission de CO2, soit une captation de CO2.

L'imperméabilisation des sols (construction de voirie, parking ou bâtiments) sur un terrain occupé par des cultures, prairies ou forêts aura pour conséquence de déstocker le carbone séquestré dans les sols et les végétations.

Les facteurs d'émission (ou de captation) proposés pour la France sont les suivants :

	Cultures	Prairies	Forêts	sols non imperm.	sols imperm.
Cultures en terres arables		-1,80	-1,61	0	190
Prairies permanentes	3,48		-0,37	0	290
Forêts	2,75	0,37		0	290

Tableau 1 : facteurs d'émission dues au changement des sols (source : étude de l'INRA "Stocker du carbone dans les sols agricoles de France ?" (Octobre 2002))

Dans le cas d'un terrain bâti, la démolition de ouvrages existants émettra des émissions de GES. On compte pour le bilan carbone de la déconstruction :

- La consommation des engins de démolition ;
- Le transport des débris associés.

3.1.2 | Emissions de la construction et de l'exploitation des lots immobiliers

L'évaluation du bilan carbone des lots immobiliers porte sur l'ensemble étapes du cycle de vie, et notamment les postes suivants :

- Les produits de construction et équipements ;
- Le chantier ;
- Les consommations d'énergie ;
- Les consommations d'eau.

Il est évalué aujourd'hui en suivant la méthodologie d'ACV cadrée par le référentiel Energie – Carbone. La Réglementation environnementale 2020 (RE2020), qui sera bientôt mise en application, définit une nouvelle méthodologie, notamment en introduisant l'ACV dynamique.

3.1.3 | Emissions de la construction et de l'exploitation des espaces publics

Construction

Le bilan carbone de la construction des espaces publics comprend :

- Les déblais-remblais des espaces publics (consommations des engins pour l'excavation, transport des terres et traitement par enfouissement) ;
- La construction des voiries, places et aménagements urbains ;
- La construction des places de stationnement public ;
- Les installations temporaires de chantier ;
- La mise en œuvre de l'éclairage public ;
- La construction des réseaux (assainissement, énergie, eaux, télécom...) ;
- La mise en œuvre d'espaces verts³.

Exploitation

Le bilan carbone des espaces publics en phase d'exploitation comprend :

- Les consommations d'éclairage publics ;
- Les consommations d'arrosage des espaces verts.

³ D'après l'étude européenne « The carbon footprint of urban green space - A life cycle approach », l'implantation de 10 arbres par hectare est suffisante pour compenser l'impact carbone de la mise en œuvre et entretien des espaces verts sur 50 ans. Au regard des conclusions de l'étude, l'impact carbone de ce poste peut être considéré comme nul.

3.1.4 | Emissions liés à la mobilité des usagers

L'enjeu de la localisation des bâtiments est très important pour le bilan carbone d'une opération d'aménagement car cela entraîne des consommations d'énergie liées aux déplacements des occupants.

Le bilan carbone de la mobilité se calcule à partir des distances de déplacement, des parts modales de chaque mode de transport utilisé (voiture, transport en commun, modes doux...) et de l'impact environnemental lié à chaque mode.

Les distances parcourues par an et par mode peuvent se retrouver grâce à des ratios par occupants selon l'usage, le type de site (centre, périurbain, etc...), l'accessibilité aux modes doux, aux transports et aux aménités, via des outils comme Eco-mobilité d'Effinergie ou encore l'outil de mobilité d'OpAm.

Pour avoir des données plus précises et spécifiques à l'aménagement d'un quartier en particulier, des études mobilités peuvent être menées par un expert mobilité.

3.1.5 | Emissions des déchets d'activité

Production de déchets

Pour évaluer l'impact carbone des déchets d'activités il faut tout d'abord estimer la quantité de déchets produits par les activités des bâtiments. Plusieurs études et enquêtes notamment de l'ADEME ou de l'INSEE donnent des ratios de production de déchets selon les différents usages.

A titre d'exemple voici quelques hypothèses sur la production des déchets :

Logements (Collectif, étudiant, Hôtel)

Nature	Pourcentages en 2007 ADEME	Chiffres 2014 (kg/habitant/an)
Déchets putrescibles	32%	183
Papier-carton	22%	123
Plastiques	11%	64
Verre/ métaux	26%	146
Autres	11%	61
Total	100%	573

Tableau 2 : Hypothèses quantité de déchets produits en exploitation - source : ADEME

Bureaux

Nature	% en masse	Masse (kg/salarié/an)
Papiers / Cartons	72%	80
Plastiques	3%	3
Métaux	3%	3
Autres	19%	21

Tableau 3 : Hypothèses quantité de déchets produits en exploitation - source : ADEME

Commerces

Type de déchets	Déchets organiques	Verre	Métaux	Plastique	Papiers et cartons	Textile et cuir	Caoutchouc	Bois	Déchets triés	Déchets en mélange et autres
<i>Tranche d'effectif salarié</i>	En milliers de tonnes									
De 20 à 49 salariés	353.4	5.6	69.6	63.7	501.0	0.6	3.2	98.6	1 101.9	372.6
De 50 à 99 salariés	196.5	9.4	54.9	33.4	267.0	0.6	1.5	63.8	695.7	274.6
De 100 à 249 salariés	247.6	7.9	68.2	32.8	450.4	0.7	3.5	109.2	946.6	287.2
De 250 à 499 salariés	96.7	3.0	15.0	26.3	352.6	0.3	2.1	46.2	599.6	162.3
Plus de 500 salariés	25.4	7.7	5.4	7.1	109.4	0.7	0.1	19.2	203.9	57.9

Tableau 4 : Hypothèses quantité de déchets produits en exploitation dans le commerce - source : Insee, enquête Déchets non dangereux dans le commerce 2016

Facteurs d'émission

En fonction des filières de traitement des déchets produits, l'impact carbone diverge. La base carbone de l'ADEME définit les facteurs d'émission suivants :

Type de déchet	Type de traitement					Impact carbone kgCO2/tonne de type de déchet traitée
	Enfouissement	Incinération	Recyclage	Compostage	Méthanisation	
<u>Déchets organiques ou fermentescibles</u>						
Déchets alimentaires	55%	31%	0%	12%	2%	158
Papier	24%	14%	60%	2%	0%	85
Carton	12%	7%	80%	1%	0%	61
<i>Facteur d'émissions (kgCO2/tonne traitée)</i>	<i>230.28</i>	<i>36</i>	<i>36</i>	<i>160</i>	<i>33</i>	
<u>Plastiques</u>						
	58%	32%	10%			894
<i>Facteur d'émissions (kgCO2/tonne traitée)</i>	<i>36</i>	<i>2718</i>	<i>36</i>			
<u>Déchets non combustibles non fermentescibles</u>						
Déchets inertes (terres, gravats, béton)	50%		50%			36
Métaux	60%		40%			36
Verres	40%		60%			36
<i>Facteur d'émissions (kgCO2/tonne traitée)</i>	<i>36</i>		<i>36</i>			
<u>Ordures ménagères moyennes</u>						
	40%	55%	1%	3%	1%	237
<i>Facteur d'émissions (kgCO2/tonne traitée)</i>	<i>140</i>	<i>324</i>	<i>36</i>	<i>86</i>	<i>18</i>	

Tableau 5 : Facteurs d'émission par type de déchet et par type de traitement - source : base carbone ADEME

Evaluation de l'impact carbone

Les hypothèses décrites ci-dessus représentent des scénarios « classiques ».

Des dispositions prises par l'aménageur peuvent permettre de réduire l'impact des déchets d'exploitation, comme par exemple :

- Favoriser le tri en réservant des espaces dédiés dans les logements, en mettant en place des espaces communs pédagogiques et gérés correctement dans le but d'atteindre 80% de recyclage pour les déchets papiers et cartons ;
- Mettre en place du compostage sur le quartier afin de remplacer le pourcentage des déchets alimentaires enfouis par des déchets compostés ;
- Favoriser le vrac dans les commerces du quartier afin de diminuer de 50% la quantité de plastiques produits et favoriser le tri pour atteindre 90% de recyclage pour les déchets plastiques ;
- Mise en place d'un atelier de réparation.

3.2 | Méthodologie pour le réemploi et le stockage carbone

3.2.1 | Cas particulier des matériaux issus du réemploi

Si la méthodologie E+C- ne permet actuellement pas de valoriser la démarche du réemploi dans le cadre d'une labellisation, des travaux sur le sujet sont en cours et devraient permettre de déduire du bilan carbone les émissions liées à la fabrication de ces produits issus du réemploi.

En attendant, il est intéressant de privilégier cette piste d'optimisation et d'en quantifier l'impact sur l'évaluation carbone du projet.

Pour évaluer le gain lié aux matériaux issus du réemploi, le bilan carbone pour la phase de fabrication des produits et équipements de construction peut être considéré sans impact. Néanmoins, les émissions liées à leur transport, mise en œuvre, entretien et renouvellement sur toute la durée de vie du bâtiment (50 ans) doivent être comptabilisées de la même manière que pour les matériaux non issus du réemploi. Dans le cas de matériaux réemployés sur site, issus de bâtiments existants ou démontés lors de la réversibilité, la phase de transport est négligée.

3.2.2 | Comptabilisation du stockage carbone

En attendant l'application de la RE2020 et la méthodologie d'ACV dynamique, il peut être intéressant de calculer le stockage de carbone biogénique sur l'opération et de l'afficher, à part, comme un gain sur le bilan carbone global.

4 | Méthodologie RE2020 : ACV dynamique

La RE2020 sera bientôt effective et devra être respectée pour les nouveaux dépôts de permis de construire.

La méthodologie d'ACV retenue par la RE2020 est la méthodologie d'ACV dynamique. En effet, l'indicateur actuellement en vigueur dans la méthodologie E+C- possède un inconvénient majeur : c'est un indicateur statique, où l'on ramène à un même instant l'ensemble des émissions sur 50 ans. La nouveauté apportée par la RE2020 est la pondération de l'impact des différentes étapes du cycle de vie d'un matériau en fonction de l'année (réelle) des émissions de GES. Plus une émission a lieu tôt, plus son impact est important.

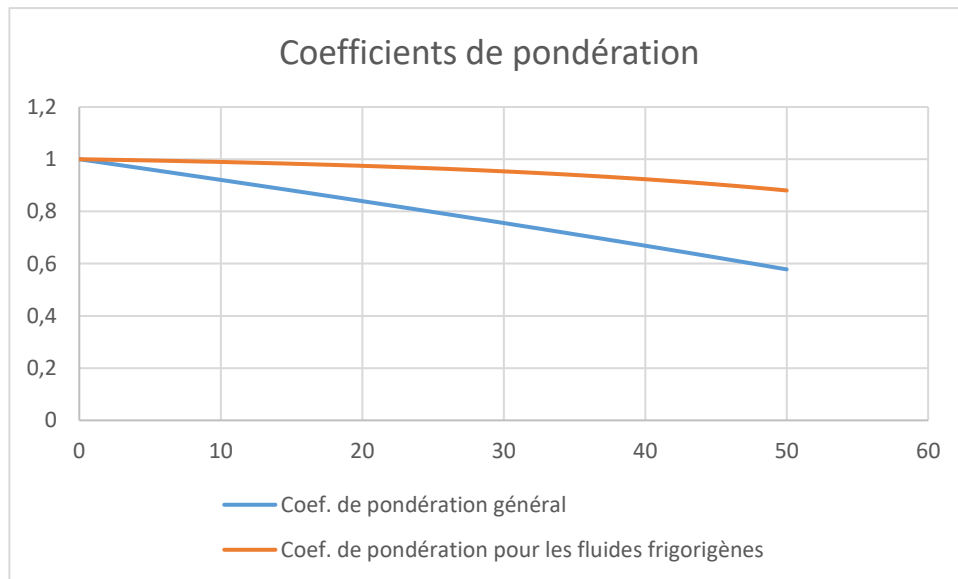
Cette méthodologie a pour avantage de donner plus d'importance aux émissions actuelles. Dans la perspective d'une action de décarbonation pour réduire l'impact du changement climatique, la temporalité des émissions est essentielle. Comme le CO₂ s'accumule dans l'atmosphère, le changement climatique d'aujourd'hui est conditionné par les émissions passées, et ce sont les émissions actuelles qui pourront -ou non- provoquer des dommages irréversibles d'ici à la fin du siècle. Il est donc essentiel de diminuer avant toutes choses les émissions actuelles (avant de considérer celles qui auront lieu dans 30 ou 50 ans), car ce sont elles qui sont les plus critiques pour les bouleversements climatiques à venir.

Pour être homogène au calcul carbone des lots immobiliers, le calcul carbone global de l'opération peut aussi se faire selon la méthodologie dynamique.

4.1 | Méthodologie de calcul

Les projets de décret et d'arrêtés définissant la future réglementation environnementale 2020 (RE2020) ont été mis en consultation publique par le gouvernement en mars dernier. Les textes et méthodologies sont ainsi disponibles : <http://www.consultations-publiques.developpement-durable.gouv.fr/projets-de-decret-et-arretes-relatifs-aux-a2330.html>

Dans la méthode dynamique, les impacts des émissions des gaz à effet de serre sont pondérés par un coefficient de pondération dont la valeur est dépendante de la date des émissions. Ces coefficients sont disponibles ici : <http://www.batiment-energiecarbone.fr/projet-de-documents-methode-pour-la-reglementation-a126.html>.



En attendant que la base INIES se mette à jour, nous pouvons pour chaque FDES calculer manuellement les émissions des produits de construction et équipement de manière dynamique :

- Les émissions de la production et de l'édification (module A) sont considérées émises à $t=0$. On obtient donc l'impact en multipliant l'impact « statique » par le facteur de pondération dynamique à $t=0$. Ce facteur étant égal à 1, pour la production et l'édification, les impacts dynamiques sont égaux aux impacts statiques.
- Les émissions de la phase d'exploitation des produits (module B) sont considérées comme étant émises régulièrement chaque année. Les émissions sont donc réparties entre les années 1 et 49 et multipliées par le facteur de pondération dynamique décroissant.
- Les émissions de la fin de vie (module C) et pour le module D sont par convention considérées émises à $t=50$. On obtient donc l'impact en multipliant l'impact « statique » par le facteur de pondération dynamique à $t=50$.

En suivant le même raisonnement, la méthodologie d'ACV dynamique pour les différents postes comptabilisés dans le bilan carbone global d'une opération d'aménagement est la suivante :

- Pour la déconstruction des éléments existants : les émissions sont émises à $t=0$. On obtient donc l'impact en multipliant l'impact « statique » par le facteur de pondération dynamique à $t=0$. Ce facteur étant égal à 1, pour déconstruction, les impacts dynamiques sont égaux aux impacts statiques.
- Pour la construction des espaces publics : les FDES sont utilisées pour comptabiliser ces produits de construction et équipement, la méthodologie est donc celle présentée ci-dessus.
- Pour l'exploitation des espaces publics (consommations d'énergie pour l'éclairage et d'eau pour l'arrosage) : les émissions sont considérées comme étant émises régulièrement chaque année. Les émissions sont donc réparties entre les années 1 et 49 et multipliées par le facteur de pondération dynamique décroissant.
- Pour les déchets d'activités et la mobilité : les émissions sont considérées comme étant émises régulièrement chaque année. Les émissions sont donc réparties entre les années 1 et 49 et multipliées par le facteur de pondération dynamique décroissant.

5 | Sélection d'outils identifiés

Outil d'évaluation

Deux outils existent aujourd'hui pour évaluer le bilan carbone d'un projet urbain à l'échelle d'un quartier : GES OpAm développé par les CETE et le CERTU (CEREMA) et UrbanPrint développé par Efficacity en partenariat avec le CSTB. Ces outils servent d'aide à la décision dans l'élaboration des projets d'aménagement. Ils permettent d'évaluer les émissions de gaz à effet de serre liées aux différents scénarios d'aménagement, d'appréhender les marges de manœuvre en amont et d'orienter les choix d'aménagement.

GES OpAm

L'outil se présente sous la forme d'un tableur Excel composé de différents formulaires (accueil, entrée de données, calculs, résultats). Le formulaire d'entrée de données est divisé en thématiques et constitué d'un ensemble de questions appelant des réponses qualitatives ou quantitatives. L'utilisateur peut répondre plus ou moins finement en fonction :

- de la connaissance qu'il a du projet, de son territoire ;
- des hypothèses qu'il souhaite tester.

L'outil propose également pour simplifier le travail, des ratios par défaut pour compléter ces informations. L'évaluation des émissions de GES est réalisée à partir d'un croisement de bases de données (ratio Bilan Carbone Territoriaux, EMD, etc.) et de données entrées par le porteur de projet. Les sorties (sous forme de tableaux, d'indicateurs et de graphiques) permettent d'évaluer différents scénarios (dans la limite de 4) et de comparer un tendanciel par rapport à différents scénarios d'aménagement sur un périmètre fixe, au regard de l'évolution de l'habitat, de la production d'énergie, du changement d'affectation des sols, des réseaux et de l'emploi et de la mobilité induite, etc.

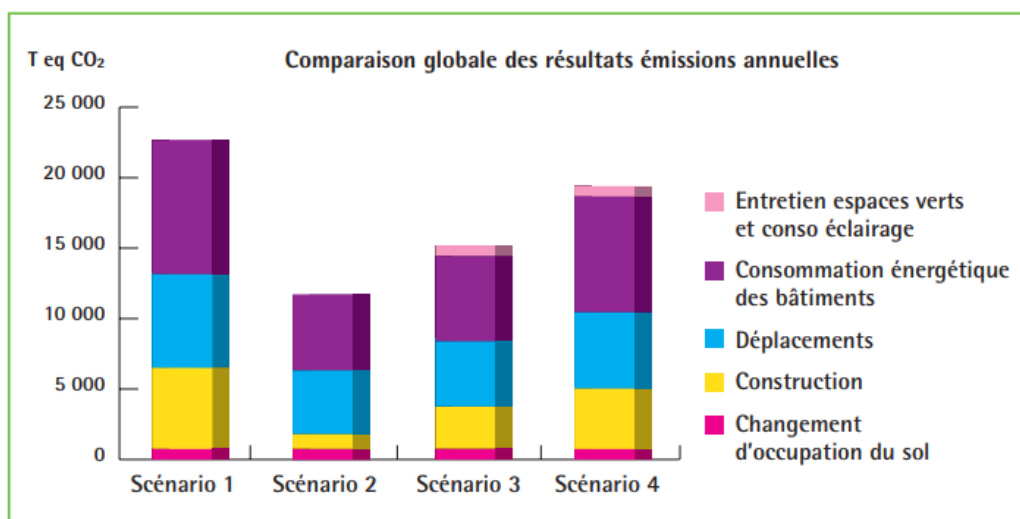


Tableau 6 : Exemple de présentation des résultats avec l'outil GES OpAm

UrbanPrint

L'outil UrbanPrint propose deux approches : la vue « aménageur » et la vue « usager ». La vue « aménageur » permet d'évaluer la performance et les impacts environnementaux associés directement aux ouvrages et services urbains sous la responsabilité de l'aménageur du quartier. Cette vue comprend les postes suivants :

- Consommations d'énergie liées à l'exploitation des bâtiments et des espaces extérieurs.
- Déplacements des personnes ayant pour origine ou destination les bâtiments du quartier pendant leur phase d'exploitation ;
- Ensemble des produits de constructions et équipements des bâtiments et des espaces extérieurs ;

- Consommations d'eau et rejets d'eau liés à l'exploitation des bâtiments et des espaces extérieurs ;
- Déchets issus de l'exploitation des bâtiments (déchets ménagers et assimilés) et des espaces extérieurs ;
- Terrassements liés à la construction des bâtiments et des espaces extérieurs.

La vue « usager » élargit le périmètre d'évaluation à des contributeur sur lesquels l'aménageur a à priori peu ou pas de leviers d'actions (alimentation, consommation de biens et services...), permettant de traduire la performance environnementale du quartier au travers de l'empreinte carbone moyenne de ses usagers.

L'outil est toujours en cours de développement courant 2021.

Eco-mobilité d'Effinergie

Pour évaluer spécifiquement l'impact carbone liés à la mobilité des usagers, Effinergie a développé l'outil Ecomobilité Effinergie. La méthodologie a précédemment été décrite dans la section 3.1.4 | .

Lien vers l'outil : <http://www.effinergie-ecomobilite.fr/>

Guides et sites internet

- Base carbone de l'ADEME (<https://www.bilans-ges.ademe.fr/>)
- BBCA Quartier (<https://www.batimentbas carbone.org/bbca-quartier/>)
- Dossier Construction 21 – Quartier Bas Carbone (<https://www.construction21.org/france/static/dossier-quartiers-bas-carbone.html>)