

Le changement climatique a dorénavant dépassé le stade de la recherche de la preuve. Il est simplement en marche, alimenté par des émissions mondiales de gaz à effet de serre toujours croissantes.

Les records de température moyenne, pourtant récemment dépassés, ne cessent d'être battus. La liste des conséquences s'allonge. Au delà du thermomètre, on assiste en métropole à l'installation d'insectes et de maladies tropicales autrefois inadaptés au climat tempéré. Le mois d'hiver le plus froid semble avoir disparu du calendrier, au profit d'un nouveau mois d'été synonyme de vague de chaleur.

Que faire, chacun à son niveau, face à cette dégradation manifeste de notre environnement ? Par nos choix personnels comme professionnels, nous disposons tous de latitudes pour inverser la tendance, à la fois pour nous mêmes et pour ceux que nous côtoyons, que nous servons, et que nous installons, notamment dans des projets de bâtiments.

La conception d'un bâtiment est une formidable occasion de ré-interroger l'ensemble de nos pratiques : choix du terrain, de sa structure, de ses futures consommations énergétiques, intégration de la totalité des émissions de gaz à effet de serre liées aux diverses activités qui s'y dérouleront.

A travers quatre études variées, de logements, de bureaux, de commerces, neufs ou en réhabilitation, nous avons essayé avec l'ADEME Réunion de dresser une analyse de sensibilité de nombreux choix courants de conception et d'exploitation. Le guide simplifié qui vous est préablement présenté se veut un outil pragmatique de première approche, permettant à tout un chacun d'appréhender la latitude d'impact de son projet, quelle qu'en soit sa taille, sans trop se perdre dans les détails.

Laurent Castaignède
BCO2 Ingénierie

SOMMAIRE

Contexte et objet du guide d'évaluation	1
Principe de calcul	2
Déclinaison de la méthode au cas particulier des bâtiments	2
Gaz à effet de serre retenus	3
Expression des résultats	3
Grille d'évaluation	4
Principe	4
Domaine d'application	5
Premier exemple d'application	5
Correspondance avec les émissions de GES	5
Projets médaillables au Barème Carbone®	6
Contenu opérationnel en phase amont	7
(Aménageurs et Maître d'Ouvrages)	
Opérations neuves (en extension de parc immobilier)	7
Opérations de réhabilitation (ou de démolition - reconstruction)	10
Opérations cumulant réhabilitation et extension	11
Contenu opérationnel en phase de conception	12
(Maître d'Oeuvre concevant sur un site pré-déterminé)	
Opérations neuves (en extension de parc immobilier)	12
Opérations de réhabilitation (ou de démolition - reconstruction)	15
Opérations cumulant réhabilitation et extension	17

SOMMAIRE

Contexte et objet de la mission	19
Périmètre et principales hypothèses de calcul	20
Déclinaison de la méthode au cas particulier des bâtiments	20
Gaz à effet de serre retenus	21
Principaux facteurs d'émissions significatifs	22
Expression des résultats	29
Notion complémentaire d'énergie grise	29
Ordres de grandeur en métropole	30
Bilan Carbone® du projet « Bureaux Darwin »	31
Émissions globales du projet	32
Construction	33
Utilisation intérieure	36
Déplacements contraints des résidents	37
Variantes de construction	37
Variantes d'utilisation	40
Alternatives de localisation	42
Sensibilité économique amont	44
Synthèse bureaux	45
Bilan Carbone® du projet « Logements Beauséjour 16A »	47
Émissions globales du projet	48
Construction	49
Utilisation intérieure	52
Déplacements des résidents	53
Variantes de construction	54
Variantes d'utilisation	56
Alternatives de localisation	59
Sensibilité économique amont	60
Synthèse logements	61
Bilan Carbone® du projet « Centre commercial des Avirons »	63
Émissions globales du projet neuf	65
Construction	66
Utilisation intérieure	68
Déplacements des salariés et des clients	68
Produits commercialisés	69
Variantes	70
Sensibilité économique amont	73
Synthèse centre commercial	74
Prise en compte de la relocalisation du supermarché existant	76
Bilan Carbone® du projet « Réhabilitation et extension du siège du T.C.O. »	77
Émissions globales du projet	78
Construction	79
Utilisation	81
Variantes	83
Sensibilité économique amont	87
Distinction entre la pure réhabilitation et l'extension neuve	88
Synthèse réhabilitation	89
Conclusion	91
Annexe	92
Durée de vie de matériaux à La Réunion	92
Projet de bâtiment de bureaux neufs Darwin	93
Projet d'un bâtiment de logements neufs de Beauséjour	94
Projet du nouveau centre commercial des Avirons	95
Projet de réhabilitation et extension du siège de T.C.O.	96

CONTEXTE ET OBJET DU GUIDE D'EVALUATION

La Direction Régionale Réunion de l'ADEME a confié en 2012 et 2013 à BCO2 Ingénierie, bureau d'études spécialisé en Bilans Carbone[®] de projets, l'analyse détaillée de plusieurs opérations de construction ainsi que la réalisation d'un guide permettant de mettre en avant les gains possibles en terme de consommation globale d'énergie et d'émissions de gaz à effet de serre (GES) dans le domaine de l'aménagement et de la construction.

Le présent document propose une grille simplifiée d'évaluation de ces impacts globaux, à destination particulière des aménageurs, des maîtres d'ouvrages et des maîtres d'oeuvre de projets en étude sur l'Île de La Réunion, ou de tout autre acteur impliqué dans la conception ou réalisation de bâtiments. Elle est inspirée du Barème Carbone[®], grille d'évaluation mise au point par BCO2 Ingénierie pour les projets métropolitains.

L'utilisation de tout ou partie de ce document dans un cadre officiel de développement d'un projet réunionnais requiert l'information préalable de l'ADEME DR Réunion. L'utilisation éventuelle et facultative du terme « Barème Carbone » pour la qualifier requiert l'autorisation préalable de BCO2 Ingénierie, dépositaire de la marque Barème Carbone[®].

Cette grille ne se substitue pas à une analyse complète de type Bilan Carbone[®] d'un projet de bâtiment. Elle vise en premier lieu à permettre l'établissement intuitif d'une première estimation de l'impact carbone global d'un projet, notamment au stade de la conception du programme ou de la comparaison d'esquisses ou d'alternatives, par un aménageur, un maître d'ouvrage, un maître d'oeuvre, ou leur bureau d'études associé.

Dans l'éventuel souhait de communiquer une note précise de projets particulièrement vertueux, BCO2 Ingénierie est en mesure d'en réaliser une évaluation fine sur dossier détaillé. L'obtention d'une bonne note au Barème Carbone[®] correspond à l'attribution d'une médaille, à l'image des études réalisées sur le projet de bureaux Darwin à Saint-Denis (Cotel Ingénierie, médaille d'argent), de logements Beauséjour à Sainte-Marie (CBo Territoria, médaille de bronze), et de réhabilitation du siège social du Territoire de la Côte Ouest au Port (TCO, médaille de bronze).

PRINCIPES DE CALCUL

L'outil de référence en France du Bilan Carbone[®] est mis à disposition par l'ADEME et l'Association Bilan Carbone aux prestataires formés et agréés (dont BCO2 Ingénierie fait partie). Il consiste en plusieurs tableurs intégrant une base de données de facteurs d'émission, ainsi que des indications macroscopiques sur l'usage des bâtiments en France par typologie moyenne.

Cet outil, adapté à l'évaluation d'ensemble de bâtiments déjà construits, nécessite un travail spécifiquement adapté pour être appliqué sur des projets précis de bâtiments, et sur leurs alternatives constructives. BCO2 Ingénierie a ainsi développé depuis 2009 un outil précis d'évaluation dédié, lui ayant permis de mettre au point la démarche simplifiée proposée dans ce guide.

2.1. DÉCLINAISON DE LA MÉTHODE AU CAS PARTICULIER DES BÂTIMENTS

Décliné sur le produit « bâtiment », le Bilan Carbone[®] constitue une évaluation globale des émissions de gaz à effet de serre d'un ensemble de logements, de commerces, de bureaux, etc... , prenant en compte la préparation du terrain, la voirie, les études, la construction, et aussi l'utilisation intérieure et les déplacements contraints des futurs résidents et visiteurs.

Les émissions associées, exprimées en tonnes équivalent CO₂, ont lieu en trois phases distinctes : une première phase d'émissions correspond à la conception et réalisation des travaux, une deuxième, annuelle, correspond à l'utilisation, une troisième et dernière phase à la démolition et au recyclage des matériaux.

Les première et troisième phases seront regroupées dans l'appellation « construction » :

- Energie utilisée sur le chantier et chez les fournisseurs intermédiaires de transformation.
- Fabrication de tous les matériaux de base.
- Transports successifs jusqu'au chantier.
- Allers-retours domicile-travail des personnels d'études, de chantier et des autres intervenants.
- Emissions de conception de l'ouvrage et de suivi de chantier par la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et les bureaux d'études.
- Elimination des déchets de chantier.
- Démolition en fin de vie, y compris recyclage des matériaux.

La deuxième phase est appelée « utilisation », et évaluée sur plusieurs décennies :

- Chauffage, refroidissement et ventilation, compris fuites de gaz frigorigène.
- Eau chaude sanitaire.
- Tous les autres usages électriques.
- Electricité éventuellement produite sur le site du projet.
- Déplacements spécifiques des résidents et des visiteurs, directement liés à la localisation ou la nature du bâtiment.
- Repas servis dans le cas d'infrastructures de restauration.
- Eau et déchets.
- Entretien périodique de l'ouvrage.

PRINCIPES DE CALCUL

2.2. GAZ À EFFET DE SERRE RETENUS Tous les gaz à effet de serre (GES) anthropiques significatifs ont été pris en compte dans les calculs, chacun ayant été affecté de son « Pouvoir de Réchauffement Global » (noté entre parenthèses en kg équivalent CO₂/kg de gaz) :

- Dioxyde de carbone (CO₂, 1).
- Méthane (CH₄, 25).
- Protoxyde d'azote (N₂O, 310).
- Ozone (O₃), via les oxydes d'azote (NO_x, 40).
- Hydrofluorocarbures (HFC, 130 à 15 000, dont par exemple le R410A, 1975).
- Chlorofluorocarbures (PFC et CFC, 5 000 à 11 000).
- Hexafluorure de soufre (SF₆, 23 000).

2.3. EXPRESSION DES RÉSULTATS Le résultat total des émissions des bâtiments est ainsi évalué en « tonnes équivalent CO₂ » pour sa « construction », et en « tonnes équivalent CO₂/an » pour son « utilisation ».

Afin de comparer ces deux valeurs, les émissions des travaux sont évaluées sur une durée de vie de 60 ans (à l'image d'une Analyse de Cycle de Vie), incluant la construction initiale cidessus, une réhabilitation à l'identique des corps d'état à moitié vie, et des interventions plus régulières d'entretien. Les émissions des travaux de réhabilitation sont évalués sur un cycle de vie de 30 ans.

Les calculs effectués en tonne équivalent CO₂ font l'objet d'incertitudes relatives, tant sur les quantités associées à chaque donnée, que sur les facteurs d'émission par lesquels elles sont multipliées pour obtenir chaque impact. Aussi, deux calculs réalisés par des bureaux d'études différents peuvent conduire à des écarts de résultats allant de quelques % à parfois quelques dizaines de %.

Cette nature approximative des résultats nous a conduit à proposer une grille ne faisant pas prioritairement référence à des tonnes équivalent CO₂, mais directement à des points par poste principal, évalués en positionnant la description prévisionnelle du projet étudié à deux propositions d'alternatives extrêmes, l'une très émissive, l'autre idéale. Une valeur carbone d'un écart de points est cependant proposée pour permettre l'établissement d'ordres de grandeur de sensibilité.

Ainsi dès l'avant-projet, et sans avoir reçu nécessairement de formation sur l'évaluation des Bilans Carbone®, le concepteur peut se faire une première idée du positionnement carbone de son étude. L'analyse par des yeux plus experts permettra d'affiner d'autant l'affectation des points à chacun de ces postes.

GRILLE D'ÉVALUATION

3.1. PRINCIPE Le principe d'évaluation du Bilan Carbone® du projet repose sur une comparaison de ses caractéristiques principales, par postes principaux, à des descriptifs succincts très optimisés et très dégradés pour chacun. Les chapitres suivants de type « contenu opérationnel » ont été rédigés pour permettre de le recopier intégralement dans l'annexe environnementale d'un appel d'offres.

Le premier contenu opérationnel, qui comprend l'ensemble des critères d'impact, est adapté aux réflexions amont, sur lesquelles le choix du foncier et son aménagement font encore l'objet d'incertitudes et d'alternatives. Le second ne comprend que les latitudes offertes aux maîtres d'œuvre concevant leur projet, sur un foncier déjà déterminé et des aménagements extérieurs indépendants.

Chaque poste est affecté d'un coefficient correspondant au nombre de points qu'obtiendrait le projet le plus vertueux possible, conçu à l'image de la description simplifiée proposée dans le cas « idéal en carbone ». A l'opposé, le pire projet du strict point de vue du carbone, conçu à l'image de la description simplifiée de la dernière colonne, obtiendrait la note 0 sur le poste.

D'un point de vue théorique, le nombre de points à affecter au projet sur un poste en fonction de son descriptif correspond à l'interpolation linéaire de son contenu en émissions globales de GES entre les émissions du descriptif « très émissif » et celles du descriptif « idéal ». Seule une étude détaillée réalisée par un bureau d'études spécialisé en Bilan Carbone® permet d'évaluer précisément le nombre de points obtenu sur chaque poste. Le concepteur peut cependant se faire sa propre évaluation de la note de son projet en comparant successivement ses caractéristiques avec celles des hypothèses extrêmes, en affectant à chaque poste une note intermédiaire intuitive. La lecture des caractéristiques extrêmes peut l'amener à hiérarchiser ses hypothèses alternatives.

Il est à noter que les pondérations ne sont pas proportionnelles aux émissions prévisionnelles du poste dans le Bilan Carbone® du projet, mais proportionnelles à la différence d'émissions entre celles des projets extrêmes. Les notes sont donc le reflet de la latitude de la conception sur les émissions globales du projet.

Une première lecture rapide permet de se rendre compte que l'obtention de la moyenne n'est pas du tout aisée, et qu'il paraît probable que les constructions neuves actuelles obtiendraient plus souvent une note inférieure à 10/20, significative de grandes marges de progrès.

Cette méthodologie ne caractérise que l'impact des émissions de gaz à effet de serre et donc aussi les consommations globales d'énergie. Cependant, l'optimisation de l'impact d'un projet de bâtiment ne doit pas être réalisé sur ce seul critère au détriment d'autres aspects environnementaux majeurs (qualité de l'air, consommation d'eau, pollutions locales diverses, etc...) ou fonctionnels (qualité d'usage).

GRILLE D'ÉVALUATION

3.2.
DOMAINE
D'APPLICATION

Cette version de la grille est directement applicable aux projets de logements (individuels ou collectifs) et/ou de bâtiments de bureaux, neufs ou en réhabilitation, en projet sur l'île de La Réunion. Un ouvrage neuf au sens du Bilan Carbone® correspond à une extension de parc immobilier, ou bien à la démolition-reconstruction d'un site abandonné. Une réhabilitation correspond à un état initial et un état final de même surface utile, ayant fait l'objet de travaux de rénovation ; la démolition-reconstruction d'un site en activité est au sens du carbone une réhabilitation, certes très lourde.

La note globale d'un projet constitué de plusieurs typologies relevant de grilles différentes correspond à la moyenne pondérée par les surfaces utiles de chacune des parties du projet, les surfaces utiles en réhabilitation comptant double. Ainsi par exemple une opération de 8 000 m² ha de logements et 2 000 m² utiles de bureaux, menée sur un site comportant initialement 5 000 m² ha de logements, a une note pondérée selon le calcul suivant :

2/3 de la note « réhabilitation de logements »
+ 1/3 x (60 % de la note « logements neufs »
+ 40 % de la note « bureaux neufs »).

3.3.
PREMIER
EXEMPLE
D'APPLICATION

Une version provisoire de la grille d'évaluation a été insérée dans l'annexe environnementale des critères de sélection des candidats lors de l'appel d'offre de maîtrise d'œuvre de la médiathèque de Saint-Leu, au printemps 2012.

Chacune des esquisses a fait l'objet d'une évaluation comparative par l'Ademe DR Réunion et BCO2 Ingénierie, selon les différents postes de la grille. Les différents projets ont ainsi obtenu des notes estimatives variant de 9 à 12,5 points. Même si ce critère n'était bien entendu pas le seul, le projet finalement retenu par le jury fut celui qui avait obtenu la meilleure note.

3.4.
CORRESPONDANCE
AVEC LES
ÉMISSIONS DE GES

A titre indicatif, un point d'écart correspond approximativement à 8 kg équ. CO₂/m² (ha ou utile)/an en ouvrage neuf et environ 15 kg équ. CO₂/m² (ha ou utile) / an en réhabilitation.

Pour rappel, à La Réunion, l'économie d'un kW.h d'électricité, dans le cadre d'une alternative de choix possibles ou de travaux de réhabilitation énergétique correspond à un ordre de grandeur d'évitement de 1 kg équ. CO₂.

3.5. PROJETS MÉDAILLABLES AU BARÈME CARBONE® L'attribution de médailles du Barème Carbone®, prérogative exclusive de BCO2 Ingénierie (www.bco2.fr), est nécessairement consécutive à une étude précise sur dossier détaillé, et se fait selon les minima suivants obtenus :

- 11/20 et plus : médaille de bronze
- 13/20 et plus : médaille d'argent
- 15/20 et plus : médaille d'or

CONTENU OPERATIONNEL EN PHASE AMONT

(AMÉNAGEURS ET MAÎTRES D'OUVRAGES)

Le projet à concevoir fera l'objet d'une analyse prévisionnelle de son Bilan Carbone® selon la grille d'évaluation présentée ci-après (ou Barème Carbone®), qui a été mise au point à l'issue d'études détaillées de projets réunionnais de logements et de bureaux.

Elle se présente sous la forme de postes sur chacun desquels il convient d'appliquer une note (colonne «Projet») comprise entre 0 et la note maximale du poste considéré («Pondération»). Un descriptif très simplifié décrit les caractéristiques de la meilleure note possible («Projet idéal en carbone»), ainsi que celle de la note la pire («Projet très émissif»).

Cette approche ne requiert a priori aucune connaissance particulière en Bilan Carbone®. Elle permet donc à tout concepteur, à n'importe quel stade d'avancement de son projet, de se faire sa propre idée du positionnement relatif de son projet et de ses propres hypothèses alternatives de conception.

La notation comprend des postes relatifs à la construction même du projet, d'autres à l'utilisation prévisionnelle du projet par ses futurs résidents, et quelques options particulières de conception. Les notes des postes sont simplement additionnées pour obtenir au final une note globale estimative.

4.1. OPÉRATIONS NEUVES (EN EXTENSION DE PARC IMMOBILIER)

Voir tableau de la page ci-contre.

* l'atteinte des objectifs Perene correspond en première approximation à 3 points en logements et 4,5 points en bureaux.

** la somme de toutes les consommations électriques de besoins standards est ici considérée de l'ordre de 75 kW.h/m² habitable en logement et 125 kW.h/m² utile en bureaux.

*** les déplacements aller-retour domicile-travail par actif évalué en km équivalent voiture particulière varient d'environ 40 à 120 km / semaine en logements, et d'environ 50 à 150 km/ semaine en bureaux, depuis les meilleurs emplacements jusqu'aux plus éloignés.

Le co-voiturage permet d'améliorer la note vers la note maximale du poste en proportion des véhicules.km qui seront ainsi supprimés. L'usage de transports en commun, dans un contexte assez supérieur au taux d'utilisation habituel, peut aussi être pris en compte ainsi.

L'usage de véhicules électriques se rechargeant sur le réseau n'apportent pas de modification de note. En revanche s'ils sont systématiquement rechargés par un moyen concomitant et dédié produisant de l'Énergie Renouvelable, alors la note peut être aussi améliorée en proportion des km concernés que l'on supposera supprimés en première approximation.

Poste	Pondération		Projet idéal en carbone (note maximale)	Projet note	Projet très émissif (note 0)
	Logts.	Bur.			
Voirie	0,5	0,5	Route adjacente ancienne et indépendante du projet		Route d'accès et de desserte récente liée au projet
Structure	2	1,5	Sol très portant, sans sous-sol, ossature mixte bois-béton, charpente en bois		Fondations profondes, sous-sols sous l'emprise, béton de masse généralisé, charpente métallique
Corps d'état	1,5	1	Matériels simples et matériaux naturels locaux, châssis et bardages en bois		Moyens complexes, instal. photovoltaïque, recours massif au métal
Bioclimatisme : Refroidissement (et/ou chauffage)	4	6	Toiture isolée, ventilation naturelle et protections solaires optimales, aucun besoin de climatisation (ni de chauffage)	*	Peu d'isolation, peu de ventilation naturelle, et peu de protections solaires, climatisation (et chauffage) 6 mois/an **
Eau chaude sanitaire	1	0	80 % de taux de couverture solaire		50 % de taux de couverture solaire **
Éclairage	1	1	Naturel au maximum (autonomie 80 %/8h-18h)		Majoritairement artificiel (autonomie 50 % / 8h-18h) **
Autres consommations électriques	1	1	Besoins en électricité spécifique au minimum		Besoin standard en électricité spécifique **
Production d'électricité	4	4	Autonomie électrique		Sans production
Localisation : Commune ***	3	4	Minimisation des déplacements pendulaires		Situation à la frange de l'étalement urbain
Quartier	1	0	Établissements scolaires et commerces à pieds ou transport en commun direct		Idem distants et nécessitant des véhicules individuels
Divers (entretien, adduction d'eau, rejets et déchets)	1	1	Entretien minime, autonome en eau, tri complet des déchets		Entretien standard, adduction d'eau, eaux usées, ordures ménagères
	20	20			

CONTENU OPERATIONNEL EN PHASE AMONT

(AMÉNAGEURS ET MAÎTRES D'OUVRAGES)

Options complémentaires

	Pondération	Projet idéal en carbone	Projet	Projet très émissif
Jardin privatif (en logements)	+ 0,5	Chaque logement dispose d'un jardin privatif		Aucun jardin privatif, balcons standards
Modes de déplacement doux	+ 0,5	Facilité totale d'accès à tous les modes doux		Limitation au respect de la réglementation
Accompagnement permanent	+ 0,5	Suivi énergétique en temps réel très réactif		Sans disposition particulière
Restauration collective sur site	+ 2	Nourriture végétarienne, bio, locale et de saison		Nourriture standard
Changement d'affectation du sol	- 0,5	Suppression d'un champ de canne (projet + abords)		Terrain initial sans végétation significative

4.2.
OPÉRATIONS
DE RÉHABILITATION
(OU DE DÉMOLITION -
RECONSTRUCTION)

	Pondération	Projet idéal en carbone	Projet	Projet très émissif
Poste		(note maximale)	note	(note 0)
Travaux	2,5	Rénovation légère limitée à des isolants et des protections solaires, plutôt en matériaux naturels, et à des matériels simples		Démolition totale et reconstruction en béton de masse, avec usage de matériaux minéraux et de matériels complexes
Ventilation et rafraîchissement	8	Initial très énergivore, final en ventilation naturelle, brasseurs d'air et sans climatisation		Initial peu énergivore, final guère plus performant
Autres consommations	1	Minimales, dont éclairage naturel maximisé, éclairage artificiel très économe et asservi		Standard
Production d'électricité	3	Autonomie électrique		Sans production sur le site du projet
Déplacements	5	Relocalisation depuis l'étalement urbain vers une zone centrale optimale		Relocalisation depuis une zone centrale vers l'étalement urbain
Divers	0,5	Initial gourmand en eau et sans tri des déchets, final quasi autonome		Sans amélioration de la situation initiale
	20			

CONTENU OPERATIONNEL EN PHASE AMONT

(AMÉNAGEURS ET MAÎTRES D'OUVRAGES)

Options complémentaires

	Pondération	Projet idéal en carbone	Projet	Projet très émissif
Relogement provisoire	+ 0,25	Travaux en site occupé		Déménagement dans des logements économes
Espaces verts (en logements)	+ 0,25	Création d'un jardin privatif par logement		Sans évolution particulière
Accompagnement permanent	+ 0,25	Suivi énergétique en temps réel très réactif		Sans évolution particulière
Restauration collective sur site	+ 1	Mise en place de nourriture végétarienne, bio, locale et de saison		Sans évolution particulière

4.3. OPÉRATIONS CUMULANT RÉHABILITATION ET EXTENSION

L'équivalent de la surface utile initiale doit être caractérisée selon la grille «opérations de réhabilitation», et le complément de surface utile selon la grille «opérations neuves». Il convient de signaler que les surfaces utiles réhabilitées comptent double dans la note finale.

Les données sont reportées dans le tableau de calcul ci-dessous :

	Surface	Note
Surface utile initiale	S1 :	N1 :
Surface utile étendue	S2 :	N2 :
Ensemble de l'opération	$S_u = S1 + S2$	$Note = (2 \times S1 \times N1 + S2 \times N2) / (2 \times S1 + S2)$

CONTENU OPERATIONNEL EN PHASE DE CONCEPTION

(MAÎTRISE D'OEUVRE CONCEVANT SUR UN SITE PRÉ-DÉTERMINÉ)

5.1.
OPÉRATIONS
NEUVES
(EN EXTENSION
DE PARC
IMMOBILIER)

Le projet à concevoir fera l'objet d'une analyse prévisionnelle de son Bilan Carbone[®] selon la grille d'évaluation présentée ci-après (ou Barème Carbone[®]), qui a été mise au point à l'issue d'études détaillées de projets réunionnais de logements et de bureaux.

Elle se présente sous la forme de postes sur chacun desquels il convient d'appliquer une note (colonne «Projet») comprise entre 0 et la note maximale du poste considéré («Pondération»). Un descriptif très simplifié décrit les caractéristiques de la meilleure note possible («Projet idéal en carbone»), ainsi que celle de la note la pire («Projet très émissif»).

Cette approche ne requiert a priori aucune connaissance particulière en Bilan Carbone[®]. Elle permet donc à tout concepteur, à n'importe quel stade d'avancement de son projet, de se faire sa propre idée du positionnement relatif de son projet et de ses propres hypothèses alternatives de conception.

La notation comprend des postes relatifs à la construction même du projet, d'autres à l'utilisation prévisionnelle du projet par ses futurs résidents, et quelques options particulières de conception. Les notes des postes sont simplement additionnées pour obtenir au final une note globale estimative.

Voir tableau de la page 13.

* l'atteinte des objectifs Perene correspond en première approximation à 3 points en logements et 4,5 points en bureaux.

** la somme de toutes les consommations électriques de besoins standards est ici considérée de l'ordre de 75 kW.h/m² habitable en logement et 125 kW.h/m² utile en bureaux.

CONTENU OPERATIONNEL EN PHASE DE CONCEPTION

(MAÎTRISE D'OEUVRE CONCEVANT
SUR UN SITE PRÉ-DÉTERMINÉ)

Poste	Pondération		Projet idéal en carbone	Projet	Projet très émissif
	Logts.	Bur.			
Voirie	0,5	0,5	Route adjacente ancienne et indépendante du projet	note	(note 0) Route d'accès et de desserte récente liée au projet
Structure	2	1,5	Sol très portant, sans sous-sol, ossature mixte bois-béton, charpente en bois		Fondations profondes, sous-sols sous l'emprise, béton de masse généralisé, charpente métallique
Corps d'état	1,5	1	Matériels simples et matériaux naturels locaux, châssis et bardages en bois		Moyens complexes, instal. photovoltaïque, recours massif au métal
Bioclimatisme : Refroidissement (et/ou chauffage)	4	6	Toiture isolée, ventilation naturelle et protections solaires optimales, aucun besoin de climatisation (ni de chauffage)	*	Peu d'isolation, peu de ventilation naturelle, et peu de protections solaires, climatisation (et chauffage) 6 mois/an **
Eau chaude sanitaire	1	0	80 % de taux de couverture solaire		50 % de taux de couverture solaire **
Éclairage	1	1	Naturel au maximum (autonomie 80 %/8h-18h)		Majoritairement artificiel ** (autonomie 50 % / 8h-18h)
Autres consommations électriques	1	1	Besoins en électricité spécifique au minimum		Besoin standard en électricité spécifique **
Production d'électricité	4	4	Autonomie électrique		Sans production
Divers (entretien, adduction d'eau, rejets et déchets)	1	1	Entretien minime, autonome en eau, tri complet des déchets		Entretien standard, adduction d'eau, eaux usées, ordures ménagères
	16	16			

Options complémentaires

	Pondération	Projet idéal en carbone	Projet	Projet très émissif
Jardin privatif (en logements)	+ 0,5	Chaque logement dispose d'un jardin privatif		Aucun jardin privatif, balcons standards
Modes de déplacement doux	+ 0,5	Facilité totale d'accès à tous les modes doux		Limitation au respect de la réglementation
Accompagnement permanent	+ 0,5	Suivi énergétique en temps réel très réactif		Sans disposition particulière
Restauration collective sur site	+ 2	Nourriture végétarienne, bio, locale et de saison		Nourriture standard

CONTENU OPERATIONNEL EN PHASE DE CONCEPTION

(MAÎTRISE D'OEUVRE CONCEVANT
SUR UN SITE PRÉ-DÉTERMINÉ)

**5.2.
OPÉRATIONS
DE RÉHABILITATION
(OU DE DÉMOLITION -
RECONSTRUCTION)**

	Pondération	Projet idéal en carbone	Projet	Projet très émissif
Poste		(note maximale)	note	(note 0)
Travaux	2,5	Rénovation légère limitée à des isolants et des protections solaires, plutôt en matériaux naturels, et à des matériels simples		Démolition totale et reconstruction en béton de masse, avec usage de matériaux minéraux et de matériels complexes
Ventilation et rafraîchissement	8	Initial très énergivore, final en ventilation naturelle, brasseurs d'air et sans climatisation		Initial peu énergivore, final guère plus performant
Autres consommations	1	Minimales, dont éclairage naturel maximisé, éclairage artificiel très économe et asservi		Standard
Production d'électricité	3	Autonomie électrique		Sans production sur le site du projet
Divers	0,5	Initial gourmand en eau et sans tri des déchets, final quasi autonome		Sans amélioration de la situation initiale
	16			

Options complémentaires

	Pondération	Projet idéal en carbone	Projet	Projet très émissif
Relogement provisoire	+ 0,25	Travaux en site occupé		Déménagement dans des logements économes
Espaces verts (en logements)	+ 0,25	Création d'un jardin privatif par logement		Sans évolution particulière
Accompagnement permanent	+ 0,25	Suivi énergétique en temps réel très réactif		Sans évolution particulière
Restauration collective sur site	+ 1	Mise en place de nourriture végétarienne, bio, locale et de saison		Sans évolution particulière

CONTENU OPERATIONNEL EN PHASE DE CONCEPTION

(MAÎTRISE D'OEUVRE CONCEVANT SUR UN SITE PRÉ-DÉTERMINÉ)

5.3.
OPÉRATIONS
CUMULANT
RÉHABILITATION
ET EXTENSION

L'équivalent de la surface utile initiale doit être caractérisée selon la grille «opérations de réhabilitation», et le complément de surface utile selon la grille «opérations neuves». Il convient de signaler que les surfaces utiles réhabilitées comptent double dans la note finale.

Les données sont reportées
dans le tableau de calcul ci-dessous :

	Surface	Note
Surface utile initiale	S1 :	N1 :
Surface utile étendue	S2 :	N2 :
Ensemble de l'opération	$S_u = S1 + S2$	$\text{Note} = (2 \times S1 \times N1 + S2 \times N2) / (2 \times S1 + S2)$

CONTEXTE ET OBJET DE LA MISSION

A l'échelle d'un pays comme la France, l'impact du secteur du bâtiment est aujourd'hui de l'ordre de 35 à 40 % des émissions de gaz à effet de serre du pays :

- Utilisation des bâtiments : 20 à 25 %
- Construction des ouvrages neufs et réhabilitations : environ 5 %
- Déplacements des résidents et des marchandises en conséquence directe de la localisation des ouvrages : environ 10 %

La Direction Régionale Réunion de l'ADEME a confié à BCO2 Ingénierie, bureau d'études spécialisé en bilans carbone®, et plus particulièrement sur ceux qui concernent les projets de bâtiments, l'analyse des quatre opérations suivantes :

- Le projet « Darwin », immeuble R+3 de bureaux en construction sur Saint-Denis, du maître d'ouvrage SCA Darwin (Cotel Ingénierie)
- Le projet « Beauséjour », 208 logements en immeuble R+5, dont l'îlot 16A de 43 logements, représentatif de l'ensemble, du maître d'ouvrage CBO Territoria.
- Le projet du Centre Commercial des Avirons, de 7 000 m² de surface de vente comprenant un supermarché, un ensemble de boutiques et un restaurant.
- Le projet de réhabilitation et d'extension du siège de la Communauté d'Agglomération Territoire de la Côte Ouest (3 820 m² utiles).

Le présent rapport contient une analyse distincte de chaque projet. Il a conduit à la rédaction d'un « guide pratique d'évaluation » permettant d'appréhender de manière rapide et simplifiée la performance carbone relative d'un projet, à tout point d'avancement de sa conception.

Afin d'éviter de répéter plusieurs fois certaines logiques de raisonnement dans les paragraphes dédiés aux projets, les argumentaires développés dans les paragraphes des deuxième à quatrième projets seront plus centrés sur leur spécificité.

PÉRIMÈTRE ET PRINCIPALES HYPOTHÈSES DE CALCUL

L'outil de référence en France du « Bilan Carbone[®] » est mis à disposition par l'ADEME et l'Association Bilan Carbone aux prestataires formés et agréés (dont BCO2 Ingénierie). Il consiste en plusieurs tableurs intégrant une base de données de facteurs d'émission, ainsi que des indications macroscopiques sur l'usage des bâtiments en France par typologie moyenne.

Cet outil, adapté à l'évaluation d'ensemble de bâtiments déjà construits, nécessite un travail spécifiquement adapté pour être appliqué sur des projets précis de bâtiments, et sur leurs alternatives constructives.

2.1. **DÉCLINAISON** **DE LA MÉTHODE** **AU CAS PARTICULIER** **DES BÂTIMENTS**

BCO2 Ingénierie a développé un outil de calcul des émissions des gaz à effet de serre des bâtiments, respectant les principes de la méthode officielle Bilan Carbone[®], et intégrant notamment des facteurs d'émissions marginaux lorsque leur utilisation est justifiée. Il est à jour des dernières évolutions de la version 7 de la méthodologie de l'ADEME, et dispose à ce jour d'environ 700 facteurs d'émissions spécifiquement dédiés aux ouvrages et à leur utilisation.

Décliné sur le produit « bâtiment », le Bilan Carbone[®] devient une évaluation globale multicritères des émissions de gaz à effet de serre d'un ensemble de logements, de commerces, de bureaux, etc..., prenant en compte la préparation du terrain, la voirie, les études, la construction, l'utilisation intérieure et les déplacements contraints de ses futurs résidents.

Les émissions associées, exprimées en tonnes équivalent CO₂, ont lieu en trois phases distinctes : une première phase d'émissions correspond à la conception et réalisation des travaux, une deuxième, annuelle, correspond à l'utilisation, une troisième et dernière phase à la démolition et au recyclage des matériaux.

Les première et troisième phases seront regroupées dans l'appellation « construction » :

- énergie utilisée sur chantier et chez les fournisseurs intermédiaires de transformation,
- fabrication des matériaux de base de tous les corps d'état,
- transports successifs jusqu'au chantier,
- allers-retours domicile-travail des personnels d'études, de chantier et des autres intervenants,
- émissions de conception de l'ouvrage et de suivi de chantier par la maîtrise d'ouvrage, la maîtrise d'œuvre et les bureaux d'études,
- élimination des déchets de chantier,
- démolition en fin de vie, y compris recyclage des matériaux.

PÉRIMÈTRE ET PRINCIPALES HYPOTHÈSES DE CALCUL

La deuxième phase est appelée « utilisation », et évaluée sur plusieurs décennies :

- chauffage, refroidissement et ventilation, compris émissions directes de gaz frigorigène
- eau chaude sanitaire,
- tous les autres usages électriques,
- électricité éventuellement produite par le projet,
- déplacements spécifiques des résidents, directement liés à la localisation ou la nature du bâtiment,
- repas servis dans le cas d'infrastructures de restauration – produits commercialisés le cas échéant
- eau et déchets
- Entretien périodique de l'ouvrage (hors rénovation lourde)

Chaque paragraphe des parties descriptives du projet, associés à l'analyse des plans et/ou des métrés, a fait l'objet de saisies individuelles à l'aide d'un ou plusieurs facteurs d'émission pertinents. Cela permet de démultiplier les analyses de sensibilité du résultat à de multiples variantes envisageables.

2.2. **GAZ** **À EFFET DE SERRE** **RETENUS**

Tous les gaz à effet de serre (GES) anthropiques significatifs ont été pris en compte dans les calculs, chacun ayant été affecté de son « Pouvoir de Réchauffement Global » (noté entre parenthèses en kg équivalent CO₂/kg) :

- dioxyde de carbone (CO₂, 1),
- méthane (CH₄, 25),
- protoxyde d'azote (N₂O, 310)
- ozone (O₃), via les oxydes d'azote (NO_x, 40, hors liste des gaz du protocole de Kyoto)
- hydrofluorocarbures (HFC, 130 à 15 000, dont par exemple le R410A, 1975)
- chlorofluorocarbures (PFC et CFC, 5 000 à 11 000)
- hexafluorure de soufre (SF₆, 23 000).

Le résultat total des émissions des bâtiments est ainsi évalué en « tonnes équivalent CO₂ » pour sa « construction », et en « tonnes équivalent CO₂/an » pour son « utilisation ». Afin de comparer ces deux valeurs, les émissions de construction sont communément divisées par une durée d'amortissement de plusieurs décennies, fonction de la pérennité supposée des travaux.

De multiples incertitudes sont associées à chaque paramètre de calcul, tant sur les quantités exactes de matériaux consommés et/ou mis en oeuvre, leur origine géographique, leur parcours, le fonctionnement exact des usines les ayant fabriqués en amont, que des consommations réelles d'énergie par les utilisateurs. Ainsi les valeurs annoncées dans ce rapport doivent toutes être considérées par défaut avec un ordre de grandeur d'incertitude de 30 %. Cela permet d'avoir une approche hiérarchisée des sources et des alternatives, comportant souvent de grands écarts bien supérieurs à cette incertitude, et souvent indépendamment de leurs coûts respectifs.

2.3. PRINCIPAUX FACTEURS D'ÉMISSIONS SIGNIFICATIFS

La liste des précisions apportées ci-dessous reprennent et parfois adaptent au contexte des projets de bâtiments les facteurs d'émission génériques diffusés par l'ADEME. Ils sont aussi inspirés de sources diverses comme le Ministère public, l'INSEE, les documentations et FDES des fabricants, les bases de données ECO-INVENT, IBO, etc... Une attention particulière a été menée pour prendre en compte le «guide des facteurs d'émissions pour les DOM, la Corse et la Nlle Calédonie» (version 5.0). L'objectif des paragraphes suivants est de donner un éclairage sur les facteurs d'émissions ayant un rôle significatif sur les résultats.

Facteur d'émission du Ciment

Le ciment comporte essentiellement deux sources d'émissions : les consommations énergétiques du processus industriel et les émissions directes de CO₂ lors du processus amont de décarbonatation du calcaire en chaux. Cette dernière permettra de produire le clinker, produit largement prépondérant dans l'impact global du ciment. La recarbonatation partielle qui se produit en surface des matériaux en œuvre a été prise en compte sur la période d'utilisation du bâtiment, ce qui réduit un peu son facteur d'émission initial. Chaque type de béton a été associé à un type de ciment spécifique contenant une proportion variable de clinker, de 20 à 100 % selon les cas.

Facteur d'émission du bois

Le bois est un matériau particulier dont les émissions de gaz à effet de serre comprennent la constitution d'une réserve figée de carbone provenant de la croissance de sa matière ligneuse avec la photosynthèse. Ainsi et uniquement lorsqu'il est issu de forêts durablement gérées (par opposition à la déforestation), sa mise en œuvre constitue un « puits de carbone », en ce sens qu'elle évite le pourrissement dans la forêt des vieux arbres morts.

Nous avons valorisé de manière distincte la totalité du carbone stocké dans le cas de présence de bois de structure, ou de bois manifestement appelé à être remplacé par du bois lors d'éventuelles rénovations ultérieures (bardages, menuiseries extérieures). Le puits de carbone constitué par le bois d'œuvre a été valorisé dans sa totalité après déduction de l'éventuelle présence initiale de bois sur site.

En revanche le bois au caractère provisoire à l'échelle de la durée de vie de l'ouvrage a été valorisé au prorata d'une durée de vie prévisionnelle sur 100 ans (menuiseries intérieures, éléments rapportés).

PÉRIMÈTRE ET PRINCIPALES HYPOTHÈSES DE CALCUL

Facteur d'émission de l'existant/projets

Les Bilans Carbone® des bâtiments existants sont communément évalués en émissions moyennes annuelles d'utilisation estimées pour l'année 2010, c'est à dire avec des facteurs d'émissions moyens, intégrant au prorata de leurs usages respectifs les différents moyens de production des matériaux ou des sources d'énergie.

En revanche, les projets neufs se doivent d'être calculés en émissions marginales liées aux moyens supplémentaires spécifiquement mis en oeuvre pour satisfaire les besoins nouveaux générés par l'ouvrage au cours de sa construction (estimations 2010) et de son utilisation (estimations 2025 supposées représentatives de la moyenne des émissions des trois premières décennies d'utilisation). Dans le cas de rénovations, ce sont les mêmes moyens que l'on évite d'activer lorsque la demande se trouve réduite, consécutivement aux travaux.

Taux de recyclage des métaux

Chaque facteur d'émission de matériau constituant un ouvrage peut contenir un certain pourcentage physique, ou moyen prévisionnel, issu de sa filière de recyclage, qui peut être très significatif dans le cas des métaux utilisés dans la construction des bâtiments.

Dans le cas particulier de l'acier, dont l'approvisionnement est réalisé à partir de deux filières différentes, nous avons considéré que l'acier de structure des bâtiments proviendrait exclusivement de la filière électrique (recyclage), dans une logique d'équilibre permanent de la filière face à la demande, alors que l'acier plus technique déclenche la production d'autant de masse dans la filière de haut fourneau. Il sera en fin de vie recyclé dans la filière électrique.

Dans le cas des autres métaux, et constatant un contexte de croissance mondiale de la demande, l'impact d'une demande supplémentaire en matériaux que constitue un projet déclenche directement ou indirectement la production de métal neuf, tout en créant dans une légère aspiration supplémentaire de recyclage, dépendant du taux courant de collecte, de sa saturation, et de la capacité du processus industriel à l'intégrer. Nous avons considéré par défaut une élasticité de 5 % de la collecte de ces métaux à un supplément de demande et un évitement de production en fin de vie, dépendant de son échéance, dans un contexte carbone significativement plus sobre qu'aujourd'hui.

Exemples de valeurs matériaux

A titre d'exemple illustratif, le tableau suivant donne quelques exemples de facteurs d'émissions de ces matériaux d'impact assez significatif, dans leur forme la plus courante :

Matériau primaire (hors fret)	Facteur d'émission	Principales sources
Ciment CEM II A (contenant 80 à 94 % de clinker)	820 kg CO ₂ ^e /t	Données des cimentiers, Base Carbone® Ademe
Acier recyclé (armatures, profilés de charpente)	1 700 kg CO ₂ ^e /t	FDES corrigée en électricité marginale
Acier de haut fourneau (pièces techniques et/ou tôles fines)	4 600 kg CO ₂ ^e /t	Base Carbone® Ademe, Procédés du Bilan Produit, corr. électricité marginale
Bois de densité 550 kg/m ³ , hors puits de carbone	130 kg CO ₂ ^e /m ³	FDES diverses avec retrait de l'évaluation du puits de carbone
Bois de densité 550 kg/m, compris puits de carbone	- 685 kg CO ₂ ^e /m ³	Idem avec prise en compte distincte du puits de carbone d'un bois sec standard
Aluminium qui sera recyclé dans environ 30 ans	8 300 kg CO ₂ ^e /t	Base Carbone® Ademe, Procédés du Bilan Produit, corr. électricité marginale, hyp. neuf vs recyclé de - 40 % en 2040

Facteur d'émission de l'électricité de réseau

L'analyse du contenu carbone du kWh à La Réunion est un point crucial de l'analyse. Son contenu moyen est constitué en 2010 de 49 % de centrales thermiques au charbon, 20 % d'hydroélectricité, 18 % de centrales thermiques au fioul lourd et au gazole, 10 % de la combustion de bagasse, et 4% d'autres EnR. La valeur moyenne de l'électricité consommée, intégrant toutes les émissions amont, celles de l'amortissement des moyens, ainsi que les pertes en ligne, est de l'ordre de 1,0 kg équ. CO₂/kWh.

Il ne fait aucun doute que malgré le développement sur l'île de moyens de production d'origine renouvelables, et de multiples incitations pour juguler l'augmentation de la demande, les prochaines décennies seront très significativement et en permanence approvisionnées depuis les centrales thermiques.

PÉRIMÈTRE ET PRINCIPALES HYPOTHÈSES DE CALCUL

Aussi les moyens concernés pour produire l'électricité supplémentaire demandée par les projets (ou bien évités suite à des rénovations réduisant la demande), seront les seules centrales thermiques disponibles. L'addition des émissions directes des centrales thermiques (quotas déclarés en 2010) et des émissions amont des combustibles (Ademe V6.1) permettent d'estimer une production électrique provenant du charbon à 1,53 kg équ. CO₂/kWh, et celle à base de fioul lourd et de gazole à 0,85 kg équ. CO₂/kWh. L'écart entre production totale (2 701 GWh) et consommation totale (2 467 GWh) est de + 9,5 %, ce qui augmente d'autant ces valeurs, en premier ordre de grandeur, à respectivement 1,67 et 0,94 kg équ. CO₂/kWh en 2010 (NB : 1,67 et 0,96 en 2009).

La production d'électricité par des moteurs diesel et des turbines à combustion, est coûteuse et répond à une logique d'électricité de pointe, peu souvent sollicitée (21 % de taux de charge en 2010), alors que l'électricité produite à partir de charbon (houille) permet d'assurer pour un coût moindre une production de base relativement constante (86 % de taux de charge). Nous considérerons en première approximation que les moments où les premiers moyens de pointe fonctionnent correspondent à environ la moitié du temps, principalement en journée et en soirée.

La comparaison des perspectives de croissance de la demande, la mise en place de moyens de production d'énergie renouvelables, voire le stockage de la grande majorité des émissions des centrales thermiques au charbon n'arriveront pas à changer ce constat d'activation marginale avant plusieurs décennies. Ainsi, à l'horizon 2025, nous supposerons une amélioration du rendement des centrales au charbon en en convertissant la moitié au process de gazéification ; l'efficacité des moyens de pointe existant sera aussi améliorée avec le renouvellement des moteurs et turbines à combustion. Nous supposerons des émissions marginales calculées sur la base des moyennes des émissions unitaires de ces moyens respectifs, notamment sans considérer parmi eux que les plus vieux, les moins efficaces ou les plus polluants seront activés en dernier.

Nous retiendrons donc les émissions marginales de l'électricité suivantes :

Émissions de l'électricité marginale réunionnaise (kg équ. CO ₂ /kWh)	Moyen sollicité	Actuelle 2010	Hypothèse 2025
Consommation permanente ou aléatoire	charbon	1,67	1,3
Consommation de journée et/ou de soirée	fioul/gazole	0,95	0,85

Ces valeurs, avec un signe moins devant, correspondront aussi à l'évitement constitué par les économies et/ou l'injection sur le réseau d'électricité éventuellement produite par le projet.

Installations photovoltaïques

Par défaut, la technologie retenue sont des panneaux photovoltaïques de type polycristallin, de fabrication chinoise. Les facteurs d'émissions sont basés sur les rapports d'E. Alsema et Hespul.

Déplacements des personnels d'étude et de chantier

Les émissions de déplacement domicile-travail et de missions des personnels d'études et de chantier ont été évaluées en valeur moyenne en fonction de la quantité de travail correspondante, ramenée par journée. L'analyse du guide des facteurs d'émission DOM 5.0 nous a conduit à augmenter les émissions kilométriques métropolitaines de 20 % (davantage de transport amont du carburant, moindre proportion de routes rapides, usage accru de la climatisation).

Fret des matériaux

Des distances moyennes et moyens usuels de transport ont été pris en compte pour chaque matériau primaire constituant les éléments mis en oeuvre dans l'ouvrage. Nous avons systématiquement retenu un approvisionnement par la mer, ce qui conduit généralement à augmenter la « distance équivalente fret routier » des principaux matériaux.

Durée d'amortissement des travaux

Dans le cas général, les émissions de la construction initiale ont été distinguées des émissions d'utilisation ; cependant, afin de confronter l'importance des travaux de celles d'utilisation dans certaines analyses, une durée de vie de 60 ans a été considérée, incluant une réhabilitation des corps d'état à l'identique au bout de 30 ans. En parallèle une estimation des petits travaux d'entretien a été effectuée, sur la base des composants nécessitant probablement d'être rénovés ou changés plus régulièrement (tableau détaillé en annexe 1).

Émissions énergétiques d'utilisation intérieure

Les émissions relatives aux consommations de chauffage, de refroidissement ou de climatisation, d'eau chaude sanitaire et d'usages spécifiques ont été reprises directement des Études Thermiques des projets, lorsqu'elles étaient indiquées, et complétées par des valeurs moyennes de consommation lorsqu'elles en étaient absentes. Les valeurs reprises n'ont volontairement pas été corrigées du risque de surconsommation du fait d'un écart d'utilisation des futurs résidents. Cet écart peut cependant être corrigé proportionnellement à partir des valeurs lues sur les diagrammes.

Fuites de fluides frigorigènes

Les gaz HFC présents dans les groupes frigorifiques ou les pompes à chaleur sont des puissants gaz à effet de serre, lorsque ces systèmes fuient, par porosité des soudures, dysfonctionnement, rupture accidentelle ou mise en décharge sauvage en fin de vie. Nous avons retenu dans les calculs un taux global moyen de 7 % de fuite annuelle de la charge initiale présente dans les systèmes.

PÉRIMÈTRE ET PRINCIPALES HYPOTHÈSES DE CALCUL

Déplacements spécifiques des résidents

Seuls ont été évalués et intégrés les déplacements strictement dépendants de la localisation et de la nature du bâti, c'est à dire essentiellement ceux qui sont susceptibles de varier très significativement si l'on change l'ouvrage de lieu (par exemple en le construisant dans une autre commune).

Ce sont donc notamment des aller-retours quotidiens domicile-travail des actifs, aux établissements scolaires, des courses hebdomadaires, mais pas les activités annexes que nous jugeons a priori en quantité indépendantes de la nature ou de la localisation du bâtiment.

Dans le cas de bureaux, le nombre de postes de travail a été repris de l'étude réelle d'aménagement. Le nombre de personnes présentes quotidiennement dans le bâtiment intègre un taux de vacance des espaces et la non saturation de leur aménagement (de 20 % à eux deux), et un taux de présence intégrant l'absentéisme et les missions extérieures (de 80 %).

Dans le cas de logements, le nombre et la nature des résidents a été évalué en fonction de la surface des logements et de la nature de l'occupation des logements similaires de la même commune.

Dans chacun des cas, la connaissance précise des premiers résidents (employés de bureaux ou résidents des logements) ne nous apparaissent pas comme des données essentielles, étant entendu que la durée de vie de l'ouvrage est a priori bien supérieure à la période d'installation des premiers occupants. La convergence à terme vers la moyenne communale a été privilégiée.

Les domiciles et moyens de transports quotidiens des résidents ont été évalués à l'aide de l'analyse de statistiques inter-communales de 2006 ou 2008 englobant la totalité des emplois situés autour du site étudié.

Les émissions des véhicules individuels, évalués en 2025, ont fait l'objet d'une hypothèse d'amélioration d'efficacité énergétique de 25 % par rapport à 2010. Cette valeur nous paraît cohérente avec le rapport Petrel 2009 qui propose d'un côté un scénario tendanciel incluant une amélioration de 25 % de l'efficacité énergétique en 2030/2007, et d'un autre un scénario idéal Starter 2030 ayant le même gain en consommation mais avec la moitié de véhicules électriques approvisionnés sur EnR et l'autre moitié fonctionnant au biogaz.

Restauration collective

Les opérations tertiaires de taille importante contiennent souvent un restaurant d'entreprise, qui se doit donc d'être évalué, tant en aménagement qu'en utilisation, sur la base des statistiques de contenu moyen en gaz à effet de serre de repas moyens français. Notre opération de bureaux n'étant pas de taille suffisante pour accueillir un, nous avons évalué en variante le potentiel de réduction d'une simulation d'application de cahier des charges restreint en CO2 des plats servis, sur la base d'un nombre prévisionnel de repas servis en rapport avec la surface utile de l'ouvrage.

Produits commercialisés

L'analyse du projet de centre commercial intègre la prise en compte d'estimations du Bilan Carbone® des produits commercialisés consommés par les clients.

Voirie

Il arrive souvent que des projets bénéficient de voiries existantes, leur évitant de devoir les créer. Afin de ne pas occulter leur impact dans le cas d'aménagements complets les nécessitant, nous avons évalué en variante la construction neuve de la moitié des voiries périphériques adjacentes.

Eau

Nous avons pris en compte une estimation des émissions amont de la distribution d'eau potable.

Déchets

L'évaluation de l'impact des déchets (eaux usées et poubelles) est basée sur des moyennes de déchets produits, intégrant ou non leur recyclabilité selon les dispositions des projets.

Variations d'albédo

En complément des gaz à effet de serre directement et indirectement émis lors de la phase de construction, une équivalence en « CO2 de construction » des conséquences annuelles de la variation d'albédo a été valorisée (propension des surfaces exposées au soleil à provoquer, par rapport aux surfaces qu'elles remplacent, un réchauffement équivalent à celui d'une émission initiale de CO2), sur la base des publications de H. Akbari (Lawrence Berkeley National Laboratory, 2008).

Documents généraux supports des analyses

Guide des FE DOM Corse et Nouvelle Calédonie (ADEME, version 5.0)
Bilans énergétiques ARER 2009, 2010 et 2011
Rapport prospectif Petrel 2020-2030 (ARER juillet 2009)
Rapport SRCAE Ademe 2011
Bilan Prévisionnel de l'équilibre offre/demande d'électricité, Ile de La Réunion (EdF juillet 2011)
Potentiel et perspective des EnR sur l'île de La Réunion, J. Baddour et J. Percebois (mars 2011)
Cumul moyen annuel du rayonnement global à l'horizontale 1999-2003 (Météo France)
Guide de la climatisation individuelle réunionnaise (Syref 2010)
Enquête EdF LH2 sur l'usage de la climatisation par les ménages réunionnais (octobre 2008)

PÉRIMÈTRE ET PRINCIPALES HYPOTHÈSES DE CALCUL

2.4. EXPRESSION DES RÉSULTATS

Les résultats des émissions de construction sont d'abord exprimés en «tonne équivalent CO₂». Elles sont présentées en ventilation par postes du descriptif, puis en ventilation par matériau primaire (sortant des usines primaires comme des aciéries, cimenteries, etc...) et chantier.

Les émissions d'utilisation sont exprimées en «tonnes équ. CO₂/an», et décomposées par source de dépense énergétique : chauffage-refroidissement-ventilation, eau chaude sanitaire, usage spécifique (électricité), production, hors énergie (fuites de fluides frigorigènes), déplacement des résidents, restauration collective, produits commercialisés, eau et déchets.

Les valeurs des différents postes peuvent être directement lues sur les diagrammes, même si ceux-ci ne permettent pas de distinguer plus de deux chiffres significatifs. Dans tous les cas tout affichage de valeurs plus précises est inutile étant donné la marge d'incertitude.

2.5. NOTION COMPLÉMENTAIRE D'ÉNERGIE GRISE

L'énergie grise, terme non normalisé, correspond dans ce rapport à une définition assez couramment utilisée, c'est à dire «l'ensemble de l'énergie consommée en amont jusqu'à la toute première utilisation du produit par le client final». Son périmètre de calcul peut donc être considéré comme identique à celui des «émissions de construction», si ce n'est que son unité est le «kW.h d'énergie primaire» et non les émissions de GES. L'énergie grise inclue donc les consommations de la phase conception, la fabrication des matériaux primaires, leur transport jusqu'au chantier et leur mise en œuvre.

L'outil d'évaluation développé par BCO₂ Ingénierie renseigne automatiquement pour chaque poste, donc avec la même maille que celle des émissions de construction, l'énergie primaire de chaque matériau, chaque transport, etc... permettant donc ensuite les mêmes extractions que celles effectuées en émissions de GES (par matériau primaire et chantier ou bien par lot du descriptif des travaux).

Les deux principales différences relatives entre les postes ci-dessus et leur pendant énergétique sont le ciment d'impact relatif trois fois moindre (pas de consommation énergétique associée à l'émission directe de CO₂ par décarbonatation amont du calcaire), et le bois dont la notion de «puits de carbone» ne correspond à aucun évitement de dépense énergétique. Les autres postes de la construction sont relativement proportionnels aux émissions.

Ce type d'analyse en kW.h ep n'est selon nous devenu beaucoup moins pertinent au XXI^e siècle, car l'urgence de réduire l'ensemble des émissions de gaz à effet de serre est devenue prioritaire sur la crainte prochaine d'une pénurie énergétique : les réserves mondiales d'énergie fossile (pétrole + gaz + charbon, conventionnelles + non conventionnelles) permettent largement de maintenir la croissance linéaire de la consommation énergétique mondiale pendant encore plusieurs décennies, et peuvent conduire à une déstabilisation du climat avant que le véritable déclenchement de leur raréfaction entraîne de fait une réduction drastique des émissions de GES.

Au delà de ce périmètre amont d'investigation, et pour ce qui concerne les « consommations énergétiques » et « émissions marginales de GES » de la phase « utilisation », nous constatons souvent une relative proportionnalité des graphiques entre ces deux notions.

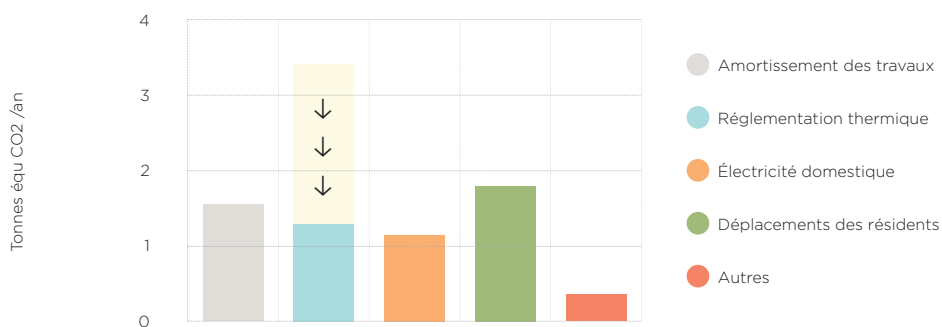
Dans le cas particulier de la métropole, les raisonnements en « consommation d'énergie primaire » sont d'ailleurs beaucoup plus proches de ceux des « émissions marginales de GES » que le sont les calculs « réglementaires d'émissions de CO₂ » dont les facteurs d'émissions imposés sont des « valeurs moyennes » ; ces derniers incluent en effet sur l'électricité de réseau une proportion majoritaire d'électricité nucléaire souvent peu concernée par des hypothèses alternatives appelant des demandes futures différentes.

2.6. ORDRES DE GRANDEUR EN MÉTROPOLE

Avant d'analyser les différents projets réunionnais, voici ci-dessous quelques ordres de grandeurs de constructions en métropole de projets de bâtiments BBC (Bâtiments Basse Consommation, performance énergétique obligatoire à partir de 2013).

Les émissions de construction conventionnelles pour 100 m² habitables, sont de l'ordre de 50 tonnes équ.CO₂ pour une maison individuelle maçonnée conventionnelle, et de l'ordre de 60 tonnes équ.CO₂ pour un appartement d'un petit collectif en béton.

Les émissions d'utilisation, ainsi que l'amortissement annuel des émissions de construction précitées sont présentés dans le diagramme suivant, représentatif d'une localisation moyenne de proche banlieue d'une grande ville.



On peut constater en métropole qu'après plusieurs décennies d'exigences réglementaires et d'optimisations techniques associées sur l'impact du chauffage et de l'eau chaude sanitaire, le périmètre réglementaire est devenu en BBC RT 2012 plutôt minoritaire (zone bleu clair), rejoint et souvent dépassé par l'impact de la construction, celui des autres consommations électriques, et/ou celui des déplacements contraints des résidents.

Le cas des bureaux est relativement similaire en première approximation, les autres usages électriques étant essentiellement constitués par la bureautique, les déplacements des résidents contenant davantage d'aller-retours quotidiens domicile-travail par surface utile, mais avec un kilométrage unitaire inférieur en moyenne.

BILAN CARBONE® DU PROJET « BUREAUX DARWIN »

Le projet retenu est un bâtiment de bureaux réalisé sur cinq niveaux de 2 100 m² Shon, à l'est de Saint-Denis, sur l'île de La Réunion (vue en perspective et plan d'étage courant en annexe).

Le bâtiment est constitué d'un sous-sol à usage de parking, d'un rez de jardin comprenant un plateau de bureaux, puis trois niveaux RdC à R+2 comprenant des espaces de bureaux paysagés et cloisonnés (une zone de stockage initialement prévue sur les plans mais supprimée en cours de conception a été intégrée sous forme de variante augmentant les émissions).

La structure du bâtiment est entièrement en béton armé ; les points porteurs reposent sur des semelles superficielles.

Les façades courantes sont constituées de menuiseries aluminium. Les allèges et trumeaux sont majoritairement revêtus d'un bardage en bac acier (Ondulit).

La performance énergétique attendue correspond au programme Prébat 1 Réunion (consommations conventionnelles < 60 kWh/m² SU). Le refroidissement est assuré par des groupes froids reliés à des unités de soufflage.

Sa localisation est sur la ZAC Technor, à l'est de la commune de Saint-Denis. Nous supposons qu'il remplace un champ, et que les voiries périmétriques sont pré-existantes.

Il dispose d'un petit espace cafétéria, et en toiture-terrasse d'une installation photovoltaïque conséquente associée à un parc de batteries.

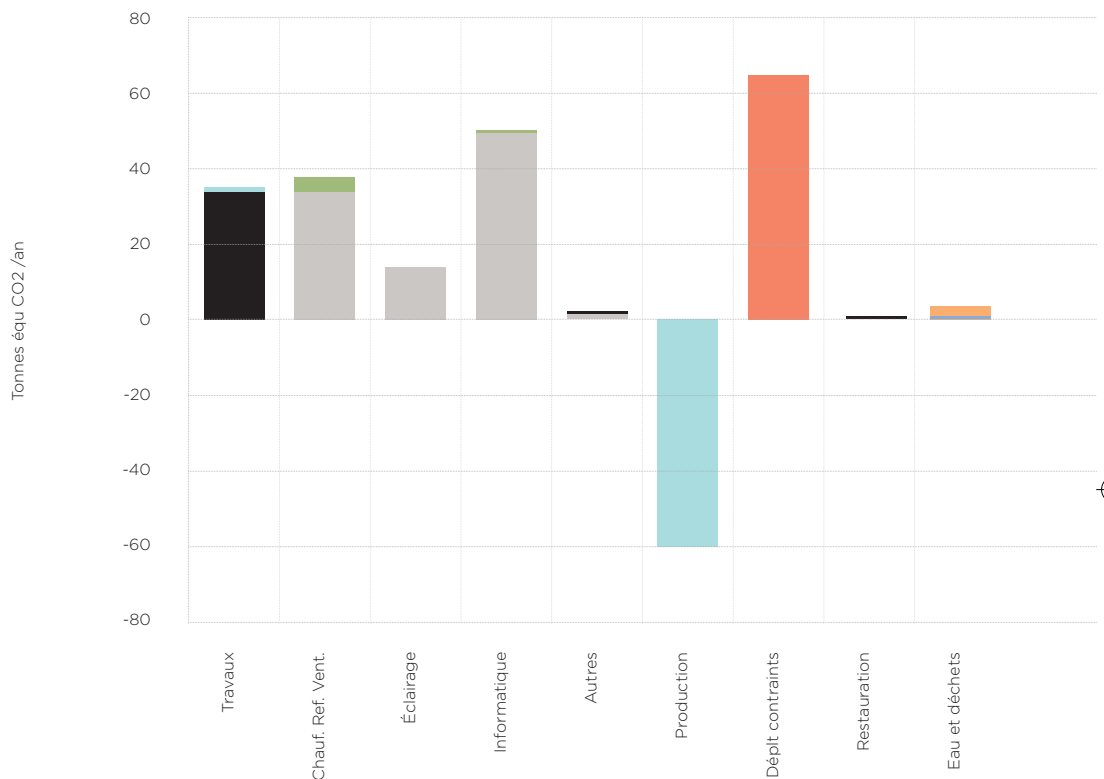
Liste des documents remis à BCO2 Ingénierie et ayant permis d'extraire les principales données d'entrées spécifiques au projet :

- Documents architecturaux (Architecte côté sud)
 - Plan de masse
 - Plans des niveaux, coupes, façades
 - Descriptif détaillé des lots du C.C.T.P.
 - Métre estimatif du C.D.P.G.F.
- Documents de structure (FEDT)
 - Plans d'avant-projet béton
 - Plans d'exécution (jusqu'au R+1)
- Étude thermique (Etamine)
 - Dossier Prebat
- Autres documents techniques (Cotel)
 - Offres des entreprises
 - Lieu de résidence du personnel et moyen de locomotion domicile-travail
 - Caractéristiques de l'installation photovoltaïque

**3.1. ÉMISSIONS GLOBALES
DU PROJET**

Le total des émissions de gaz à effet de serre s'élève à environ **1 250 tonnes équ.CO2 de construction, puis 115 tonnes équ.CO2/an d'utilisation** au cours des prochaines décennies.

Le diagramme suivant en présente les principales sources aux côtés de l'amortissement des travaux :



Emissions annuelles de GES du projet Darwin

● Divers ● Déchets ● Eau ● Halocarbures ● Électricité ● Combustible ● Travaux

Par ordre d'importance, les émissions principales sont :

1. les déplacements contraints des résidents
2. la production photovoltaïque
3. les usages liés à l'informatique
4. le refroidissement et la ventilation des locaux
5. la construction de l'ouvrage et son entretien

Les émissions de construction sont cependant émises au moment du chantier (près de 45 fois plus), ce qui leur confère certainement une importance relative supérieure, ci-après détaillée.

BILAN CARBONE® DU PROJET « BUREAUX DARWIN »

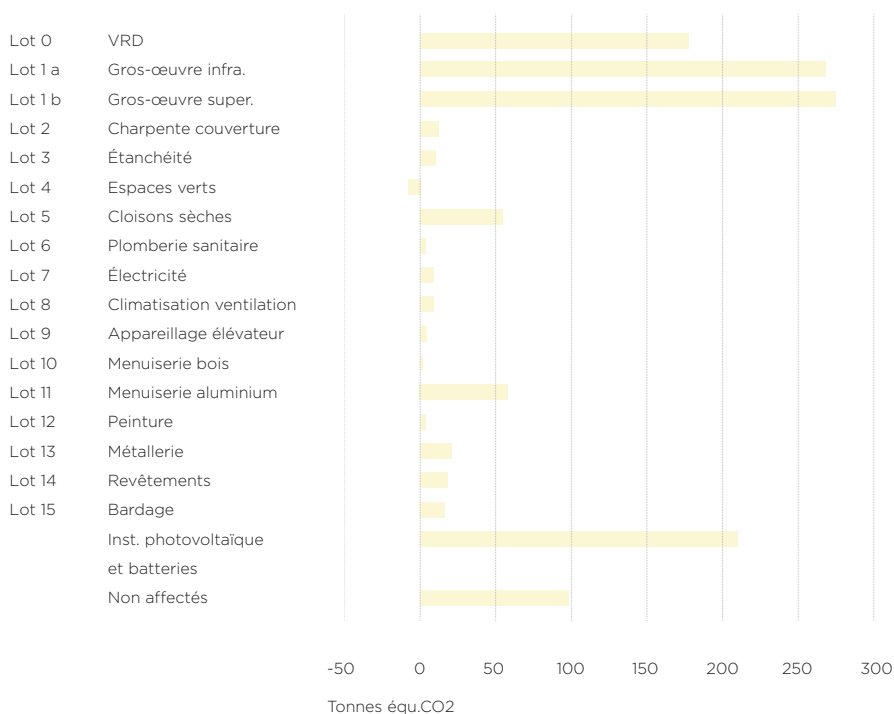
3.2. CONSTRUCTION Les émissions « non affectées » correspondent essentiellement aux études globales, au changement d'affectation du sol, à une partie de l'électricité de chantier, aux immobilisations de chantier, à la fin de vie de l'ouvrage.

Les lots principaux sont, par ordre d'importance :

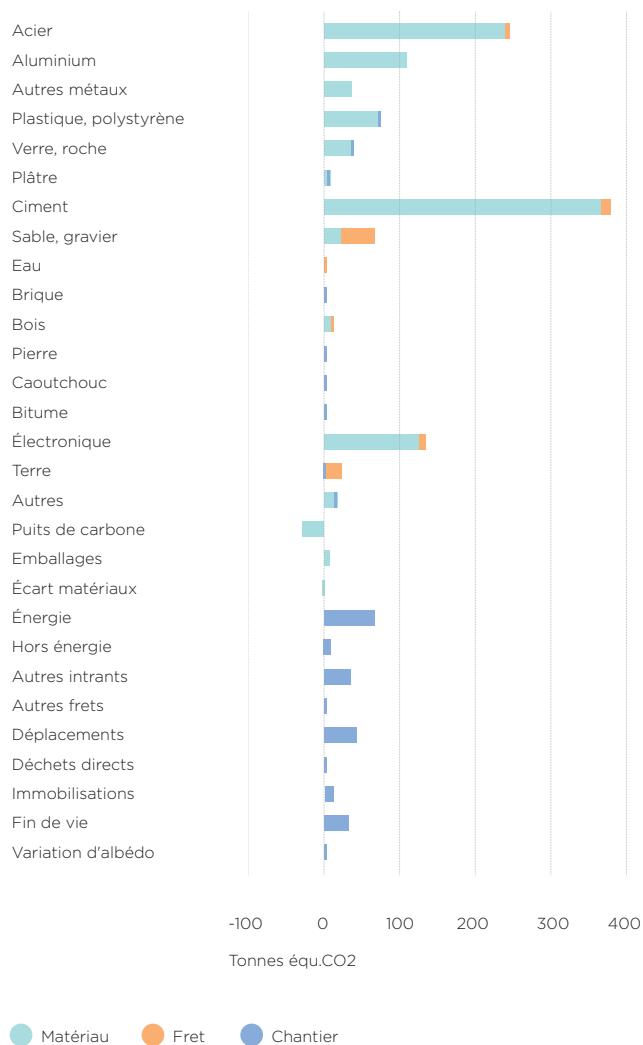
- Le lot 1 gros-oeuvre (près de la moitié du total). On peut constater que les fondations, le sous-sol et le rez-de-jardin (compris son plancher-haut) en représentent plus de la moitié.
- L'installation photovoltaïque et ses batteries associées.
- Le lot 0 VRD. A noter qu'il ne s'agit là que des travaux intérieurs à la parcelle et relatifs à son accès, mais pas à la voirie adjacente qui est ici existante.
- Le lot 11 menuiserie aluminium regroupant la totalité des châssis de façade.
- Le lot 5 cloisons sèches, dont l'impact est essentiellement constitué par les faux-plafonds.

Les autres lots sont d'un impact relativement mineur. Il ne sont cependant pas à ignorer dans le cas général, car pouvant être parfois significativement plus impactant (Charpente, couverture, isolation par exemple), ou permettant d'envisager des économies non négligeables d'émissions correspondante à la totalité du poste (exemple : bardages, cf variantes).

Ci-dessous et ci-contre deux diagrammes décomposant les émissions de construction, l'un relatifs des lots du CCTP, l'autre aux matériaux primaires et reste du chantier :



Emissions annuelles de GES du projet Darwin



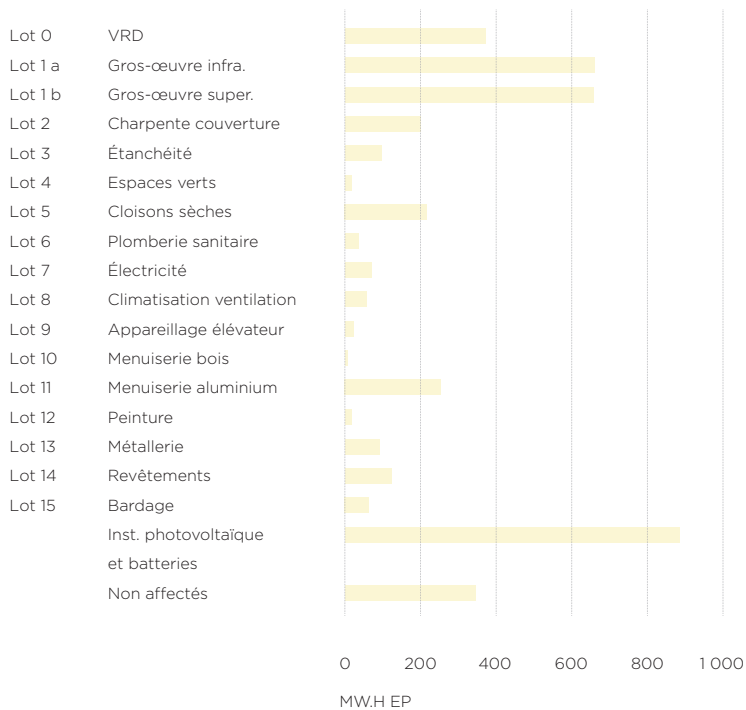
Darwin : émissions de construction par matériau

Les principaux postes de la décomposition par matériau et reste du chantier sont :

- Le béton armé (plus de 50 %) à l'image de la prédominance du lot gros-œuvre.
- L'électronique (dont dérivés) incluse dans l'installation photovoltaïque.
- L'aluminium, à parts à peu près égales entre châssis et ossatures de faux-plafonds.
- Les plastiques et polystyrène.
- L'énergie consommée directement sur le chantier et chez les fournisseurs intermédiaires.
- Les déplacements des intervenants du chantier.
- Le verre.

Le bois apparaît à la fois en valeur positive du fait de ses transformations et transports successifs, et aussi en valeur négative du fait du CO₂ qu'il contribue à éliminer de l'atmosphère en stockant du carbone, qui est en valeur absolue supérieur.

BILAN CARBONE® DU PROJET « BUREAUX DARWIN »



Darwin : énergie grise par lot

Ces résultats correspondent à une «**énergie grise**» d'environ **4 300 MW.h.**

Au delà de l'écart habituel entre l'approche en énergie grise et celle en émissions de construction sur les postes « ciment » et « bois » (cf § 2.5 des hypothèses de calcul), il convient de souligner toutefois ici l'importance de l'installation photovoltaïque conduisant à utiliser beaucoup d'électricité en amont lors de sa fabrication.

3.3. UTILISATION INTÉRIEURE Les consommations retenues dans les calculs sont celles proposées par Etamine dans son dossier Prebat (§ 7.5.2 page 39), ré-évaluées pour atteindre une moyenne constatée sur la première année de 54,5 kWh/m² su :

Hypothèses de consommations (kWh/m² SU/an)	
Refroidissement ventilation	17,5
Éclairage	10
Informatique	26
Autres	1

Refroidissement et ventilation

Compte-tenu des dispositifs de ventilation naturelle et de brassage d'air, les calculs théoriques de confort thermique concluent à un usage suffisant du dispositif de rafraîchissement pendant trois mois de l'année.

Au vu de l'importance de l'impact de ce poste, il conviendra de veiller à vérifier que l'usage réel correspondra, tant en température de consigne qu'en durée de la période de refroidissement. Sans quoi il conviendra de réajuster proportionnellement ce poste, qui a donc le potentiel de devenir le premier impact.

Une part mineure de chauffage de l'eau chaude sanitaire a été incluse.

Éclairage

Éclairage de tous les locaux, bureaux et communs.

Informatique

Les émissions liées à l'informatique concerne le fonctionnement des ordinateurs des résidents, du serveur, et le refroidissement de ce dernier. Il convient de signaler que cela n'inclue pas la fabrication de ces moyens informatiques, qui ne relèvent que de l'utilisateur. Ce dernier doit cependant mener une réflexion sur la pertinence de renouvellement de son matériel pour correctement arbitrer entre économie d'électricité à l'usage et amortissement de la fabrication des nouveaux ordinateurs.

Autres

Le fonctionnement de l'ascenseur, de la porte automatique de parking, et de quelques réfrigérateurs a été évalué en complément.

Restauration collective

Du fait de la taille relativement modeste de l'opération, il est seulement prévu un local cafétéria, et donc pas de Restaurant Inter Entreprises (RIE), qui peut constituer le cas échéant un poste significatif du Bilan Carbone® d'une opération de bureau. Une évaluation proportionnelle de ce point est réalisée en variante.

Eau et traitement des déchets

Ce poste est relativement secondaire du point de vue des émissions globales de CO₂. Il n'en demeure pas moins important quant à ces conséquences en terme de développement durable (sobriété en eau, tri des déchets, limitation des eaux usées).

BILAN CARBONE® DU PROJET « BUREAUX DARWIN »

3.4. DÉPLACEMENTS CONTRAINTS DES RÉSIDENTS

En reprenant les hypothèses de calcul du dossier Prebat (15 à 18 m² de surface utile de bureaux par personne), le nombre de postes de travail est estimé à 90. L'aménagement des bureaux sur les plans est majoritairement paysager.

Nous avons supposé que la vacance périodique d'utilisation, cumulée d'une non atteinte de la capacité ci-dessus indiquée, est de 80 % ; nous avons par ailleurs supposé une présence quotidienne sur site de 80 % des personnes par rapport au nombre de postes effectifs de travail.

L'essentiel des déplacements contraints des futurs résidents est constitué par les déplacements quotidiens domicile-travail (91 % du total, le reste étant constitué par la pause déjeuner, quelques déplacements annexes, le courrier et la récolte des déchets). Du fait de la localisation à l'est de la commune de Saint-Denis, nous avons considéré en base que leurs lieux de résidence correspond à la moyenne de ceux des actifs travaillant actuellement sur les communes de Saint-Denis et de Sainte-Marie.

Cela correspond à un déplacement quotidien moyen de 22 km aller-retour par résident en voiture particulière, essentiellement constitué par des personnes résidant sur d'autres communes (qui se rendent à leur travail à 93 % en voiture ou 2-roues), sachant que 65 % des actifs de Saint-Denis résident dans leur propre commune.

3.5. VARIANTES DE CONSTRUCTION

A travers ces différents constats, les paragraphes suivants vont se concentrer sur l'identification des alternatives principales, c'est à dire établir une liste de variantes réduisant ou augmentant significativement le résultat global.

La prédominance du lot gros-oeuvre, ainsi que la part significative de quelques lots particuliers (menuiseries extérieures, plafonds, etc...) a directement conduit à identifier les pistes de réduction suivantes, certaines n'étant pas directement applicables sur ce projet du fait de contraintes propres au site retenu ; la conscience de leur importance relative est néanmoins intéressante à souligner, dans le cadre de réflexions sur des projets futurs similaires.

- Suppression du parking en sous-sol : remplacement des places de parking en sous-sol par des places extérieures.
- Planchers bois collaborants : remplacement des dalles pleines entre niveaux de bureaux (plancher bas du RdC au R+2, hors noyaux) par des planchers collaborants constitués de poutres en bois et d'une dalle de compression en béton.
- Façades maçonnées : remplacement des voiles de façade par des maçonneries creuses enduites.
- Façades bois (au lieu de maçonnées) : réduction complémentaire des émissions liées au remplacement des façades maçonnées ci-dessus en façades bois, compris remplacement de l'Onduit par du bardage en bois.

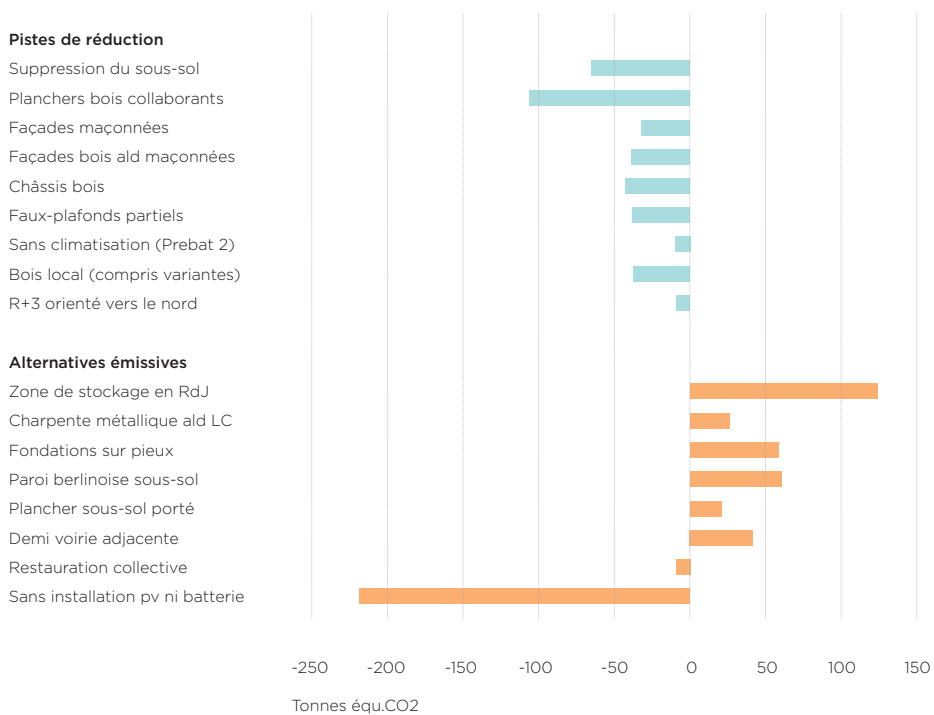
- Châssis bois : remplacement des châssis aluminium (hors châssis d'accès fréquents maintenus en aluminium) en châssis profilé bois.
- Faux-plafonds partiels : remplacement de l'ossature et des dalles par des panneaux rigides suspendus, ne couvrant que 50 % de la surface des plafonds.
- Suppression de la climatisation (avec maintien d'un petit groupe froid et de soufflages pour le local serveur) : cette disposition permet notamment de satisfaire les exigences du Prebat 2 (consommations < 40 kWh/m²).
- Bois local (compris variantes) : valorisation de l'impact qu'aurait un approvisionnement local de la totalité du bois d'oeuvre, pour une quantité intégrant les variantes bois ci-dessus.
- Toiture R+3 orientée vers le nord : le pivotement à 90° vers le nord de la toiture arrondie permet de diminuer un peu la surface de panneaux photovoltaïque pour une même production d'électricité.
- Zone de stockage au rez-de-jardin : valorisation de la modification conduisant à réaliser des locaux semi-enterrés en excroissance d'environ 300 m², qui ont été supprimés en fin de conception.
- Charpente métallique : remplacement de l'ossature de la toiture arrondie en bois lamellé collé par une charpente métallique (variante proposée et chiffrée dans le projet).
- Fondation sur pieux : remplacement des semelles superficielles par des pieux béton à la tarière creuse, dans l'hypothèse d'un sol peu portant nécessitant de s'ancrer à 20 mètres.
- Paroi berlinoise sous-sol : hypothèse où la nature du sol et/ou les contraintes de bâtiments en limite de propriété obligent à réaliser une paroi de soutènement périmétrique des existants autour du sous-sol.
- Plancher du sous-sol porté : remplacement du dallage flottant par un plancher porté, nécessaire dans le cas d'un sol de faible qualité.
- Demi-voirie adjacente : hypothèse de réalisation complète de la moitié des deux rues longeant la parcelle, le long de celle-ci, à l'image de ce qu'il faudrait provisionner dans le cas d'absence de voirie existante.
- Restauration collective : avec une hypothèse de restaurant inter entreprise évalué en proportion de 50 couverts servis quotidiennement, nécessitant une extension du bâtiment (et déduction faite de la surface du local cafétéria).
- Suppression de l'installation photovoltaïque et du parc de batteries.

Les deux diagrammes suivants illustrent les évolutions des émissions de construction consécutives à chacune de ces dispositions. La totalité des hypothèses de réduction (compris suppression de l'installation photovoltaïque) représente environ - 565 tonnes équ.CO2 (- 45 %), la totalité des augmentations (compris installation photovoltaïque) + 315 tonnes équ.CO2 (+ 25 %).

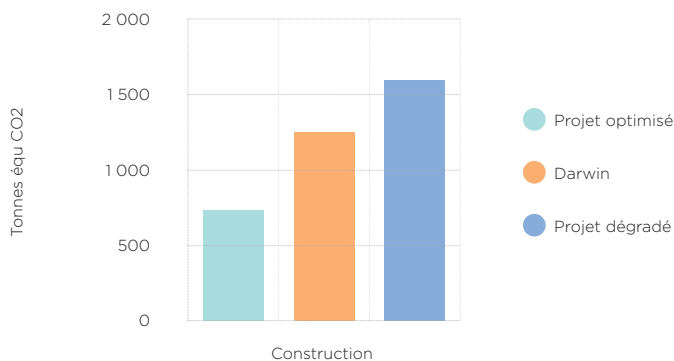
BILAN CARBONE® DU PROJET « BUREAUX DARWIN »

Les deux diagrammes suivants illustrent les évolutions des émissions de construction consécutives à chacune de ces dispositions.

La totalité des hypothèses de réduction (compris suppression de l'installation photovoltaïque) représente environ - 565 tonnes équ.CO2 (- 45 %), la totalité des augmentations (compris installation photovoltaïque) + 315 tonnes équ.CO2 (+ 25 %).



Darwin : variantes d'émissions de construction



Synthèse construction Darwin

Il faut souligner que ces idées sont toutes supérieures aux impacts des revêtements de surface (sols souples, sols durs et peinture), sur lesquels il est donc peu pertinent de proposer des variantes sur le critère GES, au regard de leurs autres impacts environnementaux.

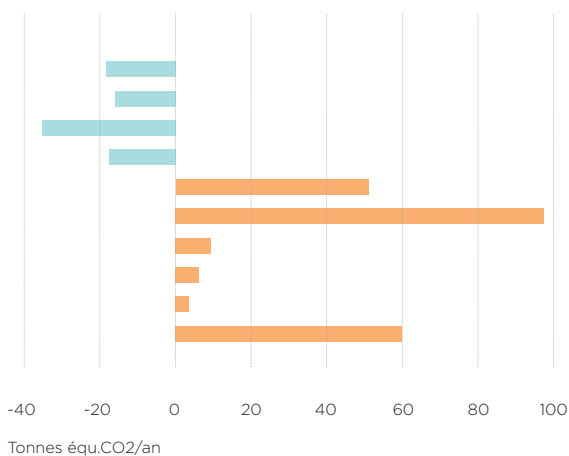
3.6. VARIANTES D'UTILISATION

En complément des variantes de construction précédemment énumérées ayant un impact sur l'utilisation (suppression de la climatisation, installation photovoltaïque et restauration collective), nous avons évalué les variantes suivantes :

- Trajets domicile-travail des premiers résidents Cotel, Fedt et Eicr : réajustement de l'évaluation statistique des déplacements des résidents en extrapolant les véritables trajets des personnels de ces trois sociétés à l'ensemble de la capacité de l'immeuble.
- Localisation sur Le Tampon ou Saint-Joseph : simulation d'un projet similaire localisé sur ces communes situées à l'opposé de l'île, en supposant que les résidents résideront de manière équivalente aux actifs travaillant actuellement dans ces communes.
- Restauration collective : impact des repas servis le midi dans l'hypothèse de l'intégration au projet d'un restaurant inter-entreprises proportionnel à la taille de l'ouvrage et d'un cahier des charges réduisant globalement de moitié l'impact moyen des repas en équivalent CO₂. Cela peut être obtenu avec une proportion de bio et une restriction des approvisionnements par avion.
- Atteinte Perene (90 kWh/m²) : augmentation des consommations électriques globales jusqu'à atteindre 90 kWh ef/m² SU.
- Base actuelle (120 kWh/m²) : augmentation des consommations électriques globales jusqu'à atteindre 120 kWh ef/m² SU.
- Localisation sur Le Port : commune proche identifiée comme la moins favorable (voir § suivant).
- Localisation en retrait d'un km : hypothèse d'une localisation éloignée d'un km du réseau routier principal, obligeant tous les résidents à effectuer quotidiennement 2 km supplémentaires.

Pistes de réduction

Sans climatisation (Prebat 2)
Dom-Tr. Cotel extrapolés
Le Tampon ou St-Joseph
Restauration collective CO₂e/2
Atteinte Perene (90 kWh/m²/an)
Base actuelle (120 kWh/m²/an)
Localisation sur Le Port
Localisation en retrait d'1 km
Sans tri de déchets
Sans installation pv ni batt.



Darwin : variantes d'émissions de construction

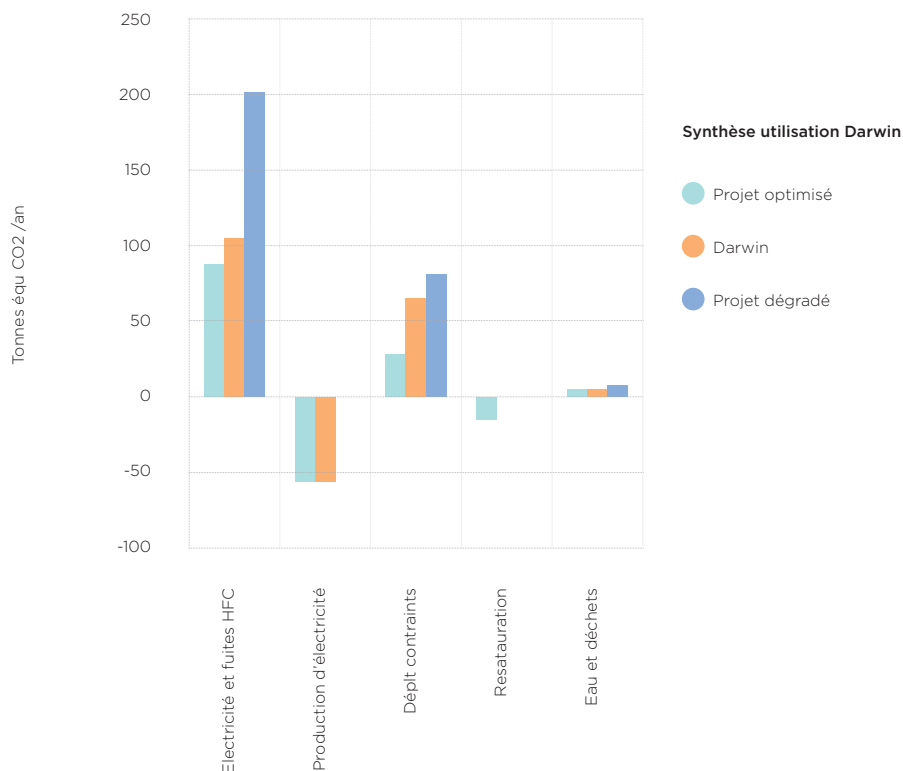
BILAN CARBONE® DU PROJET « BUREAUX DARWIN »

Hors doublons, La totalité des hypothèses de réduction représente - 80 tonnes équ. CO₂/an d'économie (- 70 %), la totalité des augmentations (avec l'atteinte du Perene) + 130 tonnes équ.CO₂/an (+ 110 %).

L'installation photovoltaïque revêt ici une importance majeure. Elle est à la fois performante en quantité d'électricité produite, comme en durée d'amortissement : les émissions relatives de construction sont amorties après 4 années d'utilisation. Cette relative performance est due à la combinaison d'une insolation importante (1 950 kW.h/m²/an à Saint-Denis) et d'une électricité marginale évitée particulièrement chargée en carbone (voir § 2.3). Il convient de souligner que le même calcul réalisé en métropole donne un résultat beaucoup moins intéressant, avec une durée d'amortissement de l'ordre du double au triple (qui devient alors significativement supérieure à la durée d'amortissement des travaux classiques d'isolation lors de la réhabilitation de bâtiments qualifiés de « passoires thermiques »).

Le deuxième impact concerne le refroidissement, dont l'impact peut être significativement supérieur à Darwin, même dans le cas de l'atteinte du Perene.

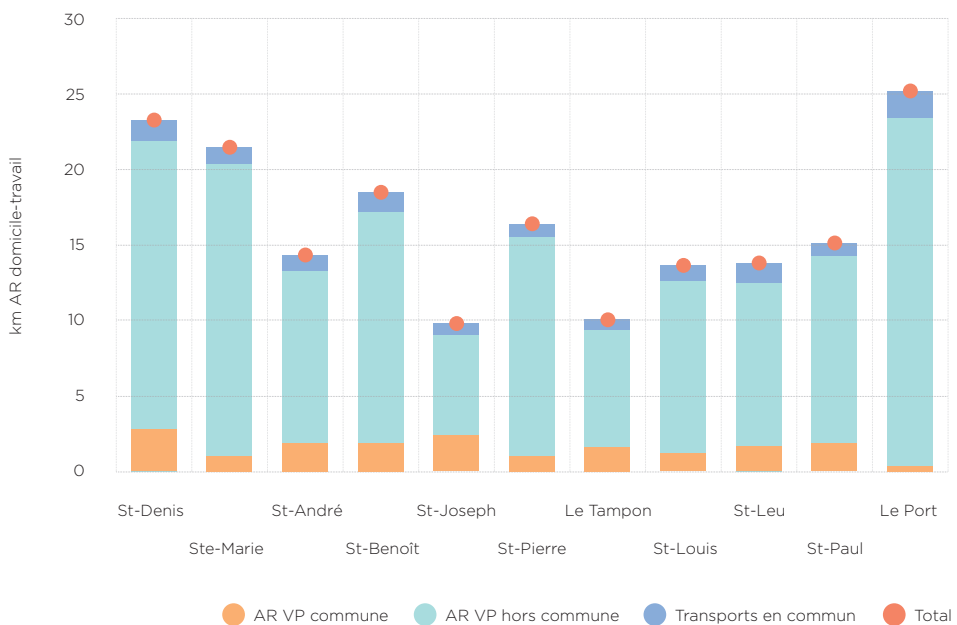
A noter l'impact de la restauration collective, lorsqu'elle existe dans le cadre du programme. Elle recèle des opportunités significatives de réduction relative de plusieurs dizaines de pour-cents, en contraignant la nature et la provenance des aliments servis dans le cahier des charges de consultation de l'entreprise qui gèrera le restaurant (moindre usage de viande rouge, bio partiel, ressources locales, etc...).



Les alternatives de localisation sont à considérer ici avec beaucoup de recul. Par exemple, le déplacement du projet Darwin au Sud de l'île serait à court terme une augmentation catastrophique des émissions (de l'ordre de + 200 % du total !), du fait que la grande majorité des futurs premiers résidents résident au nord de l'île. Même si les premiers résidents ne sont pas représentatifs de la localisation moyenne des résidents tout au long de la vie de l'ouvrage, leur prise en compte à court terme n'est donc pas du tout négligeable...

3.7.
ALTERNATIVES
DE LOCALISATION

L'analyse des données d'activité et de déplacements permet faire une synthèse relative de la distance moyenne domicile-travail des actifs travaillant dans une commune donnée, en distinguant la part de distance relative à ceux qui résident dans leur commune de travail, et de la part des transports en commun :



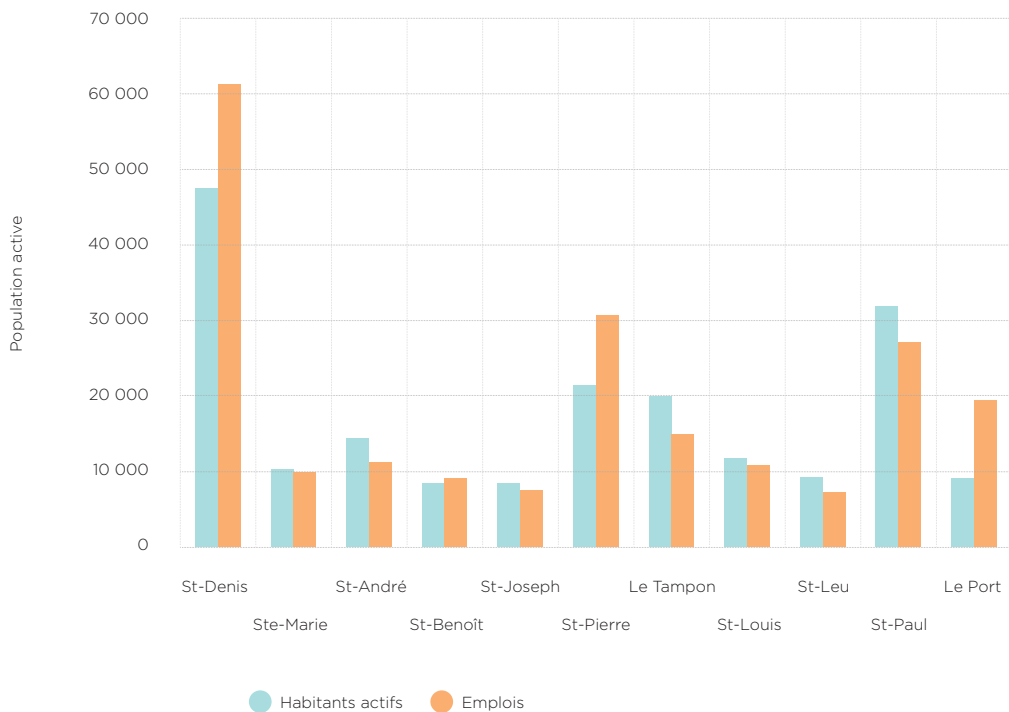
Distance AR moyenne domicile-travail par actif ayant un emploi

On constate que les communes de plutôt faible taille, lorsqu'elles sont relativement éloignées de Saint-Denis, ont des actifs qui se déplacent moins que la moyenne, alors que Saint-Denis et sa banlieue génèrent les plus forts déplacements. Compte-tenu de la plus grande proportion d'actifs autour de Saint-Denis, la moyenne du diagramme est de 18,3 km AR, avec une variabilité de - 50 % (Saint-Joseph, Le Tampon) à + 30 % (Le Port).

BILAN CARBONE® DU PROJET « BUREAUX DARWIN »

Il ne faut absolument pas en déduire qu'il convient d'implanter les nouvelles activités dans les petites communes éloignées (le cas du déménagement du projet Darwin serait par exemple catastrophique à court terme au vu de la localisation des domiciles des futurs premiers résidents).

Cependant, il peut être déduit plus modestement que si une activité se justifie dans ces lieux et que les trajets domicile-travail des premiers résidents conduisent à être inférieur à cette moyenne, alors il ne faut peut-être pas hésiter à l'implanter. Le diagramme suivant corrobore quelque peu ce propos en comparant les volumes d'actifs et d'habitants actifs des mêmes communes



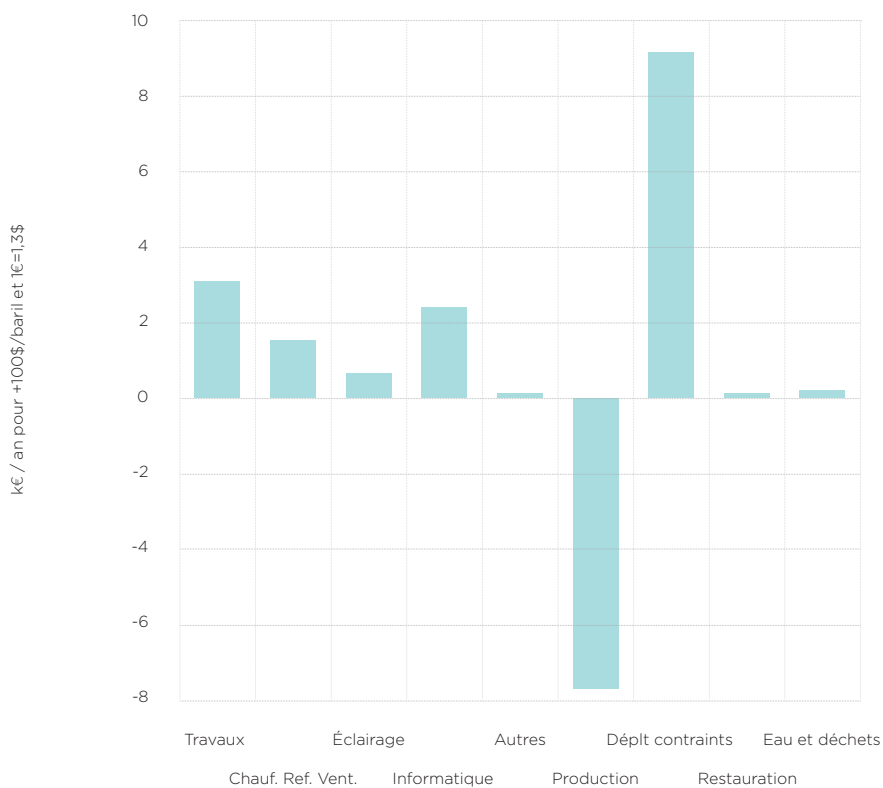
Domicile et lieu de travail des actifs ayant un emploi

Une certaine corrélation existe en effet entre les communes qui génèrent de moindres déplacements et celles ayant un relatif déficit d'activité, et réciproquement celles qui ont davantage d'activité que d'habitants actifs génèrent davantage de déplacements que la moyenne.

Même s'il est très délicat de déduire des contraintes efficaces de localisation de ces statistiques, il faut bien rappeler qu'il s'agit de la première source d'émission du Bilan Carbone® du projet de bureaux « Darwin »...

3.8.
SENSIBILITÉ
ÉCONOMIQUE AMONT

En ne considérant que les émissions de CO₂ consécutives à la combustion d'énergie fossile, et en prenant une hypothèse d'augmentation du prix de baril de pétrole et un taux de change euro/dollar, il est possible de déduire du Bilan Carbone® la sensibilité du projet à un renchérissement du coût amont de l'énergie (ces montants correspondent à l'augmentation relative du déficit de la balance commerciale française, mais pas nécessairement à l'évolution des prix qui dépendent beaucoup des dispositions de facturation) :



Domicile et lieu de travail des actifs ayant un emploi

Une augmentation de 100 \$ du prix du baril avec un taux de change de 1 € = 1,3 \$ conduirait à augmenter le coût du chantier de construction de l'ordre de 110 k€ et de celui d'utilisation de 6,3 k€/an. On peut constater que ce seront les résidents eux-mêmes, en faisant le plein de leur véhicule pour se rendre à leur travail, qui subiront la majeure partie de cette hausse.

Par ailleurs, la mise en place d'une taxe carbone aurait un effet directement proportionnel. Par exemple, une fiscalité de 100 €/tonne équ.CO₂ entrainerait un surcoût de construction de 130 k€, et d'utilisation de 12 k€/an (ces montants correspondent à la récolte fiscale supplémentaire correspondante).

BILAN CARBONE® DU PROJET « BUREAUX DARWIN »

3.9. SYNTHÈSE BUREAUX

L'analyse détaillée du Bilan Carbone® de l'opération Darwin peut permettre de tirer quelques enseignements sur la caractérisation des opérations de bureau en général, en attribuant à chaque poste un ordre de grandeur d'une opération « très économe » en émissions globales de GES, et à l'opposé celle d'une opération « très émissive ».

A l'image du Barème Carbone® parallèlement mis au point en 2011 et 2012 par BCO2 Ingénierie pour des projets métropolitains, le tableau suivant présente pour chaque poste une fourchette d'émissions (kg équ.CO₂/m² su/an).

A droite figure une pondération relative qui sera reprise dans le guide pratique d'évaluation Réunionnais, élaborée parallèlement par BCO2 Ingénierie.

	Bureaux très économes		Bureaux très émissifs		Pondération
Voirie Structure Corps d'état	Pré-existante		Neuve de quartier		0,5
	Ossature mixte bois béton, sans sous-sol, fondations simples	5	Ossature béton, soussols en sol humide, charpente métallique	30	1,5
	Matériels simples et matériaux plutôt naturels		Métal privilégié et moyens complexes		1
Génie climatique	Risque minime de climatisation ultérieure	10	Climatisation	80	7
Autres consommations	Minimales	(30)	Standard	(+)10	1
Production d'électricité	Autonomie électrique	-40	Sans production	0	4
Déplacements contraints	Minimisation des déplacements pendulaires	20	Moyenne de St-Denis, vers les Hauts	60	4
Divers	Sans entretien, autonome en eau, tri complet des déchets	0	Entretien standard, adduction d'eau, eaux usées, ordures ménagères	5	1
					20 points

Le potentiel de réduction des émissions de la mise en place d'un cahier des charges typé CO2 sur l'éventuelle restauration collective correspondrait à un bonus maximum de 2 points, Darwin n'étant ici pas concerné.

Selon l'ensemble de ces critères, la note obtenue par le projet Darwin est de 13 points.

Nous pouvons donc conclure sur une hiérarchisation des enjeux :

- Enjeu de niveau 1 : la réduction des consommations électriques, en généralisant par exemple l'objectif Prebat 2.
- Enjeu de niveau 2 : la mise en place d'une installation photovoltaïque sur la toiture, avec batteries associées lorsque le taux local d'intermittence maximal supportable par le réseau est atteint.
- Enjeux de niveau 3 : le mode constructif, la localisation, a restauration collective lorsqu'elle existe, constituent les leviers très significatifs de réduction.

D'autres idées complémentaires sont le tri des déchets ou la mise en place de systèmes de climatisation ou de pompes à chaleur sans fluide HFC, et bien entendu, en parallèle, le développement d'alternatives aux énergies fossiles pour les substituer complètement à plus long terme, sous réserve bien entendu que les émissions de construction de leur propre Bilan Carbone® soient rapidement amorties... ce qui est un autre sujet d'analyse.

BILAN CARBONE® DU PROJET

« LOGEMENTS BEAUSEJOUR 16A »

Ce projet de 208 logements est situé sur la ZAC de Beauséjour, au sud-ouest de la commune de Sainte-Marie. Il se décompose en 5 îlots, parmi lesquels a été analysé l'îlot 16A de 43 logements, jugé représentatif de l'ensemble (vue en perspective et plan d'étage courant en annexe).

Cet îlot comprend un immeuble R+5 de 41 logements T2 à T5 (T3 en moyenne) disposant d'un étage de parking en sous-sol, ainsi que d'un petit bâtiment annexe (dit bâtiment serpent) regroupant deux logements T4 et des espaces communs. La surface habitable totale est de 3104 m², soit 72,2 m² ha/logement.

La structure porteuse des bâtiments est constituée de voiles et de planchers en béton armé. Chaque logement dispose au rez-de-chaussée d'un petit jardin privatif et dans les étages d'une terrasse privée ou varangue. L'accès aux logements comprend des cages d'escalier béton dissociées de la structure principale, connectées aux logements par des coursives en ossature bois. La charpente des toitures supérieures est en bois, sa couverture en bac acier recouverte de bitume et d'une feuille d'aluminium.

Les menuiseries extérieures sont en aluminium, équipés de volets roulants ou de volets battants persiennés en aluminium. Les pignons sont revêtus de panneaux stratifiés, le restant des façades étant peint.

Les portes d'entrée ainsi que les menuiseries intérieures sont en bois. Les revêtements de sols sont carrelés, les garde-corps sont en aluminium ou en acier et bois selon les cas.

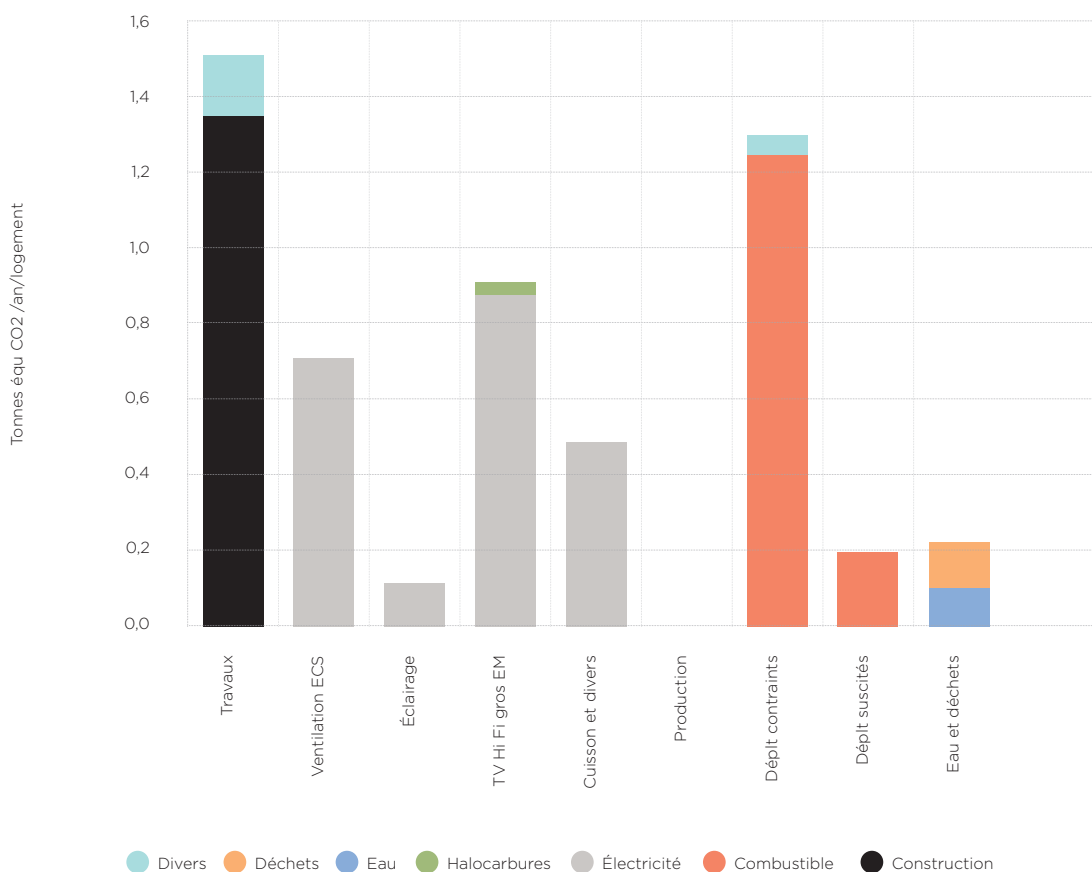
Tous les salons et chambres des logements sont équipés de brasseurs d'air. Leur disposition traversante et leur orientation ont été étudiées pour ne pas a priori nécessiter d'implantation de climatisation.

L'ouvrage est implanté sur une ZAC nécessitant en parallèle la construction de voiries de desserte.

Liste des documents du projet supports de l'analyse :

- Documents architecturaux au stade APD (APA et 2APMR)
 - Plan de masse
 - Plan VRD
 - Plans des niveaux, coupes, façades
 - Plans d'avant-projet béton
 - Descriptif détaillé des lots du C.C.T.P.
 - Métré estimatif du C.D.P.G.F.
- Autres documents techniques
 - Synthèse de l'étude aérodynamique (J. Gandemer)
 - Analyse Environnementale de l'Urbanisme (Tekhné Architecture, Soberco Environnement, Citec)
 - Tableau des besoins ECS (Inset)

4.1. ÉMISSIONS GLOBALES DU PROJET Le total des émissions de gaz à effet de serre s'élève à environ **61 tonnes équ.CO2 de construction/logement, puis 4 tonnes équ.CO2/ an d'utilisation/logement** au cours des prochaines décennies.
L'ensemble conduit à :



Beauséjour 16A : émissions annuelles par logement

Par ordre d'importance, les émissions principales sont :

- 1/ les consommations électriques résidents (41 % du total).
- 2/ la construction de l'ouvrage et son entretien.
- 2bis/ les déplacements contraints et suscités des résidents.

Pour rappel le poste construction est émis dans son intégralité (près de 45 fois plus) au moment du chantier, ce qui lui confère une importance relative supérieure, ci-après détaillée.

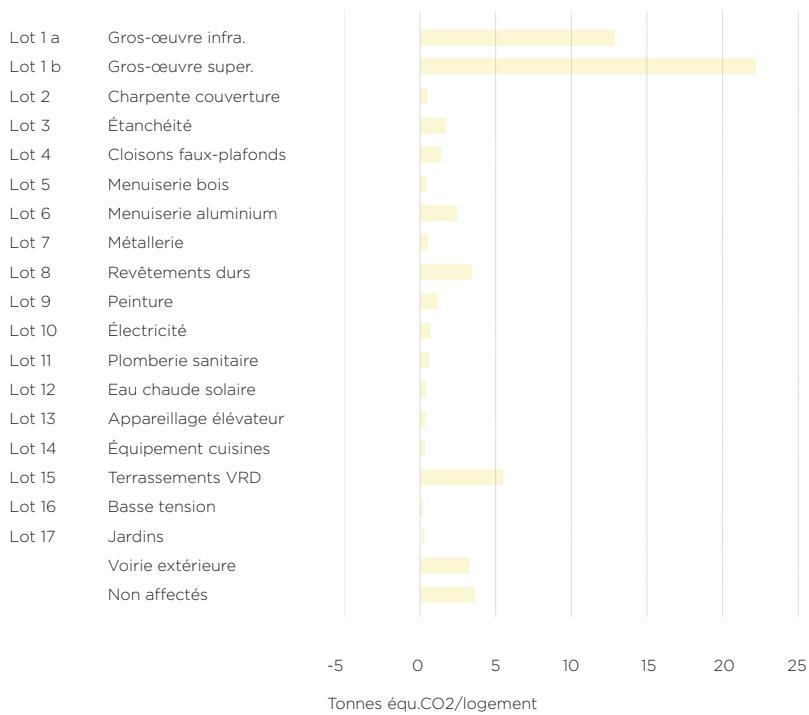
BILAN CARBONE® DU PROJET « LOGEMENTS BEAUSEJOUR 16A »

4.2. CONSTRUCTION Les lots principaux sont, par ordre d'importance :

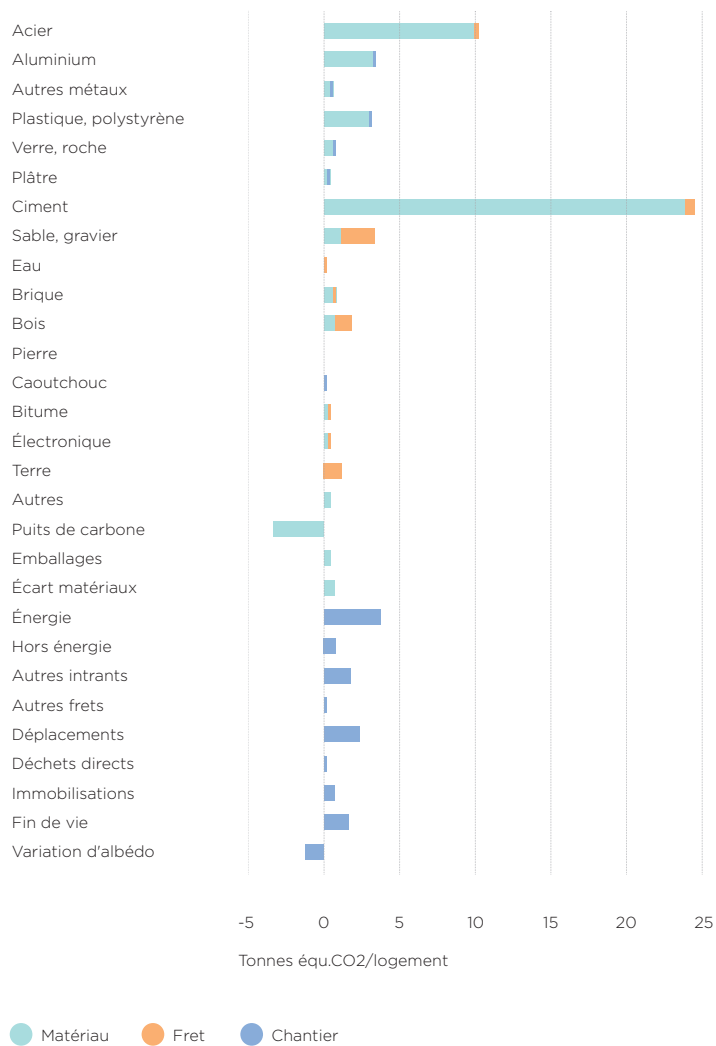
- Le lot gros-oeuvre (57 % du total). L'infrastructure (compris son plancher-haut) en représente un gros tiers.
- Le lot VRD auquel s'ajoute la voirie extérieure le long de l'îlot qu'il est nécessaire de construire dans le cadre de l'aménagement de la ZAC.
- Le lot revêtements de sols.
- Le lot menuiseries extérieures.

Les autres lots sont d'un impact relatif globalement mineur, même si certains comme la charpente auraient pu être beaucoup plus émissifs (voir variantes).

Diagrammes de décomposition des émissions de construction, l'un relatifs aux lots du CCTP, l'autre aux matériaux primaires et reste du chantier :



Beauséjour 16A : émissions de construction par lot



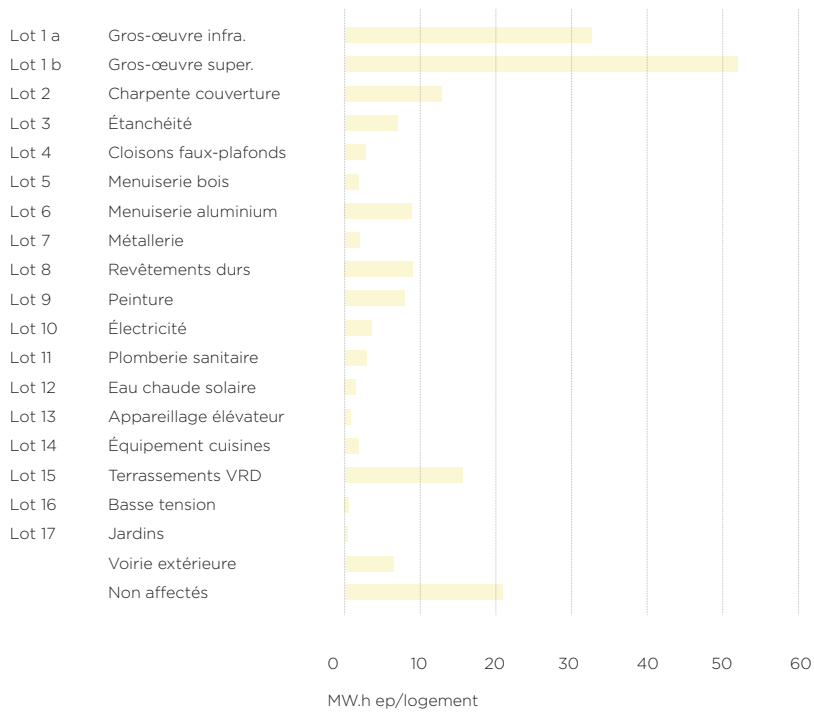
Beauséjour 16A : émissions de construction par matériau

Les principaux postes de la décomposition par matériau et reste du chantier sont :

- Le béton armé (plus de 60 %) à l'image de la prédominance du lot gros-œuvre.
- L'énergie consommée directement sur le chantier et chez les fournisseurs intermédiaires.
- Les déplacements des intervenants du chantier.
- L'aluminium.
- Les plastiques.
- Le bois.

BILAN CARBONE® DU PROJET « LOGEMENTS BEAUSEJOUR 16A »

Ces résultats correspondent à une «**énergie grise**» d'environ
200 MW.h/logement :



Beauséjour 16A : énergie grise par lot

4.3. UTILISATION INTÉRIEURE Les consommations retenues dans les calculs sont celles que nous estimons en 2020/2025, correspondent à celles indiquées dans le rapport ARER 2010 de l'OER sur la consommation des ménages réunionnais, moyennant les adaptations suivantes :

Compte-tenu de l'attention portée lors de la conception du projet à la ventilation et au confort associé, nous avons intégré en base l'absence de consommation de climatisation.

Les consommations de ventilation ont été inspirées par les consommations prévisionnelles du projet de bureaux Darwin.

Le projet intégrant de la production d'eau chaude solaire, nous avons pris l'hypothèse d'un appoint de 75% (conformément à la note Inset en phase APD) sur la base d'une consommation par ménage de $500 * i$ kWh/an / logement, i étant le nombre de pièces principales ($i = 3$ pour un T3).

Dans les autres cas de consommation, qui relèvent des résidents eux-mêmes, nous avons repris les consommations indiquées dans le rapport ARER 2010 de l'OER sur la consommation des ménages réunionnais, ajustées proportionnellement au fait que les logements sont ici des appartements, et en intégrant le potentiel de Maîtrise de la Demande Énergétique du rapport à hauteur de 50 %.

L'ensemble des hypothèses ci-dessus conduit aux hypothèses suivantes :

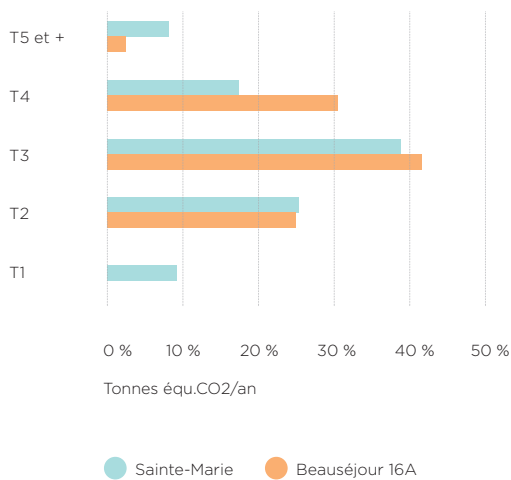
Hypothèses de consommations (kWh/an/logement)	
Ventilation	200
ECS	387
Éclairage	105
HIFI TV ordinateur	475
Gros électroménager	449
Cuisson et divers	493

BILAN CARBONE® DU PROJET « LOGEMENTS BEAUSEJOUR 16A »

4.4. DÉPLACEMENTS DES RÉSIDENTS

La localisation de la ZAC, un peu déportée de l'axe principal de circulation joignant Sainte-Marie à Saint-Denis, nous a conduit à considérer sa localisation, au sens des déplacements quotidiens domicile-travail, comme similaire à celle de l'ensemble des logements de la commune de Sainte-Marie.

Les répartitions des appartements du projet et de la commune étant relativement similaires (voir diagramme suivant), nous n'avons pas corrigé les taux d'actifs prévisionnels ou les proportions d'enfants scolarisés dans nos calculs.



Typologie des appartements

Les déplacements contraints des futurs résidents sont constitués majoritairement par les déplacements quotidiens domicile-travail (74 %) et les déplacements d'ordre scolaire (10 %), que nous avons réduits de moitié par rapports aux déplacements moyens de Sainte-Marie du fait de la présence de groupes scolaires sur la ZAC.

Les allers-retours au travail correspondent en moyenne à près de 22 km quotidiens, réalisés à 85 % en voiture particulière. Pourtant il convient de noter que 38 % des actifs de Sainte-Marie travaillent sur leur propre commune.

Nous avons évalué un ordre de grandeur approximatif des déplacements suscités, conséquences de l'absence quasi complète de jardins privés, en ne prenant en compte qu'une partie des déplacements induits en métropole, faute de donnée réunionnaise sur cet effet indirect sur les déplacements de loisir.

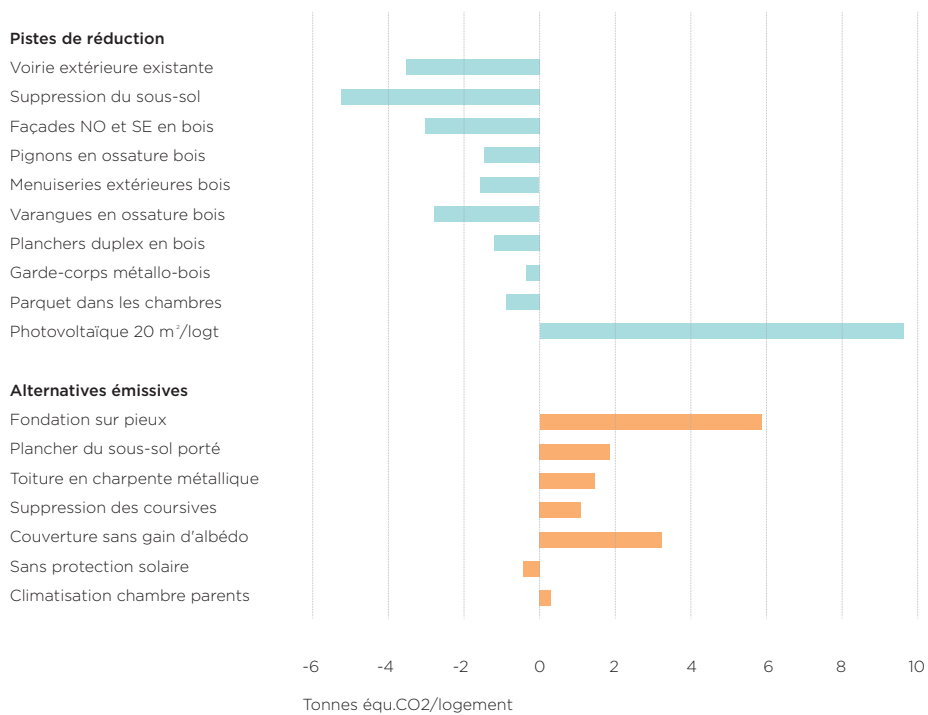
4.5.
VARIANTES
DE CONSTRUCTION

Liste des variantes de construction analysées :

- Voirie extérieure existante : hypothèse où la route longeant le bâtiment pré-existe.
- Suppression du sous-sol : remplacement de l'étage enterré dédié au stationnement des véhicules par un parking extérieur aérien bitumé.
- Façades Nord-Ouest et Sud-Est en bois : remplacement des voiles des façades ouvertes par des murs à ossature bois.
- Pignons en ossature bois : remplacement des voiles béton des pignons par une ossature porteuse poteau-poutre en béton et un remplissage en mur à ossature bois.
- Châssis extérieurs bois : remplacement des châssis aluminium, volets roulants et persiennes aluminium par des châssis et volets battants bois.
- Varangues en ossature bois : remplacement de la structure porteuse béton des varangues et séchoirs (planchers, extrémité des refends) par une ossature bois, du carrelage par du platelage bois, et des jardinières béton par des jardinières en bois.
- Planchers duplex en bois : remplacement des dalles béton intérieures aux appartements T4 et T5 en duplex par des planchers bois.
- Garde-corps métal-bois : remplacement des garde-corps aluminium à barreaudages des coursives par des garde-corps de structure acier et remplissage bois.
- Parquet dans les chambres : remplacement du carrelage grès cérame sur chape mortier par du parquet flottant bois stratifié.
- Photovoltaïque 20 m²/logement : mise en place sur la toiture haute d'une installation photovoltaïque de 20 m² de cellules polycristallines par logement, sans adjonction de batterie.
- Fondation sur pieux : estimation d'une hypothèse de sol peu portant nécessitant la réalisation de fondations profondes à 20 mètres environ.
- Plancher du sous-sol porté : remplacement du dallage bas du parking par un plancher porté, dans l'hypothèse d'un sol peu portant et/ou humide.
- Toiture en charpente métallique : remplacement des arbalétriers et pannes des logements hauts, des coursives hautes et du bâtiment serpent en bois (et bois lamellé-collé) par des ossatures métalliques.
- Suppression des coursives : transformation de la façade sud-est en supprimant les coursives à ossature bois et en intégrant les cages d'escalier entre les paires d'appartement. Cette disposition nécessite de créer une quatrième cage d'escalier, d'implanter trois autres ascenseurs, et de protéger les ouvertures des chambres Sud par des casquettes.
- Couverture sans gain d'albédo : remplacement de la couverture ondulit finition réfléchissante en feuille d'aluminium par une couverture de couleur conventionnelle.
- Sans protection solaire » : suppression des stores d'occultation extérieurs et intérieurs, ce qui favorise l'implantation de climatisation.
- Climatisation chambre parents » : mise en place postérieure et généralisée d'un climatiseur individuel par logement de type Split d'une puissance de 1,5 kW.

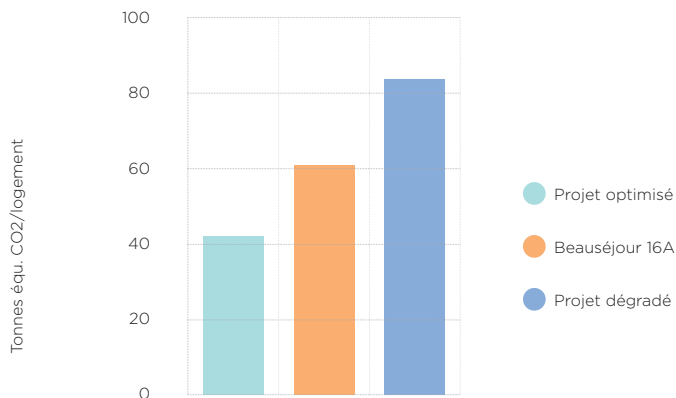
BILAN CARBONE® DU PROJET « LOGEMENTS BEAUSEJOUR 16A »

Le diagramme suivant récapitule l'impact de chacune de ces variantes :
Le constat global est l'enjeu majeur de la réduction des quantités de béton et d'acier, parfois via leur substitution par des ossature bois.



Beauséjour 16A : variantes d'émissions de construction

La totalité des hypothèses correspondant à une réduction des émissions de construction représente environ 19 tonnes équ.CO2/logement (- 30 %), la totalité de celles l'augmentant étant de 24 tonnes équ.CO2/logement (+ 40 %), ce qui correspond au diagramme synthétique suivant :



Synthèse construction Beauséjour 16A

Obtenir davantage de réductions significatives des émissions de construction nécessite de remettre en cause l'ossature principale béton en voiles et dalles pleines, séparant les logements et constituant les circulations verticales. Il conviendrait alors de se pencher sur la diminution de l'épaisseur des dalles courantes, en les réalisant par exemple en plancher collaborant bois et sur le remplacement de voiles béton de refend par des maçonneries.

Ces hypothèses doivent rester compatibles avec les critères des normes acoustiques inter-logements et de stabilité au feu, ce qui peut s'avérer complexe.

4.6.
VARIANTES
D'UTILISATION

Liste des variantes d'utilisation analysées :

- ECS avec très fort appoint : de l'ordre de 85 % d'appoint solaire thermique.
- Photovoltaïque de 20 m²/logement : cf § variantes de construction.
- Localisation sur Saint-Denis : valorisation de l'écart de déplacements contraints d'une localisation moyenne de la commune de Saint-Denis.
- Tri complet des déchets : tri complet du papier, carton, verre, plastique et métal.
- ECS électrique sans appoint : absence de panneaux solaires thermiques.
- ECS électrique appoint RT : consommations électriques avec un appoint solaire thermique de seulement 50 % des besoins.
- Éclairage communs standard : consommations supérieures de l'éclairage extérieur et des circulations à l'aide de luminaires standard et sans capteur de présence. La consommation retenue ici en supplément est celle de l'étude Enertech 2009 (154 kWh/an/logement).
- Climatisation chambre parents : cf § variantes de construction, consommation d'appareils Split de classe A de 1,5 kW (635 kWh/an selon le guide Syref 2010).
- Scolaires en distance moyenne : AR aux établissements scolaires selon la moyenne estimée des habitants concernés sur la commune de Sainte-Marie.
- Localisation + 2 km vers les hauts : valorisation d'un éloignement du site de 2 km vers l'extérieur des voies principales de circulation, par exemple vers les Hauts.
- Suppression des jardins privatifs des rez-de-chaussée : sur déplacements de loisir.
- Sans tri des déchets : sans recyclage du papier, carton, verre, plastique et métal.

BILAN CARBONE® DU PROJET « LOGEMENTS BEAUSEJOUR 16A »

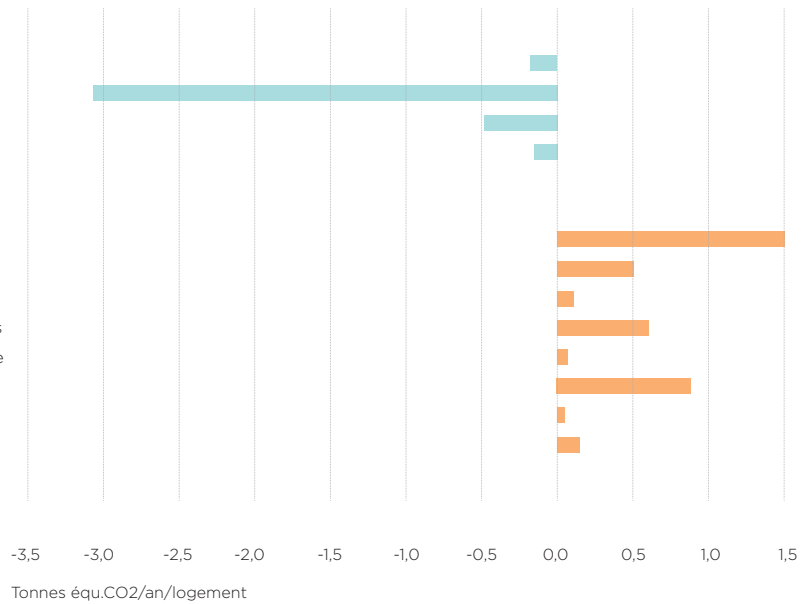
Le diagramme suivant récapitule l'impact de chacune de ces variantes :

Pistes de réduction

ECS avec très fort appoint
Photovoltaïque 20 m²/logt
Localisation sur Saint-Denis
Tri complet des déchets

Alternatives émissives

ECS électrique sans appoint
ECS électrique appoint RT
Éclairage communs standard
Climatisation chambre parents
Scolaires en distance moyenne
Localisation + 2 km hauts
Suppression des jardins RdC
Sans tri des déchets



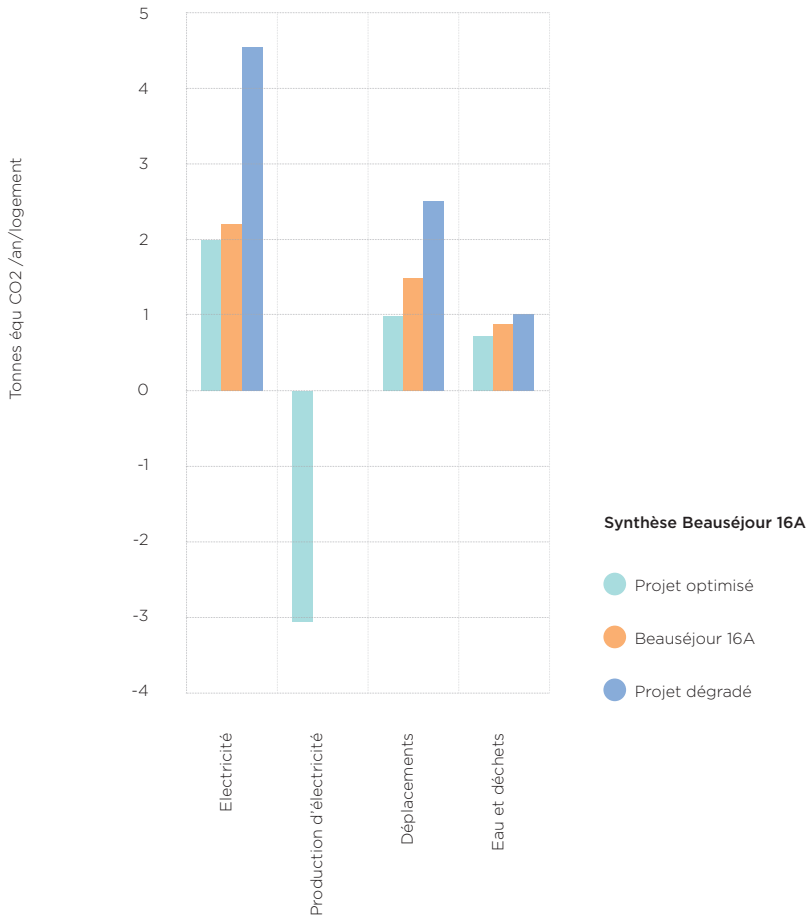
Beauséjour 16A : variantes d'émissions d'utilisation

Le meilleur potentiel est constitué par l'installation photovoltaïque dont délai d'amortissement des émissions de construction correspondantes est de 3 ans et demi.

La totalité des hypothèses correspondant à une réduction des émissions d'utilisation représente environ 4 tonnes équ.CO2/an/logement (- 88 %), la totalité de celles l'augmentant étant de 3,5 tonnes équ.CO2/an/logement (+ 78 %), ce qui correspond au diagramme synthétique suivant :

Le meilleur potentiel est constitué par l'installation photovoltaïque dont délai d'amortissement des émissions de construction correspondantes est de 3 ans et demi.

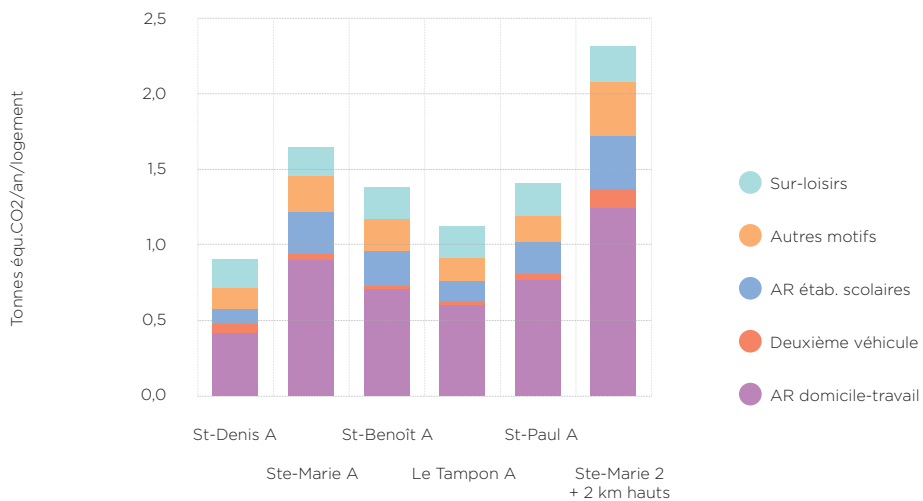
La totalité des hypothèses correspondant à une réduction des émissions d'utilisation représente environ 4 tonnes équ.CO2/an/logement (- 88 %), la totalité de celles l'augmentant étant de 3,5 tonnes équ.CO2/an/logement (+ 78 %), ce qui correspond au diagramme synthétique suivant :



Dans le cas présent, on peut constater en ordre de grandeur qu'une installation photovoltaïque conséquente permet de compenser (après amortissement de ses propres émissions de construction) soit la construction, soit les consommations électriques, soit les déplacements, mais difficilement l'ensemble.

BILAN CARBONE® DU PROJET « LOGEMENTS BEAUSEJOUR 16A »

4.7. ALTERNATIVES DE LOCALISATION Le diagramme suivant illustre l'importance relative de la localisation des appartements, en comparant l'impact des déplacements contraints et suscités des plus grandes communes de l'île :

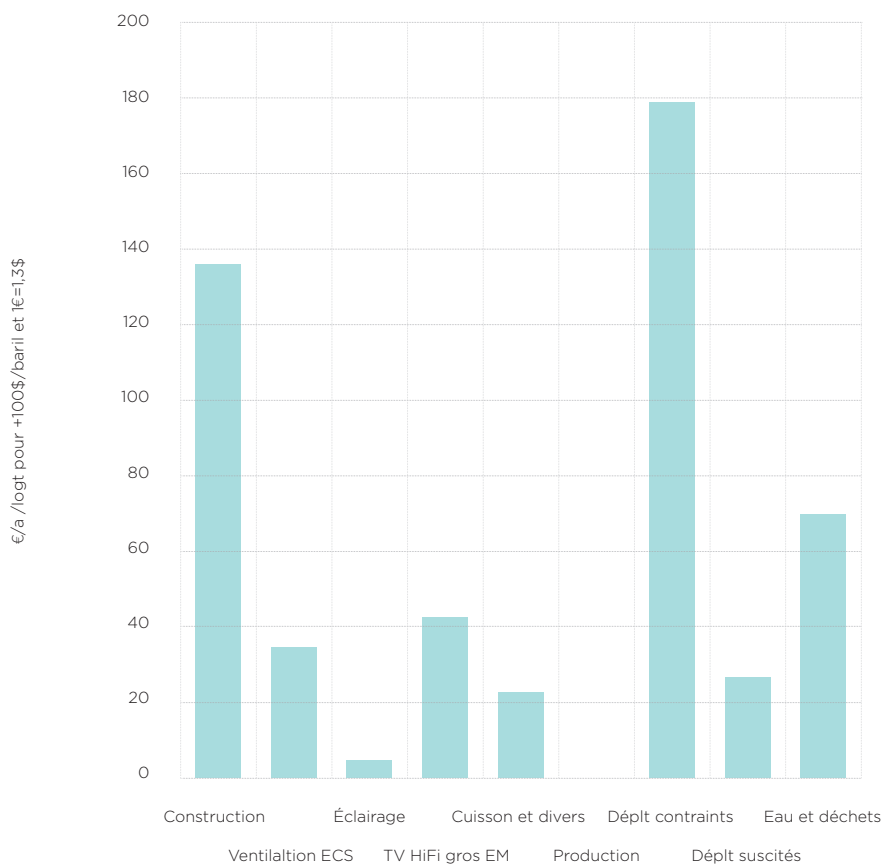


Déplacements des résidents du fait du logement (Appartements)

Il ne convient pas de conclure à la lecture de ce diagramme que toutes les prochaines implantations de logements doivent être réalisés sur la commune de Saint-Denis... mais plutôt à l'inverse de comprendre l'ordre de grandeur de l'impact d'une localisation excentrée, comparativement aux autres postes carbone du projet.

4.8. Diagramme de sensibilité des coûts globaux à une augmentation du prix du baril de pétrole :

SENSIBILITÉ ÉCONOMIQUE AMONT



Beauséjour 16A : sensibilité au prix des énergies fossiles

Une augmentation de 100 \$ du prix du baril avec un taux de change de 1€ = 1,3 \$ conduirait à augmenter le coût du chantier de construction de l'ordre de 5,6 k€ / logement et de celui d'utilisation de 380 €/an /logement.

La mise en place d'une taxe carbone, pour une fiscalité de 100 €/tonne équ.CO2, entraînerait un surcoût de construction de 6,1 k€/logement, et d'utilisation de 460 €/an/logement.

BILAN CARBONE® DU PROJET « LOGEMENTS BEAUSEJOUR 16A »

4.9. SYNTHÈSE LOGEMENTS L'analyse détaillée du Bilan Carbone® de l'opération Beauséjour 16A permet de dresser par extrapolation le tableau suivant présentant pour chaque poste une fourchette d'émissions (kg équ.CO2/m² ha /an) entre la typologie de bâtiment très économe et très émissif.

A droite figure une pondération relative qui sera reprise dans le guide pratique d'évaluation Réunionnais, élaborée parallèlement par BCO2 Ingénierie :

	Logement très économe		Logement très émissif		Pondération
Voirie Structure Corps d'état	Pré-existante		Neuve de quartier		0,5
	Ossature mixte bois béton, sans sous-sol, fondations simples	5	Ossature béton, soussols en sol humide, charpente métallique	30	2
	Matériels simples et matériaux plutôt naturels		Métal privilégié et moyens complexes		1,5
Génie climatique	Appoint ECS maximum, risque minime de climatisation ultérieure	10	Sans appoint solaire ECS et avec une chambre climatisée (Split classe A)	55	6
Autres consommations	Minimales	10	Standard	20	1
Production d'électricité	Autonomie électrique	-30	Sans production	0	4
Déplacements contraints	Saint-Denis	10	Frontière de l'étalement urbain	40	4
Divers	Sans entretien, autonome en eau, tri complet des déchets	0	Entretien standard, adduction d'eau, eaux usées, ordures ménagères	5	1
					20 points

La présence de jardins privatifs en rez-de-chaussée constitue un point positif complémentaire qui réduit un peu les sur-déplacements de loisirs induits par la typologie de logement en appartement (pondération estimée de l'option : 0,5 point si chaque logement en est pourvu).

Selon l'ensemble de ces critères, la note obtenue par le projet Beauséjour est de 11 points.

Nous avons donc identifié essentiellement 4 postes principaux d'émissions disposant chacun d'un levier de réduction des émissions relativement comparable :

- Réfléchir dès l'amont à l'impact de constructions excentrées, induisant une surconsommation de déplacements pendulaires.
- Eviter dès la conception la tentation du recours ultérieur à la climatisation des logements.
- Optimiser le mode constructif de l'ouvrage en limitant la présence de béton et d'acier au minimum nécessaire, en privilégiant une relative modestie architecturale et le recours au bois, même si une filière locale n'est pas (encore) en place.
- Mettre en place un appoint solaire thermique très significatif couvrant plus de 80 % des besoins.
- Mettre en place une installation photovoltaïque en toiture, sans saturer le taux local d'intermittence. Cette disposition a donc un caractère local et certainement provisoire.

Nous avons aussi constaté l'importance des consommations intérieures des logements, poste qui relève des habitudes de consommation des ménages et de la performance des appareils utilisés, donc relativement indépendant de la conception de l'ouvrage.

BILAN CARBONE® DU PROJET « CENTRE COMMERCIAL DES AVIRONS »

Ce projet de construction d'un centre commercial neuf est situé sur un terrain nu de la commune des Avirons, au sud-ouest de l'île de La Réunion. Il comprend un unique bâtiment de 8 niveaux de 21 280 m² (parkings inclus), partiellement encastré dans une colline, et dont la voirie actuelle en pente pré-existe sur 80 % de sa périmétrie. Les deux niveaux les plus bas sont entièrement en sous-sol, et les quatre niveaux intermédiaires sont partiellement enterrés.

Ce centre commercial comprend un supermarché, un ensemble de boutiques et un restaurant, pour une surface totale commerciale de 6 970 m² sdv (surface de vente ou GLA).

Il existe actuellement non loin du site un supermarché existant qui sera déplacé dans le nouveau bâtiment. Ce projet est donc la somme d'une « réhabilitation » de la surface de vente existante, et d'une « extension neuve » constituée de l'agrandissement du supermarché et de la création des boutiques. Pour plus de commodité dans la lecture et l'exploitation de ce document, nous avons volontairement limité l'analyse détaillée à la création « ex-nihilo » d'un centre commercial neuf, donc entièrement constitué de consommations énergétiques supplémentaires, de nouveaux produits commercialisés, etc... Nous avons cependant isolé dans un paragraphe spécifique quelques indications sur le Bilan Carbone® global qui inclurait le déplacement du supermarché existant.

Les fondations du bâtiment sont constituées de semelles superficielles et de micro-pieux. l'une des façades latérales est essentiellement constituée d'une paroi cloutée.

La structure porteuse du bâtiment est constituée de voiles et de planchers en béton armé.

Les menuiseries extérieures sont en aluminium. Le dernier étage comporte une grande structure métallique. La couverture est en Ondulit. Certaines parties de façades sont revêtues de bardage bois.

Du fait de son usage, le bâtiment comporte de nombreux systèmes consommant de l'énergie, pour la préparation sur place de certains aliments, pour assurer le rafraîchissement plus ou moins prononcé des locaux, leur éclairage, leur ventilation, leur besoin en eau chaude sanitaire, etc...

L'ouvrage est implanté sur une parcelle en « dent creuse », donc il n'y a aucune voirie extérieure nouvelle associée au projet.

Liste des principaux documents du projet supports de l'analyse :

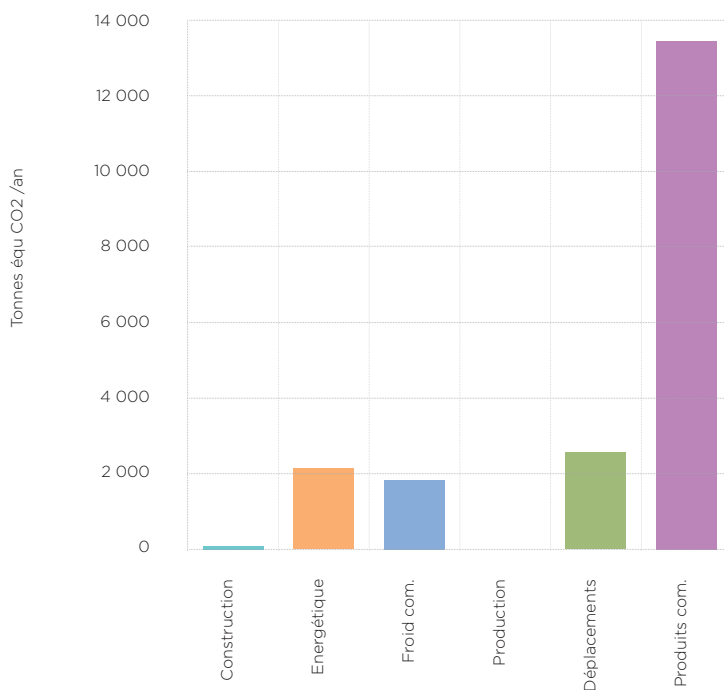
- Documents architecturaux et techniques au stade APD et DCE
Plan de masse, plans des niveaux, coupes, façades.
Descriptif détaillé des lots du C.C.T.P.
Tableau des surfaces, métré estimatif.
Étude énergétique Optinergie (version 2, mai 2013).
Analyse des déplacements du personnel existant et des zones de chalandise.
- Autres documents techniques
Le contenu carbone du panier de consommation courante (CGDD avril 2012).
Le gisement des emballages ménagers en France (évolution 1994-2009).
Les trafics maritimes (Port Réunion 2011).
Les commerces en France (CBRE janvier 2013).
Un exemple d'analyse du fret aérien (aéroport de Toulouse-Blagnac 2010).
Étiquette énergie de l'observatoire de l'énergie de la grande distribution à La Réunion (Ademe, Optinergie), étiquette énergie du supermarché Intermarché des Avirons.
Évaluation des émissions de gaz à effet de serre dans la distribution (Perifem).
Évolution du commerce et utilisation de la voiture (Beauvais Consultants, 2005).
Des documents divers sur les surface de vente des centres commerciaux, leur chiffre d'affaire par ligne de produits, des exemples réunionnais de répartition de nature de boutiques, etc...

BILAN CARBONE® DU PROJET « CENTRE COMMERCIAL DES AVIRONS »

5.1. ÉMISSIONS GLOBALES DU PROJET NEUF

Le total des émissions de gaz à effet de serre s'élève à environ **8 200 tonnes équ. CO₂ de construction, puis environ 20 000 tonnes équ. CO₂/an d'utilisation** au cours des prochaines décennies.

Avec un amortissement des émissions initiales de construction sur sa durée de vie prévisionnelle, l'ensemble se décompose selon le diagramme suivant :



Emissions annuelles du Centre Commercial

Par ordre d'importance, les émissions principales sont :

- 1/ l'ensemble des produits commercialisés, avec de l'ordre de 70 % du total.
- 2/ les déplacements des clients et du personnel.
- 2bis/ l'ensemble des consommations énergétiques d'exploitation (compris production de froid commercial, qui est ici distingué).
- L'amortissement de la construction de l'ouvrage est un poste a priori assez négligeable proportionnellement au reste (moins de 1 % du total).

En valeur, il s'agit là d'émissions très volumineuses. Sachant qu'en moyenne, un français métropolitain ou un réunionnais émettent globalement un peu plus de 10 tonnes équ. CO₂/an, l'ensemble du fonctionnement du centre commercial, produits commercialisés inclus, correspond donc à environ 2 000 citoyens qui mangent, habitent, se déplacent, consomment, etc...

5.2. CONSTRUCTION Même si l'importance relative de la construction est faible, il faut avoir cependant conscience qu'environ 50 fois la valeur d'amortissement CO2 sera émise l'année du chantier.

Les lots principaux sont, par ordre d'importance :

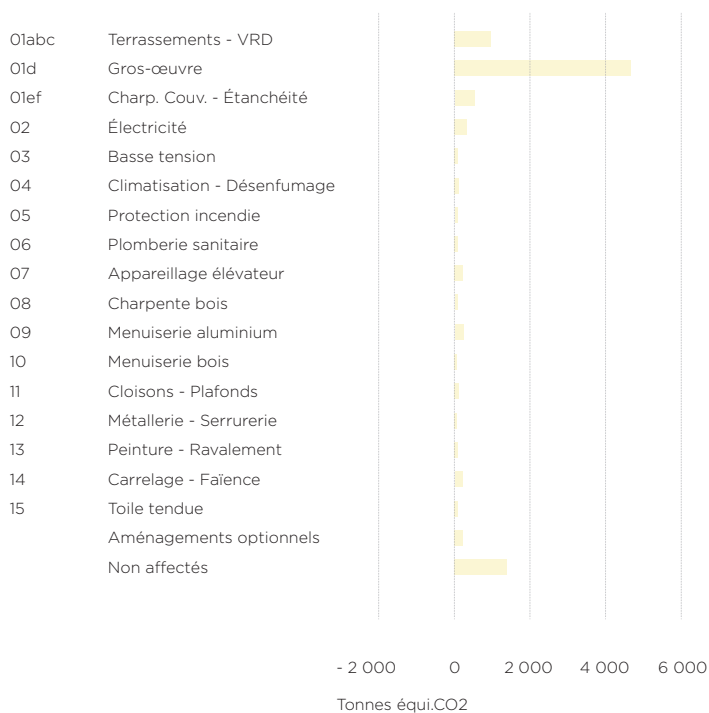
- Le lot gros-œuvre (70 % du total en incluant les déplacements des personnels de chantier).
- Le lot terrassement VRD (15 % avec la même remarque).

Les autres lots sont d'un impact relatif globalement mineur.

Les principaux postes de la décomposition par matériau et reste du chantier sont :

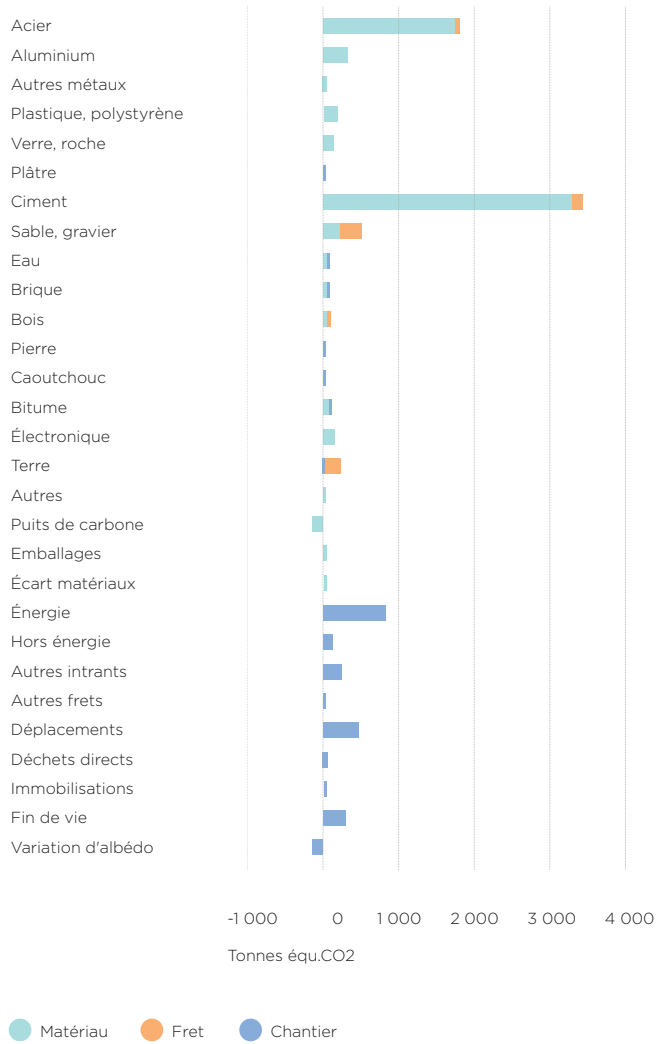
- Le ciment et l'acier, donc essentiellement le béton armé (plus de 60 %) à l'image de la prédominance du lot gros-œuvre.
- L'énergie consommée directement sur le chantier et chez les fournisseurs intermédiaires.
- Les déplacements des intervenants du chantier.

Ci-après les diagrammes de décomposition des émissions de construction, l'un relatif aux lots du CCTP, l'autre aux matériaux primaires et au reste du chantier :



Emissions de construction par lot

BILAN CARBONE® DU PROJET « CENTRE COMMERCIAL DES AVIRONS »



Emissions de construction par matériau

NB : ces résultats correspondent à une «énergie grise» d'environ 24 000 MW.h.

5.3. UTILISATION INTÉRIEURE Les consommations retenues dans les calculs sont celles que nous estimons en 2025, que nous avons estimé correspondre à celles indiquées dans le rapport Optinergie version 2 de mai 2013 (avec ses hypothèses de référence, modulo la solution 3 en CVC).

Ces consommations correspondent à toutes les consommations électriques du site, c'est à dire couvrant la production de froid positif et négatif, le rafraîchissement des locaux, le fonctionnement des différents laboratoires (boulangerie, boucherie, etc...), l'éclairage (supermarché, rayonnages, mail, boutiques, locaux techniques, parkings), la production d'eau chaude sanitaire, le fonctionnement du restaurant, des systèmes électriques et informatiques, etc...

5.4. DÉPLACEMENTS DES SALARIÉS ET DES CLIENTS Le centre commercial hébergera environ 350 employés. Les distances domicile-travail et mode de déplacement retenus dans l'étude sont la moyenne entre la statistique 2008 des déplacements de tous les actifs de la commune des Avirons, et de celle des employés du supermarché fonctionnant actuellement et qui y sera déplacé, soit 16,5 km AR.

L'analyse de la zone de chalandise et des moyens de transport mis à disposition des clients concernés nous a permis de dresser une moyenne de la distance AR réalisée pour s'y rendre. En équivalent voiture particulière, cette distance est de 16 km. Nous avons retiré un tiers des distances (ordre de grandeur du rapport Beauvais Consultants), proportion supposée de déplacements relatifs à une autre raison, le centre commercial n'étant dès lors rejoint que par un détour d'un autre trajet.

Sur l'ensemble des ces déplacements ainsi évalués, ceux des clients représentent la grande majorité avec de l'ordre de 90 % des émissions du poste : la localisation du centre commercial est, du point de vue des émissions globales de gaz à effet de serre, 10 fois plus importante selon son positionnement par rapport à ses zones de chalandise que par rapport aux bassins d'habitation.

BILAN CARBONE® DU PROJET « CENTRE COMMERCIAL DES AVIRONS »

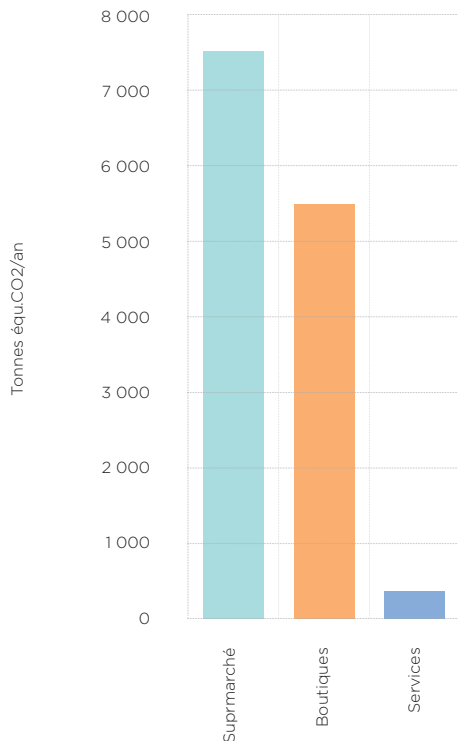
5.5. PRODUITS COMMERCIALISÉS

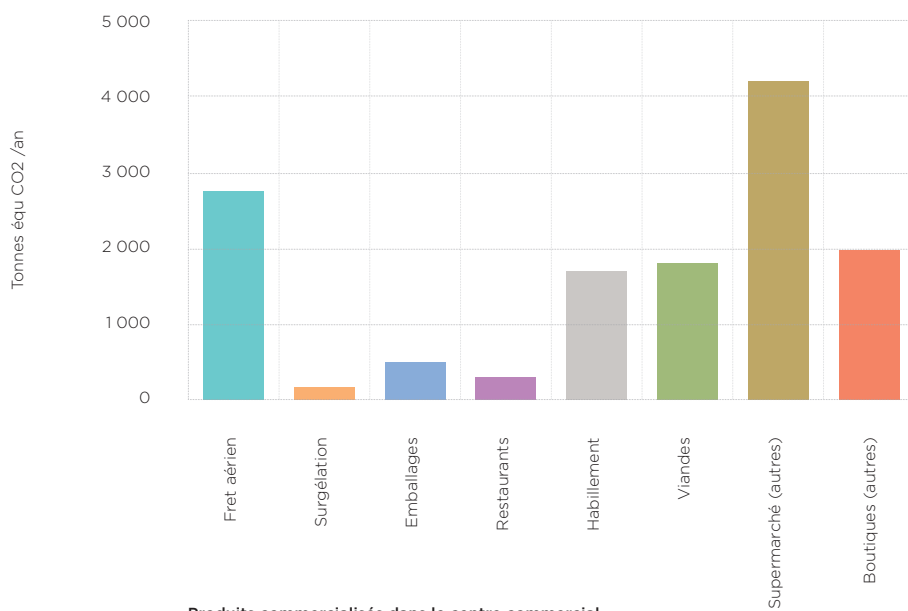
Le poste principal de notre étude concerne l'ensemble des produits commercialisés dans le centre commercial. Ils concernent :

- La somme des Bilans Carbone® des produits commercialisés dans le supermarché et dans les boutiques.
- Les Bilans Carbone® des services rendus par les boutiques de services et les restaurants, en supposant l'absence d'agence de voyages ou autre service équivalent de très fort impact indirect.

Voici la décomposition par type de lieu de vente :

Le contenu carbone des produits que les clients achètent, autant dans le supermarché que dans l'ensemble des boutiques, constituent l'essentiel des émissions. Le premier graphique en donne une vue d'ensemble, le deuxième montre l'extraction de quelques postes particuliers (les totaux des deux graphiques sont identiques).





Produits commercialisés dans le centre commercial

5.6. VARIANTES L'état des lieux des émissions de l'ensemble des émissions des différents postes montre une photographie de la proportion de chacun dans le total.

Cependant, il est évident qu'en phase conception comme lors de l'exploitation, la latitude du concepteur ou de l'exploitant pour influencer sur chacun de ces postes n'est pas proportionnelle à leur impact : certaines émissions peuvent être annulées ou largement amplifiées selon les options retenues, d'autres en revanche correspondent à une faible marge de manœuvre.

Nous avons donc estimé, pour chaque poste, la quantité relative de pistes de réductions et d'alternatives émissives potentielles.

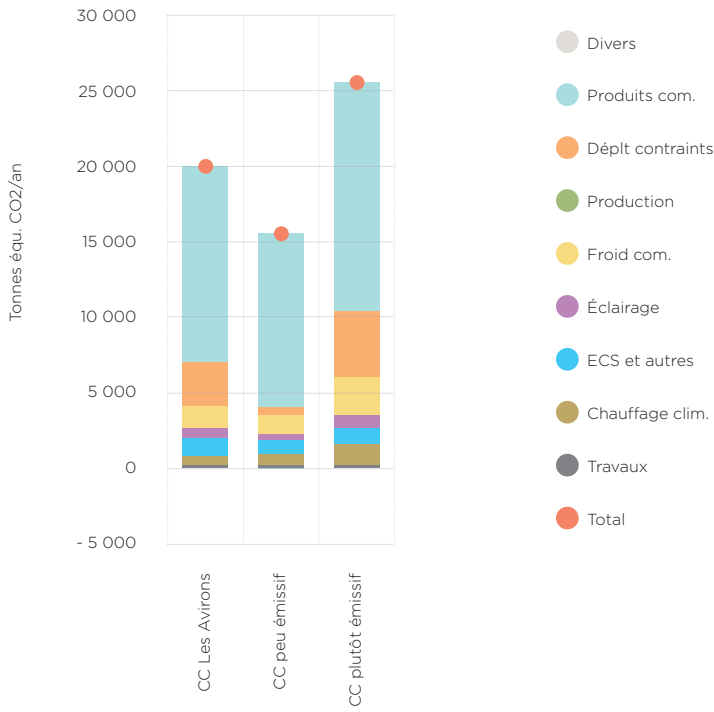
- Concernant la part d' « utilisation intérieure », nous nous sommes appuyés sur les idées d'amélioration proposées sur le projet et permettant de passer de l'étiquette D du projet en base à la limite entre les étiquettes B et C, et avons a contrario simulé en alternative émissive un projet d'étiquette F/G (Étiquette énergie des grandes surfaces de La Réunion, Ademe/Optinergie).
- Concernant les produits et leur conditionnement, mode de conservation, et affrètement, nous avons fait une analyse rayon par rayon faisant appel à la réalité des ventes et à l'expérience des responsables du supermarché actuel des Avirons qui sera déplacé et agrandi dans le projet de centre commercial.
- Concernant les déplacements nous avons actualisé en hypothèse tendancielle et légèrement extrapolé les analyses de centre commerciaux de Touraine et du Loiret (Beauvais Consultants).
- Enfin concernant les produits nous avons légèrement extrapolés nos variantes.

BILAN CARBONE® DU PROJET « CENTRE COMMERCIAL DES AVIRONS »

Le tableau suivant récapitule les ordres de grandeur de la variabilité de ces estimations :

Poste	Réduction	Augmentation	Commentaire
Construction	- 50 %	+ 50 %	plus ou moins de béton de masse, dans d'autres contextes fonciers plus favorables ou défavorables
Énergétique	- 15 %	+ 60 %	meilleure isolation du froid, appareils plus efficaces, asservissements divers de fonctionnement, centralisation, sans HFC etc... et a contrario matériel standard et passif
Froid commercial	- 25 %	+ 25 %	idem et un peu moins/plus d'appareils
Production d'énergie	couverture PV		installation photovoltaïque en terrasse
Déplacements contraints	- 80 %	+ 60 %	petit supermarché de centre-ville (chalandise proche) et a contrario hypermarché en zone peu dense (chalandise très vaste)
Produits commercialisés	- 10 %	+ 10 %	suppression des produits les plus émissifs des rayons (sans report d'achat ailleurs)
Fret aérien	- 35 %	+ 65 %	concerne l'approvisionnement d'appareils électroniques et de denrées alimentaires
Surgélation	- 10 %	+ 10 %	denrées alimentaires
Emballages	- 40 %	+ 30 %	essentiellement ceux des produits liquides (boissons, laitages, divers), et dans une moindre mesure les barquettes, conserves, sur et sous-emballages
Repas servis au restaurant	moitié bio, peu de viande rouge		fabrication des engrais et leur épandage, émissions de méthane des bovins

Avec ces hypothèses, l'ensemble des émissions varie selon le diagramme suivant :



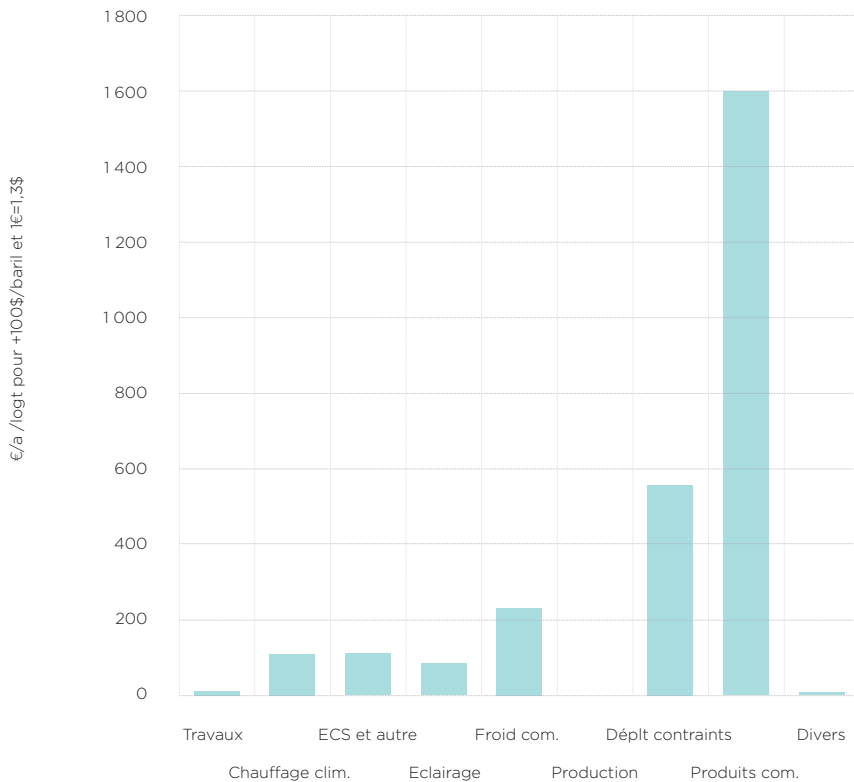
Emissions totales

La latitude globale sur l'ensemble du Bilan Carbone® est alors de l'ordre de + ou - 20 %. Ce chiffre peu paraître faible mais il est pourtant représentatif de très fortes valeurs d'émissions quand on regarde l'échelle du diagramme, s'est à dire une variabilité de + ou - 5 000 tonnes équ. CO2 par an...

BILAN CARBONE® DU PROJET « CENTRE COMMERCIAL DES AVIRONS »

5.7. Voici ci-dessous le diagramme de sensibilité des coûts globaux à une augmentation du prix du baril de pétrole :

**SENSIBILITÉ
ÉCONOMIQUE
AMONT**



Sensibilité au prix des énergies fossiles

Une augmentation de 100 \$ du prix du baril avec un taux de change de 1 € = 1,3 \$ conduirait à augmenter le coût du chantier de construction de l'ordre de 650 k€ et de celui d'utilisation de l'ordre de 2,7 M€/an (sur tout le chiffre d'affaire).

La mise en place d'une taxe carbone, pour une fiscalité de 100 €/tonne équ.CO2, entraînerait un surcoût de construction de 820 k€, et d'utilisation de 2 M€/an (même remarque).

A l'image de la répartition des postes du Bilan Carbone®, l'essentiel de ces augmentations concerneront le prix des produits, et dans un deuxième ordre celui des coûts de déplacement des clients à égalité avec ceux de fonctionnement du centre commercial.

5.8. SYNTHÈSE CENTRE COMMERCIAL L'analyse détaillée du Bilan Carbone® du Centre Commercial des Avirons permet de dresser, par une extrapolation un peu élargie (toutes hypothèses foncières, étiquettes énergie variant de A à G, etc...), le tableau suivant présentant pour chaque poste une fourchette d'émissions (kg équ.CO2/m² GLA / an) entre la typologie de projet très économe et celui très émissif.

A droite figure une pondération relative qui pourrait être proposée dans le guide pratique d'évaluation Réunionnais, mis au point parallèlement par BCO2 Ingénierie et l'ADEME DR Réunion :

Lieu : Réunion	C.C. très économe		C.C. très émissif		Valeur
Construction	VRD existants, ossature mixte bois-béton, corps d'état simples	10	VRD neufs, ossature béton de masse, corps d'état complexes	35	0,5
Chauffage, ventilation, climatisation, ECS	Besoins minimales, systèmes très efficaces, sans HFC	175	Besoins élevés, technologies standard	325	2
Éclairage	Luminosité contenue et appareils très performants	50	Luminosité forte et appareils peu performants	200	2
Froid commercial	Besoins mini, appareils très performants, production centralisée, sans HFC	200	Besoins élevés, appareils standards, production individualisée	350	2
Production d'énergie	Toiture PV sur l'ensemble	-40	Sans	0	0,5
Déplacements	Chalandise très proche	100	Chalandise très vaste	600	6
Produits commercialisés	Fret aérien, surgélation et emballages plutôt limités, produits électriques de performance optimale, compresseurs sans HFC, appareils domestiques compatibles avec le vrac	1 600	Fret aérien, surgélation et emballages très présents, produits électriques de performance quelconque, compresseurs à HFC, appareils domestiques à emballages individuels	2 200	7
					20 points

BILAN CARBONE[®] DU PROJET « CENTRE COMMERCIAL DES AVIRONS »

Selon l'ensemble de ces critères, la note obtenue par le projet des Avirons est actuellement de l'ordre de 10 points sur 20. une variabilité additionnelle de l'ordre de + ou - 2 points dépend de la capacité de mise en oeuvre de mesures dans les rayons visant à influencer le panier moyen sur le choix des produits.

Nous avons donc identifié essentiellement trois ensembles équivalents de postes principaux d'émissions, qui disposent chacun d'un levier de réduction des émissions relativement comparable :

- L'étendue de la zone de chalandise, conséquence du choix du lieu d'implantation du centre commercial et de sa taille.
- L'optimisation dès la conception des futures consommations énergétiques de la totalité des appareillages qui consommeront de l'électricité (et qui utiliseront des gaz frigorigènes) dans le bâtiment, en veillant à inclure ceux des boutiques qui seront pourtant exploitées par des tiers.
- La mise en oeuvre de cahiers des charges limitant l'impact des produits les plus émissifs, dans leur constitution, leur emballage, leur éventuelle surgélation, la nature et distance de leur acheminement depuis leur lieu de fabrication.

La constitution du bâtiment lui-même a une importance relativement modeste. Cependant, par souci de cohérence avec une approche globale, l'image qu'il donne aux clients qui se rendent sur le site est importante. Il conviendrait donc qu'il limite raisonnablement ses émissions de construction, dans la mesure de ce que lui permet les contraintes liées au foncier retenu, et relativement aux véritables mesures significatives qu'il aura prise à l'intérieur.

Au delà de son impact sur l'étendue de la zone de chalandise, il nous paraît évident que la taille de l'établissement a une influence sur d'autres émissions globales, qui ne concernent pas a priori les modes constructifs ou les consommations énergétiques intérieures qui sont en première approximation proportionnelles à la surface, mais les produits que choisiront d'acheter les clients :

- Un petit supermarché pourra prétendre à une relative bonne note sur les déplacements, le rayon de chalandise étant a priori plus petit que la moyenne. En revanche, il n'aura certainement pas les moyens de mettre en place de la découpe et préparation directe de vrac (boucherie, charcuterie, poissonnerie, etc...), et sera au contraire tenté de multiplier les « barquettes » et produits « standards » habituellement recherchés par les clients.

- A l'opposé un grand hypermarché aura une zone de chalandise plutôt vaste (surtout s'il est en zone rurale), et comme il se devra de proposer une très large gamme de produits, il aura de moindres capacités à «éviter» au client de suivre ses habitudes de choix de produits plutôt émissifs. Au contraire il aura tendance à stimuler davantage le suivi de la mode en forçant le client à longer les rayons et nouveautés associées.
- Enfin un supermarché de taille intermédiaire pourra drainer une zone de chalandise contenue, tout en étant en capacité de proposer de la découpe sur place, du vrac, et une diversité de produits auquel il aura retiré les plus émissifs, sans que le client ne s'en trouve nécessairement frustré, ce qui le conduirait à aller chercher ailleurs (donc plus loin) certains produits qu'il juge indispensables.

5.9.
PRISE EN COMPTE
DE LA RELOCALISATION
DU SUPERMARCHÉ
EXISTANT

Le supermarché existant dispose d'une surface de vente de 850 m² et de consommations énergétiques totales au m² sdv du même ordre que les consommations projetées dans le nouveau bâtiment.

Cette similitude de valeur est l'effet cumulé d'une augmentation de confort à destination de la clientèle (climatisation, meilleur éclairage, plus grands espaces de circulation entre et autour des rayons, plus grande capacité proportionnelle de froid alimentaire) et d'une meilleure efficacité des systèmes énergétiques.

Le Bilan Carbone® global du projet incluant cet état initial correspond donc à la somme :

- Du Bilan Carbone® présenté précédemment auquel il faut retirer 850/2280 ème de toutes les émissions directes et indirectes du supermarché, c'est à dire sur les postes énergétiques, de froid commercial, de déplacements contraints des employés et clients, ainsi que sur les produits commercialisés.
Les émissions de construction du bâtiment sont en revanche maintenues en totalité.
- De l'écart de distance moyenne aux zones de la zone de chalandise du nouvel emplacement par rapport à l'ancien, au prorata de 850 m², très probablement négligeable en première approximation (les deux sont peu distants et proches du centre de la même commune).
- Des émissions du déménagement, a priori négligeables en relatif du reste.
- Des travaux de réhabilitation ou de démolition du bâtiment existant, probablement très faible en relatif.

On constate finalement dans ce cas particulier que le Bilan Carbone® de l'ensemble correspond à peu de choses près à celui des m² supplémentaires offerts aux clients, auquel s'ajoute la reconstruction des surfaces initiales.

BILAN CARBONE® DU PROJET « REHABILITATION ET EXTENSION DU SIEGE DE T.C.O. »

Le projet analysé fin 2013 comprend une réhabilitation lourde d'un bâtiment de bureaux existant R+8, auquel vient se greffer une extension latérale R+6 avec sous-sol.

Le bâtiment initial, construit en 1988 et très peu rénové depuis, est de structure béton. Il est assez énergivore (150 kW.h/m²/an). Sa surface est de 2 087 m² utiles, pour une Shon de 3 176 m².

La réhabilitation lourde concerne l'ensemble des corps d'état qui sont refait à neuf.

L'extension correspond à une surface de 1 734 m² utile, pour une Shon d'environ 2 500 m². Elle est réalisée en ossature principale en béton armé (voiles, planchers en dalles pleines), fondée sur semelles superficielles, et comporte certaines façades en ossature bois. Un étage en sous-sol permet d'augmenter significativement le nombre de places de parking, auparavant limitées à une partie du rez-de-chaussée.

Le projet comporte de très nombreuses protections solaires. Les menuiseries sont en aluminium.

La performance énergétique respecte le dispositif Perene avec une estimation globale de consommation électrique de 81 kW.h/m²/an. Aucune installation photovoltaïque n'est prévue en base. Le suivi de la performance des consommations est basé sur l'utilisation d'une GTC.

Les consommations d'eau, production de déchets en ordures ménagères font parallèlement l'objet de réductions drastiques (dispositifs économes en eau et tri des déchets).

Le site est situé au centre de la commune du Port, à proximité des routes principales de communication, et de plusieurs lignes de bus (à la fréquence de service et au nombre de destinations relativement limitées).

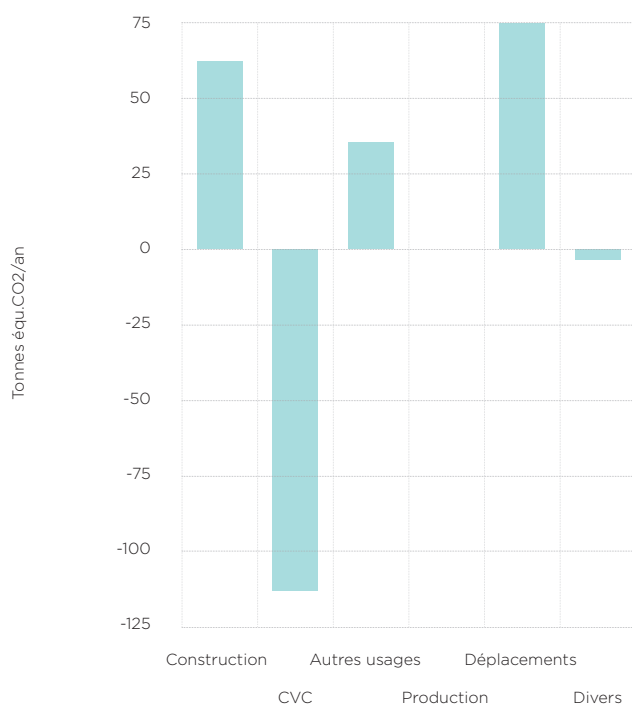
Au sens du Bilan Carbone®, l'ensemble du projet est donc la somme d'une opération de réhabilitation correspondant à la surface initiale, et d'une opération neuve correspondant à la surface ajoutée. Comme il n'était pas véritablement possible de les distinguer lors de la saisie des données, l'analyse porte d'abord sur l'ensemble, puis distingue ensuite les deux sous-projets « réhabilitation pure » et « extension neuve » au travers de divers ratios sur leurs surfaces et corps d'états respectifs impliqués.

Liste des documents du projet supports de l'analyse :

- Documents au stade PRO
Grouard Architectes :
plan de masse, plan VRD, plans des niveaux, coupes, façades
C.C.T.P.
DQE
Intégrale Ingénierie :
plans d'avant-projet béton
- Autres documents techniques
BET Imageen :
Diagnostic énergétique et approche thermique du siège du TCO
au Port
notice HQE
Municipalité Service Réunion : Plan de Déplacements
d'Administration

6.1. ÉMISSIONS GLOBALES DU PROJET Le total des émissions de gaz à effet de serre s'élève à environ **2 450 tonnes équ. CO2 de construction, puis - 10 tonnes équ.CO2/an d'utilisation** au cours des prochaines décennies.

Cette valeur négative assez faible correspond au fait que les émissions évitées par la réhabilitation des surfaces existantes sont à peine supérieures en valeur absolue aux émissions supplémentaires générées par l'extension. En amortissant les émissions de construction selon un cycle de vie de 60 ans, l'ensemble de l'impact est retranscrit dans le diagramme suivant exprimé en émissions annuelles :



Emissions annuelles du projet de siège de TCO

BILAN CARBONE® DU PROJET « REHABILITATION ET EXTENSION DU SIEGE DE T.C.O. »

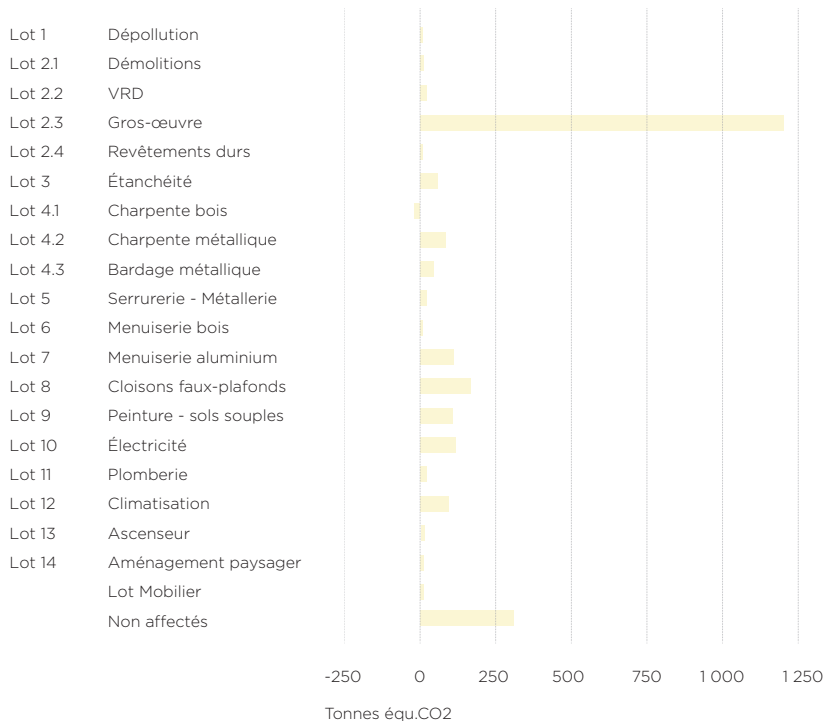
Par ordre d'importance, les émissions principales sont :

- 1/ la réduction des consommations électriques (malgré la création de l'extension).
- 2/ l'amortissement des travaux de construction.
- 2bis/ les déplacements contraints des résidents de l'extension.

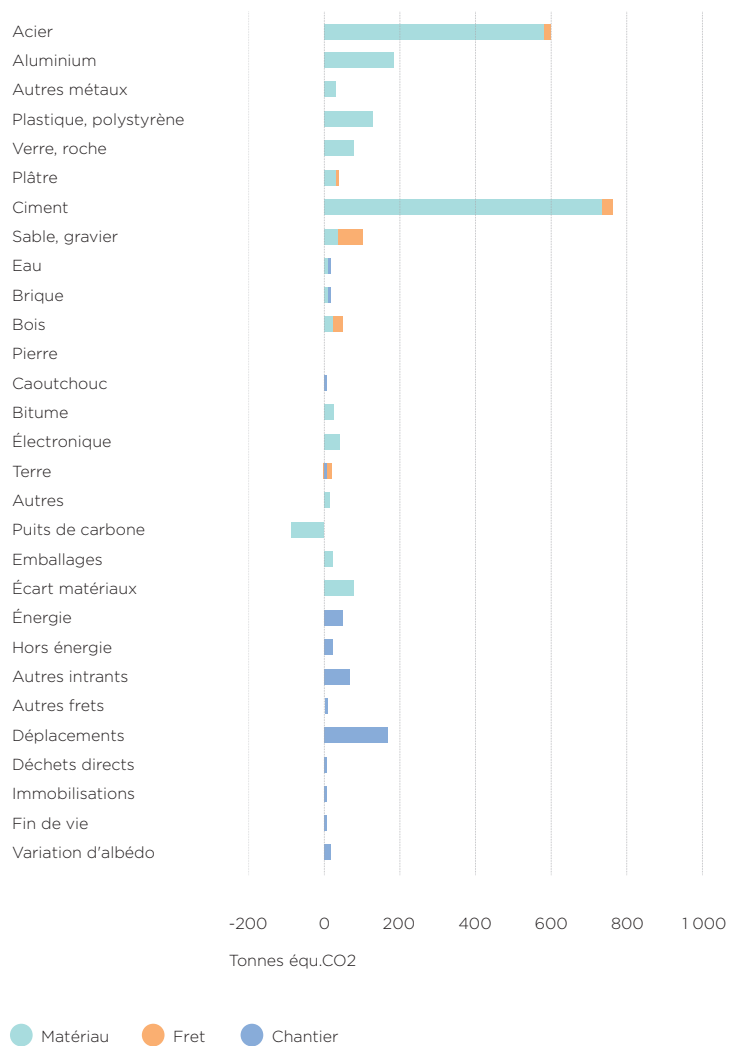
Pour rappel le poste construction est émis dans son intégralité (de l'ordre de 40 fois plus) au moment du chantier, ce qui lui confère une importance relative un peu supérieure, ci-après détaillée.

6.2. CONSTRUCTION

En page suivante sont représentés les diagrammes de décomposition des émissions de construction, l'un exprimé selon les lots du CCTP, l'autre selon les matériaux primaires et le reste du chantier (les émissions non affectées de la décomposition par lot correspondent majoritairement aux déplacements du personnel de chantier qui n'ont pas été ventilés par lot).



Siege TCO : émissions de construction par lot



Siège TCO : émissions de construction par matériau

Le lot gros-œuvre correspond à plus de la moitié de l'impact de l'ensemble du chantier. Les autres lots sont d'un impact relatif globalement secondaire.

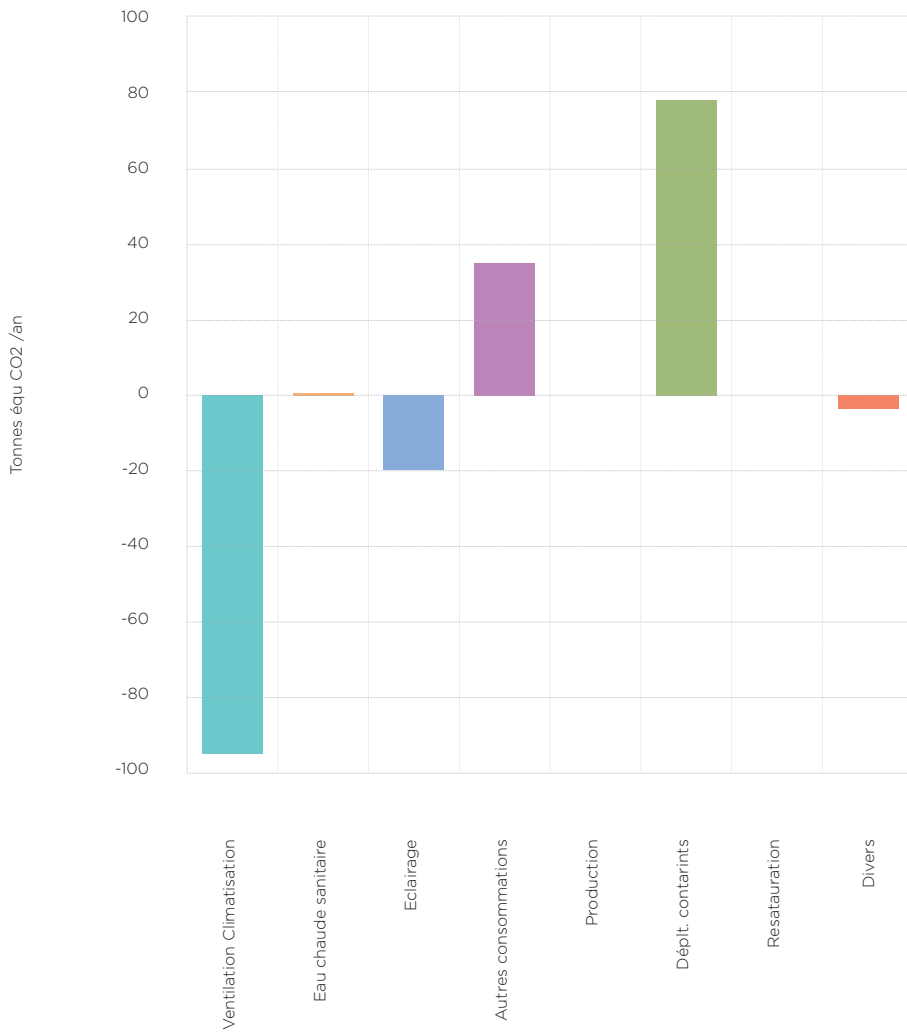
La décomposition par matériau est à l'image de la remarque précédente, où le ciment et l'acier sont très largement majoritaires.

On notera toutefois l'impact relativement significatif de l'aluminium, essentiellement présent dans les profilés des châssis et dans les ossatures des fauxplafonds. Le bois apparaît deux fois, d'une part en tant que matériau à produire, d'autre part en tant que puits de carbone ; son impact cumulé est une réduction des émissions globales.

Ces résultats correspondent à une « **énergie grise** » d'environ **7 600 MW.h**

BILAN CARBONE® DU PROJET « REHABILITATION ET EXTENSION DU SIEGE DE T.C.O. »

6.3. Le diagramme suivant distingue les émissions d'utilisation selon leur poste :



Emissions annuelles d'utilisation du projet de siège de TCO

Ventilation Climatisation

La gestion de la ventilation naturelle de l'ensemble des locaux, associée à la mise en place de protections solaires et de brasseurs d'air permet de réduire fortement la durée d'utilisation de la climatisation, dont le système a par ailleurs été entièrement renouvelé via un groupe d'eau glacée. Malgré l'adjonction d'une extension doublant quasiment la surface utile, c'est le poste d'évitement global le plus conséquent.

Eau Chaude Sanitaire

Dans un usage de bureaux, ce poste est quasiment négligeable.

Éclairage

L'association de systèmes d'éclairage économes, de programmations et de détecteurs de présence permet d'obtenir une réduction globale du poste significative, malgré les besoins supplémentaires de l'extension.

Autres consommations

Il s'agit essentiellement des consommations des prises de courant de l'extension, tributaires du mobilier et des usages.

Production

Il n'y a pas de production d'énergie en base dans le projet. Une variante illustrée plus loin simule la présence d'une installation photovoltaïque sur l'une des terrasses.

Déplacements contraints

L'analyse des statistiques intercommunales de l'Insee permet de déduire que la distance aller-retour domicile travail des actifs du Port est de l'ordre de 25 km par actif en équivalent voiture particulière. L'analyse des résultats du diagnostic du Plan de Déplacements d'Administration effectué courant 2013 par TCO permet de déduire une distance pendulaire de l'ordre de 31 km équ. VP AR / jour / salarié. L'écart entre ces deux estimations provient essentiellement d'une moindre proportion d'actifs travaillant au TCO et résidant sur la commune du Port par rapport à celle de l'ensemble des actifs travaillant au Port.

Même si notre analyse prend aussi en compte d'autres déplacements contraints par la localisation (AR déjeuner, détours divers lors de la réalisation de missions ou de la venue des visiteurs), l'impact des déplacements pendulaires est de l'ordre de 85 % des déplacements contraints de l'extension.

Restauration

Sans disposer à ce stade de donnée factuelle, nous n'avons pas considéré en base d'influence de la rénovation de la salle de restauration sur le contenu des plats ou le recours à l'utilisation de véhicules personnels pour aller se restaurer ailleurs le midi.

Divers

Nous avons ici valorisé la réduction des besoins en eau et la mise en place du tri des déchets, tant sur l'existant (réduction) que sur l'extension (augmentation car besoins nouveaux).

BILAN CARBONE® DU PROJET

« REHABILITATION ET EXTENSION

DU SIEGE DE T.C.O. »

6.4. Pistes de réductions analysées :

VARIANTES

- Planchers bois : remplacement de 80 % des planchers de l'extension constitués de dalles pleines de béton par des planchers entièrement en bois. Le reste maintenu en béton correspond aux paliers des circulations verticales et à quelques circulations horizontales.
- Façades bois plus complètes : remplacement d'un tiers des voiles de façades par des murs à ossature bois.
- Bardage bois au lieu de métallique : remplacement de tous les bardages métalliques en bardage bois.
- Châssis PVC : en remplacement de tous les châssis à profilé en aluminium.
- Atteinte Prebat 60 kW.h/m²/an : simulation de l'atteinte de l'objectif Prebat de 60 kW.h/m²/an au lieu de 80 kW.h/m²/ an en hypothèse de base.
- Installation photovoltaïque : valorisation de l'installation de 180 m² et 210 kWc imaginée en option dans la notice HQE, sans adjonction de système de stockage, et sous réserve de la non atteinte du taux local d'intermittence.
- Réussite actions PDA : nous avons supposé que la réussite de la mise en pratique des dispositions du Plan de Déplacement Administration permettrait de réduire de 10 % l'ensemble des distances domicile-travail calculées en km équivalent voiture particulière.
- Moitié de l'extension à Saint-Leu : nous avons ici supposé que la moitié de la surface neuve étendue du siège de TCO aurait été construite sur la commune de Saint-Leu.
Les statistiques de déplacements pendulaires de l'ensemble des actifs de Saint-Leu montrent qu'ils se déplacent presque moitié moins en moyenne que ceux du Port. Nous avons pris pour hypothèse que la moitié de l'effectif TCO affecté dans cette annexe serait constitué par les personnes habitant Saint-Leu et ses environs (et travaillant initialement au Port), et que l'autre moitié correspondrait à une division par deux des déplacements pendulaires moyens du Port (effectif nouveau basé à Saint-Leu). Nous avons supposé arbitrairement que cela entraînerait en mission supplémentaire un aller-retour par jour ouvré d'un véhicule de service entre le siège de TCO du Port et cette annexe de Saint-Leu. Nous n'avons en revanche pas a priori comptabilisé d'écart sur les déplacements des visiteurs. Cet ensemble d'hypothèses est bien entendu à considérer avec d'extrêmes précautions, car ne reposant pas sur une véritable étude prospective de fonctionnement des services concernés.
- Restauration mois carbonée : nous avons supposé qu'un prestataire extérieur gérant la restauration aurait une contrainte carbone sur les plats servis, le conduisant à ce que les résidents convertissent l'équivalent de 20 repas complets par jour en nourriture bio et locale, et autant d'autres sans viande rouge. Les valeurs proposées sont empreintes d'une forte incertitude et doivent donc n'être considérées que représentatives d'un ordre de grandeur de potentiel d'évitement complémentaire.

Alternatives émissives analysées :

- Fondations par pieux : en remplacement des fondations par semelles superficielles (hypothèse de pieux béton de profondeur 20 mètres).
- Ossatures métalliques : en remplacement des diverses ossatures en bois (pergola, murs de façade à ossature bois, charpentes en lamellé-collé et brises-soleil).
- Reconstruction de l'existant : hypothèse de démolition-reconstruction du bâtiment initial, au lieu de le réhabiliter lourdement.
Nous avons par hypothèse considéré la reconstruction sur la base d'une ossature « conventionnelle », c'est à dire très majoritairement constituée de béton armé de masse. Cela concerne essentiellement le lot gros-œuvre puisque la réhabilitation conduit en base à refaire à neuf la quasi totalité des corps d'états secondaires et techniques.
- Consommation 100 kW.h/m²/an au lieu de 80 kW.h/m²/an en hypothèse de base, prenant en compte une gestion moins rigoureuse des économies d'énergie à l'exploitation.
- Sans MDE : hypothèse de consommations électriques sans application de mesures de type Maîtrise de la Demande Énergétique, telle que proposé en alternative dans la notice HQE.

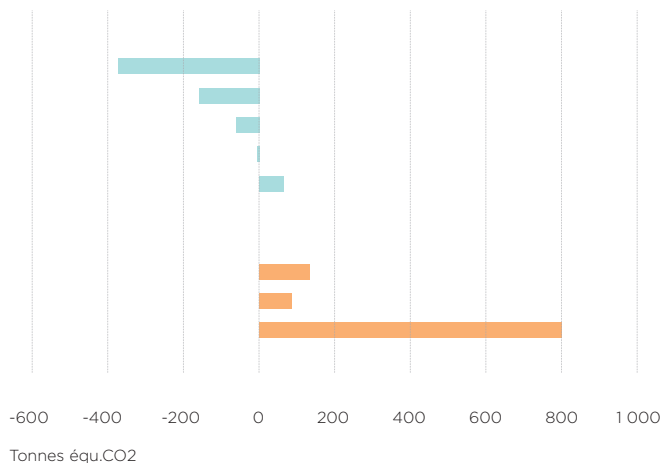
Les deux diagrammes suivants récapitulent l'impact de chacune de ces variantes, en ne se concentrant dans un premier temps que sur celles ayant un impact sur les émissions de construction :

Pistes de réduction

Planchers bois
Façades bois plus complètes
Bardage bois ald métallique
Châssis PVC
Installation photovoltaïque

Alternatives émissives

Fondations par pieux
Ossatures métalliques
Reconstruction de l'existant



Siège de TCO : variantes d'émissions de construction

BILAN CARBONE® DU PROJET « REHABILITATION ET EXTENSION DU SIEGE DE T.C.O. »

L'enjeu majeur des émissions de construction se situe d'abord dans la préservation du grosœuvre de l'existant, dont la démolition-reconstruction conduirait à une augmentation très forte des émissions de construction de l'ensemble du projet (+ un tiers).

Au delà de ce constat, les émissions du projet auraient pu être améliorées (de l'ordre de 20 à 25 %), en ayant majoritairement recours à du bois (parfois adjoind à du béton en quantité limitée à l'essentiel) en lieu et place du béton de masse coulé en place. Cela correspond en ordre de grandeur à l'une des esquisses proposée au concours de maîtrise d'oeuvre mais non retenue.

Une hypothèse intermédiaire constituée de planchers collaborant en poutres bois et dalle de compression béton conduirait à un gain environ moitié de celui de la variante « planchers bois ».

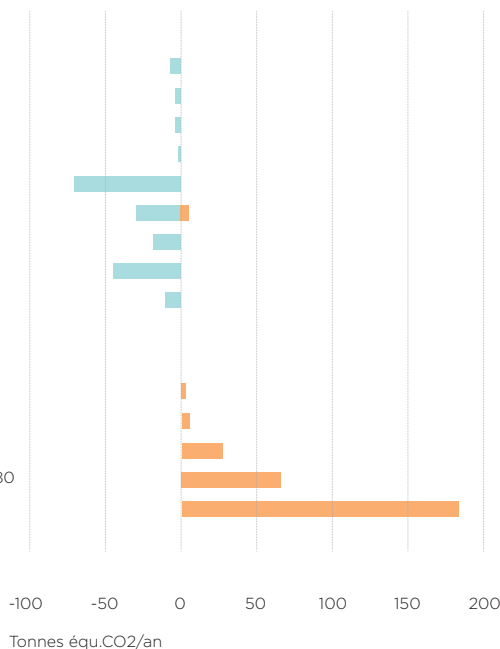
Dans le graphique suivant, nous allons amortir ces émissions de construction sur la base de 60 ans pour les infrastructures et structures lourdes, 30 ans pour le reste (sauf pour l'installation photovoltaïque que nous n'amortirons que sur 20 ans). Cependant une structure béton se substituant par démolition-reconstruction à une structure saine n'est amortie que sur 30 ans, durée représentative du prolongement de durée de vie associé.

Pistes de réduction

- Planchers bois
- Façades bois plus complètes
- Bardage bois ald métallique
- Châssis PVC
- Atteinte Prebat 60 kWh/m²/an
- Installation photovoltaïque
- Réussite actions PDA
- Moitié de l'extension à St-Leu
- Restauration moins carbonée

Alternatives émissives

- Fondations par pieux
- Ossatures métalliques
- Reconstruction de l'existant
- Consommation 100 kWh/m²/an ald 80
- Sans MDE



Siège de TCO : ensemble des variantes

L'enjeu majeur du projet se situe d'abord dans sa capacité à économiser l'énergie lors de l'utilisation. En effet les économies ou gaspillages cités dans le graphique précédent ne représentent que quelques années d'économies ou de gaspillages identifiés ici.

Cependant, la recherche absolue d'une performance énergétique extrême ne doit pas en soi justifier la démolition-reconstruction sur place de l'existant. En effet, en supposant que la démolition et reconstruction de la partie existante puisse permettre d'éviter lors de l'utilisation l'écart entre la valeur projet et l'objectif Prebat (soit environ 35 t CO₂e / an sur la surface réhabilitée), le surplus d'émissions de construction (~ gros-oeuvre neuf) ne serait alors amorti qu'en 23 années.

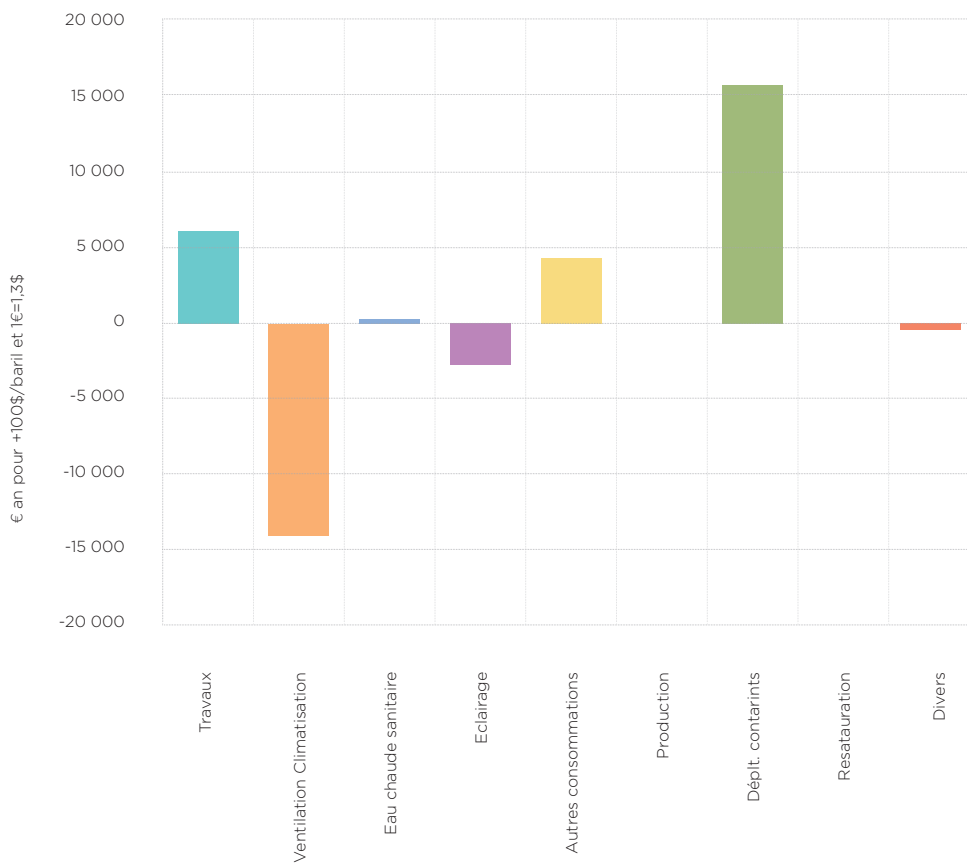
Il convient de signaler sur ce point qu'en général en métropole, la durée d'amortissement carbone d'une démolition-reconstruction conventionnelle d'un bâti qui aurait pu être rénové, et qui permet d'obtenir une performance «BBC RT 2012 neuf» au lieu de «BBC RT 2012 rénovation», est en général de nombreuses décennies (et parfois plusieurs siècles), donc avec un intérêt global le plus souvent contre-productif : la démolition-reconstruction sur site se doit d'être parcimonieuse et limitée à des intérêts ponctuels supérieurs, comme le désenclavement d'un quartier par exemple.

L'installation photovoltaïque, si tenté qu'elle puisse être mise en place, voit son supplément d'émission de construction «contrebalancé» après seulement trois années d'utilisation. Cette équation est propre au contexte réunionnais, particulièrement ensoleillé et donc l'électricité marginale évitée est particulièrement carbonée (de ces deux faits, cette durée d'amortissement est assez significativement supérieure en métropole, de l'ordre de 7 à 10 ans).

BILAN CARBONE® DU PROJET « REHABILITATION ET EXTENSION DU SIEGE DE T.C.O. »

6.5. Diagramme de sensibilité des coûts globaux à une augmentation du prix du baril de pétrole :

**SENSIBILITÉ
ÉCONOMIQUE
AMONT**



Sensibilité au prix des énergies fossiles

Une augmentation de 100 \$ du prix du baril avec un taux de change de 1 € = 1,3 \$ conduirait à augmenter le coût du chantier de construction de l'ordre de 215 k€ et laisser à peu près inchangé celui d'utilisation (en supposant que cette augmentation soit déjà effective avant les travaux).

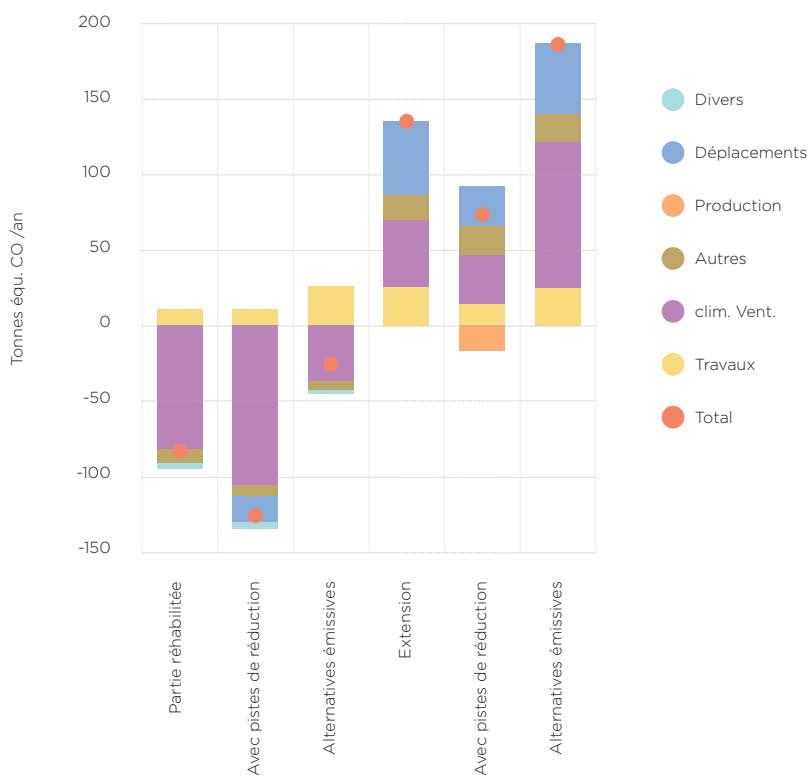
La mise en place d'une taxe carbone, pour une fiscalité de 100 €/tonne équ. CO₂, entraînerait un surcoût de construction de 245 k€, et un coût d'utilisation à peu près inchangé (entre une situation initiale avec taxe et sans réhabilitation, et une situation finale avec la même taxe).

Cependant, il convient de signaler que dans ces deux simulations, cette stabilité globale à l'utilisation cache en fait d'un côté de fortes économies supplémentaires pour l'exploitant, mais de l'autre de forts surcoûts de déplacements pendulaires pour les actifs venant travailler avec leur voiture particulière...

6.6. DISTINCTION ENTRE LA PURE RÉHABILITATION ET L'EXTENSION NEUVE

Nous avons effectué une ventilation de tous les postes d'émission, selon qu'ils concernent la partie réhabilitée ou l'extension, à l'aide de ratios spécifiques à chaque corps d'état pour ce qui concerne les travaux, et en supposant la performance énergétique uniforme en m² utile entre la zone issue de l'existant et celle correspondant à l'extension.

Cela nous a permis de dresser le diagramme suivant, qui distingue les émissions globales de chaque zone :



Siège de TCO : émissions totales

La zone réhabilitée a en base un très bon « rendement » : en effet la durée d'amortissement des émissions de construction y est de l'ordre de 3 ans (durée au delà de laquelle l'évitement d'émissions d'utilisation dues aux travaux a contrebalancé les émissions initiales du chantier de réhabilitation). Celui-ci aurait pu être de 2 ans avec les pistes de réduction. L'alternative de démolition-reconstruction dégrade assez significativement cette performance.

L'extension correspond à un diagramme comparable avec celui du chapitre consacré aux opérations de bureau neuf. Notons que les proportions dans lesquelles elle est « perfectible » ou « dégradable » sont à peu près les mêmes que celles de la zone réhabilitée : dans ce projet cumulant réhabilitation et extension dans des proportions de surfaces similaires, il y a autant à rechercher de performance dans chacune des deux zones.

BILAN CARBONE® DU PROJET « REHABILITATION ET EXTENSION DU SIEGE DE T.C.O. »

6.7. SYNTHÈSE RÉHABILITATION

L'analyse détaillée du Bilan Carbone® de l'opération de réhabilitation-extension du siège du TCO, en se focalisant plus particulièrement sur la zone purement réhabilitée, permet de dresser par extrapolation le tableau suivant présentant pour chaque poste une fourchette d'émissions (kg équ. CO₂/m² utile ou ha/an) entre des typologies de réhabilitation très économes et très émissives.

A droite figure une pondération relative qui sera probablement reprise en l'état dans le guide pratique d'évaluation Réunionnais, élaboré parallèlement pour l'ADEME par BCO2 Ingénierie :

	Réhabilitation très économe		Réhabilitation très émissive		Pondération
Travaux	Rénovation légère limitée à des isolants et des protections solaires, plutôt en matériaux naturels, et à des matériels simples	0	Démolition totale et reconstruction en béton de masse, avec usage de matériaux minéraux et de matériels complexes	30	2,5
Ventilation et rafraîchissement	Initial très énergivore, final en ventilation naturelle, brasseurs d'air et sans climatisation	-120	Initial peu énergivore, final guère plus performant	0	8
Autres consommations	Minimales, dont éclairage naturel maximisé, éclairage artificiel très économe et asservi	-15	Standard	0	1
Production d'électricité	Autonomie électrique	-45	Sans production sur lesite du projet	0	3
Déplacements	Relocalisation depuis l'étalement urbain vers une zone parfaite	-40	Relocalisation depuis une zone centrale vers l'étalement urbain	40	5
Divers	Initial gourmand en eau et sans tri des déchets, final quasi autonome	-5	Sans amélioration de la situation initiale	0	0,5
					20 points

Quelques considérations complémentaires peuvent ajuster la note : la réalisation du chantier en site occupé (donc sans déménagement ni relogement provisoire), la création de jardins privatifs (en logements), l'accompagnement régulier des résidents pour les inciter à économiser l'énergie, ainsi que la nature des plats servis dans l'éventuelle restauration collective sur place (bureaux) sont de nature à moduler la note (options de valeurs respectives 0,25, 0,25, 0,25 et 1 point).

Sur l'ensemble de ces critères, la note globale de la zone réhabilitée du projet du siège du TCO est de 11 points (médaille de bronze du Barème Carbone®), et l'ensemble de l'opération obtient globalement 10,1 points (note correcte mais sans médaille).

Concernant les projets de réhabilitation, nous avons donc identifié par ordre de priorité (et de chronologie) les considérations suivantes :

- S'interroger sur la pertinence de la localisation et vérifier qu'elle est correcte ou identifier des opportunités foncières où elle pourrait significativement s'améliorer.
- Conserver autant que possible les structures porteuses existantes. Leur démolition puis reconstruction entraîne les très significatives émissions d'un lot gros-oeuvre complet, qui seront difficilement justifiables par la sur-performance énergétique que l'on pourrait spécifiquement en attendre.
- Optimiser très fortement la performance énergétique de l'ensemble, en démultipliant les protections solaires, en exacerbant la ventilation naturelle, en limitant l'éclairage artificiel, de sorte au final de tendre vers une (quasi) suppression du recours à la climatisation.
- Analyser ensuite quelques leviers complémentaires d'optimisation : recours aux matériaux naturels, production d'énergie renouvelable sur site, amélioration de la desserte par les transports en commun et les modes doux, optimisation de la restauration collective si elle est intégrée au projet, dispositifs de suivi en temps réel des consommations et des émissions associées par les résidents, économies d'eau, mise en place de tri sélectif, etc...

CONCLUSION

L'analyse globale carbone des quatre projets a permis de mettre en lumière les proportions relatives d'impacts aussi divers que les modes constructifs, les consommations énergétiques prévisionnelles, parfois la nature des biens commercialisés, ainsi que les conséquences de leur localisation sur divers types de déplacements.

L'analyse détaillée de chaque projet nous a aussi permis d'intégrer les spécificités Réunionnaises, que ce soit sur la nature des matériaux employés et leur acheminement souvent très lointain, sur la problématique énergétique de son mode de production d'électricité, de ses nécessités et fortes économies de consommation attendues, et de la tentation fréquente du recours à la climatisation, le tout dans un contexte de déplacement des personnes sujet à la congestion du trafic et à l'étalement urbain.

Chacune des études a permis d'établir, par extrapolation autour de son cas particulier, un aperçu des situations extrêmes potentiellement rencontrées sur chaque poste d'émission, que se soit dans une logique vertueuse ou a contrario énergivore et émissive en gaz à effet de serre.

L'évaluation des émissions de gaz à effet de serre de ces cas extrêmes est à l'origine de grilles types par points permettant à tout aménageur, maître d'ouvrage, ou concepteur, de se faire sa propre idée du positionnement relatif de son étude et d'alternatives majeures qui s'offrent à lui.

Dans le cas des bâtiments de bureaux neufs, de logements neufs, et de leurs réhabilitations, ces grilles ont été formalisées dans un « guide pratique d'évaluation carbone des opérations », conçu pour être utilisé de manière autonome, voire repris tel quel dans des appels d'offres.

Nous espérons que ce rapport et le guide simplifié qui l'accompagne seront des outils utiles dans le cadre de la nécessaire réduction drastique des consommations d'énergie et des émissions globales de gaz à effet de serre de l'île de La Réunion, dans la perspective de son autonomie énergétique et de sa contribution contenue au changement climatique en cours.

Laurent Castaignède, BCO2 Ingénierie

ANNEXE

8.1. DURÉE DE VIE DE MATÉRIAUX À LA RÉUNION Données de l'ADEME DR Réunion sur la durée de vie prévisionnelle d'éléments de corps d'état :

Poste (éléments changés avant 30 ans)	Durée de vie dans les Bas	Durée de vie dans les Hauts
Couche enrobé voirie	bicouche 15 ans, enrobé 30 ans	enrobé 20 ans
Mobilier urbain	RAS	RAS
Étanchéité terrasses inaccessibles	15 ans	15 ans
Panneaux photovoltaïque	manque de recul	manque de recul
Menuiseries extérieures-bois	10 ans	15 ans
Menuiseries extérieures- PVC	20 ans	25 ans
Menuiseries extérieures- aluminium	20 ans	25 ans
Menuiseries extérieures- acier	10 ans	15 ans
Plomberie	RAS	RAS
Sanitaires	20 ans	20 ans
VMC	manque de recul	manque de recul
Sols plastiques	15 à 20 ans	15 à 20 ans
Sols carrelés	25 à 30 ans	25 à 30 ans
Parquet	RAS	RAS
Faïences	15 à 20 ans	15 à 20 ans
Peinture Ravalement Ext	15 à 20 ans	15 à 20 ans
Couverture	15 à 20 ans	20 à 25 ans

