



HAL
open science

Approche dynamique du fonctionnement énergétique d'un espace bâti et bilan carbone associé: Application sur un gîte rural situé à Mayotte

El Assad Nidhoimi, Jean-Claude Gatina, Jean-Philippe Praene, Ali Hamada
Fakra

► To cite this version:

El Assad Nidhoimi, Jean-Claude Gatina, Jean-Philippe Praene, Ali Hamada Fakra. Approche dynamique du fonctionnement énergétique d'un espace bâti et bilan carbone associé: Application sur un gîte rural situé à Mayotte. CIPE2014, Dec 2014, ANTANANARIVO, Madagascar. hal-01161953

HAL Id: hal-01161953

<https://hal.science/hal-01161953>

Submitted on 9 Jun 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Approche dynamique du fonctionnement énergétique d'un espace bâti et bilan carbone associé: Application sur un gîte rural situé à Mayotte.

El Assad NIDHOIMI¹, Jean Claude GATINA², Jean-Philippe PRAENE², Damien FAKRA²

¹ Doctorant 1^{ère} année – Laboratoire PIMENT – Université de La Réunion 117 rue du Général Ailleret 97430 LE TAMPON

² Laboratoire PIMENT - Université de La Réunion 117 rue du Général Ailleret 97430 LE TAMPON

Résumé

Nous proposons dans cette communication une simulation dynamique du fonctionnement énergétique d'un espace bâti afin d'en déduire une évaluation du bilan carbone associé.

Un outil de description et de modélisation sera mis en œuvre en s'appuyant sur plusieurs références méthodologiques. Nous faisons appel en premier lieu à une analyse systémique pour décrire les aspects structurels et fonctionnels des systèmes constituant l'espace bâti et les flux d'énergie que nous observons. Cette description se fera notamment de manière hiérarchique pour permettre une analyse pertinente des flux à partir de traitements de données adéquats.

L'outil se basera également sur une approche typologique autour des notions de journées types, de configurations structurelles et fonctionnelles types à différents échelles et angles d'observation. Cette présente communication a principalement pour but de présenter les fonctions de corrélations qui permettront de passer de journées types à l'ensemble des autres jours de l'année.

Pour cela, nous avons fait appel à un logiciel de simulation du comportement thermique des bâtiments (Energy +).

Nous présentons des résultats à différentes échelles d'observation dans le temps et dans l'espace. Ces résultats sont explicités en termes de consommation énergétique et en termes de bilan carbone à partir de facteurs d'émission de mix énergétique du territoire mahorais.

Mots-clés : Bilan énergétique, bilan carbone, espace-bâti, poste de consommation, approche systémique, approche typologique.

I. INTRODUCTION

La diminution de la consommation énergétique est un des enjeux primordiaux actuels pour faire face notamment aux problématiques des émissions de gaz à effet de serre dans un environnement de crise et de pollution qui s'aggrave de plus en plus. Depuis le rapport Brundtland de 1987, des mesures ont été initiées et conduites par divers pays afin de diminuer leur rejet de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. Cependant même si ces efforts sont importants, nous constatons que la situation ne cesse de se dégrader.

D'après un rapport du GIEC, en 2010 le secteur des espaces-bâti en général et plus particulièrement des bâtiments occupait un tiers des rejets totaux de gaz à effet de serre dans le monde. Il se trouve que c'est dans ce secteur où les leviers d'actions sont les plus prometteurs afin de diminuer ces rejets de gaz à effet de serre dans l'atmosphère [1].

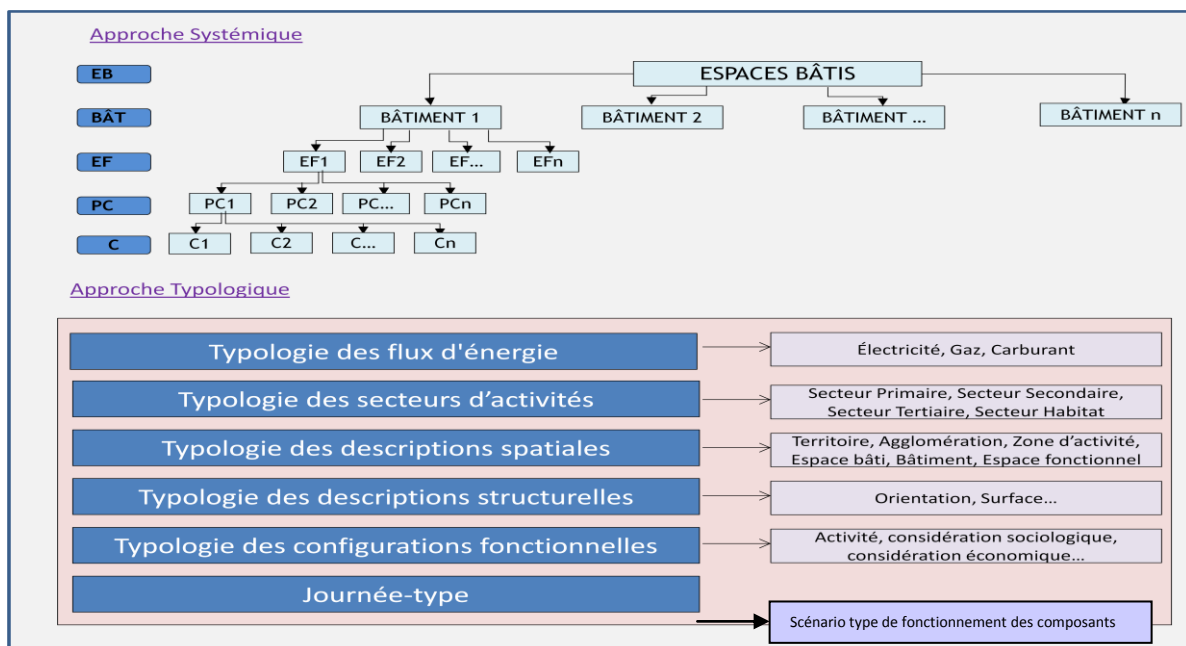
Dans cet article nous proposons une approche détaillée et dynamique d'évaluation de la consommation énergétique d'un espace bâti. Nous en déduisons le bilan carbone associé à partir de facteurs d'émissions de mix énergétique dans un pays donné.

Pour cela nous élaborons un outil de description systémique et typologique d'un espace bâti. Cet outil renseignera sur les caractéristiques structurelles et fonctionnelles des sous systèmes composants l'Espace Bâti à différentes échelles d'observation. Nous considérons sur une journée type un scénario de fonctionnement explicitant la consommation énergétique par poste de consommation pour chaque Espace Fonctionnel. Puis à partir de fonctions de corrélations pondérées, nous déterminons la consommation énergétique à l'échelle du mois et de l'année. Nous travaillons également sur des Espaces Fonctionnels types selon leurs caractéristiques structurelles afin de développer nos résultats au niveau de l'ensemble de l'Espace Bâti. Les approches typologiques permettront de mettre en œuvre une acquisition de données à la fois détaillée et la moins fastidieuse possible. L'approche systémique permettra de conduire une analyse à différentes échelles d'observation dans l'espace et dans le temps [2].

Pour mettre en œuvre les lois de corrélation nous nous baserons sur des outils de simulation de comportements thermiques et physiques des bâtiments tels que par exemple Energy + ou Dialux.

II. APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

A. Approche systémique et typologique



Source : El Assad

FIG 1 : Diagramme de l'approche systémique et typologie

L'approche systémique nous permet de mettre en œuvre une description hiérarchique et organique des différents sous systèmes constituant les Espaces Bâti (EB) et des flux énergétiques qui leur sont associés autour d'entités que nous dénommerons : Bâtiments (BÂT), Espaces Fonctionnels (EF), Poste de consommation (PC) et composants (C). L'explicitation des flux énergétiques se fera au niveau de chacun de ces sous systèmes qui constitueront autant d'échelles d'observation [3] [4] [5].

L'approche typologique sera considérée en relation avec plusieurs indicateurs de description : les typologies d'énergie, les typologies de secteur d'activités, les typologies d'Espace Bâti et de sous systèmes associés, les typologies de configuration spatiales, structurelles et fonctionnelles les typologies de journée d'observation de référence. Ces approches typologiques permettront notamment de déduire des flux de consommation énergétique détaillés à partir de données réduites [6].

B. Cadre normatif

Notre démarche s'appuiera par ailleurs sur les normes ISO autour des considérations d'Analyse de Cycle de Vie, concernant notamment l'évaluation des bilans carbone.

- Série des normes ISO 14040 à 14 044 : spécifie les principes et le cadre applicable à la réalisation d'analyses du cycle de vie
- Série des normes ISO 14000 qui désigne l'ensemble des normes qui concernent le management environnemental
- Norme ISO 14 001 : définit une série d'exigences spécifiques à la mise en place d'un système de management environnemental au sein d'une organisation, quels que soient sa taille et son domaine d'activité
- Norme ISO 9001 : La norme ISO 9001 définit une série d'exigences concernant la mise en place d'un système de management de la qualité dans un organisme, quels que soient sa taille et son secteur d'activité. Son application est complémentaire aux normes ISO 14001.

Nous prendrons également en compte un ensemble de documents réglementaires, référencés pour le territoire d'application de l'outil mis en œuvre : RTAADOM, Charte Mayénergie, Construction HQE, SAR Mayotte, PADD Mayotte, etc. [7] [8].

III. OUTILS DE SIMULATION DU FONCTIONNEMENT DE L'ESPACE BÂTI

A. Architecture de l'outil de simulation

L'outil sera réalisé dans le cadre d'une application Excel pilotant la navigation dans chaque sous systèmes de l'Espace Bâti autour de plusieurs phases :

- Une phase de description du cadre d'étude et de l'environnement de l'Espace Bâti
- Une phase de description des sous systèmes observés
- Une phase d'acquisition de données
- Une phase de calcul des consommations énergétiques
- Une phase d'analyse et de présentation des résultats.

Chaque outil sera spécifique d'un Espace Bâti donné dans un secteur d'activité bien identifié. Dans cette communication, nous illustrerons la mise en œuvre de l'outil de simulation pour un Espace Bâti type « Gite Rural » se situant sur le territoire de Mayotte.

A.1 Description du cadre d'étude et de l'environnement de l'Espace Bâti

Il s'agira dans un premier temps de préciser les types d'énergie considérés, les secteurs d'activité et l'environnement de l'Espace Bâti selon différentes échelles d'observation du territoire considéré dans une approche systémique. (Figure FIG 2)

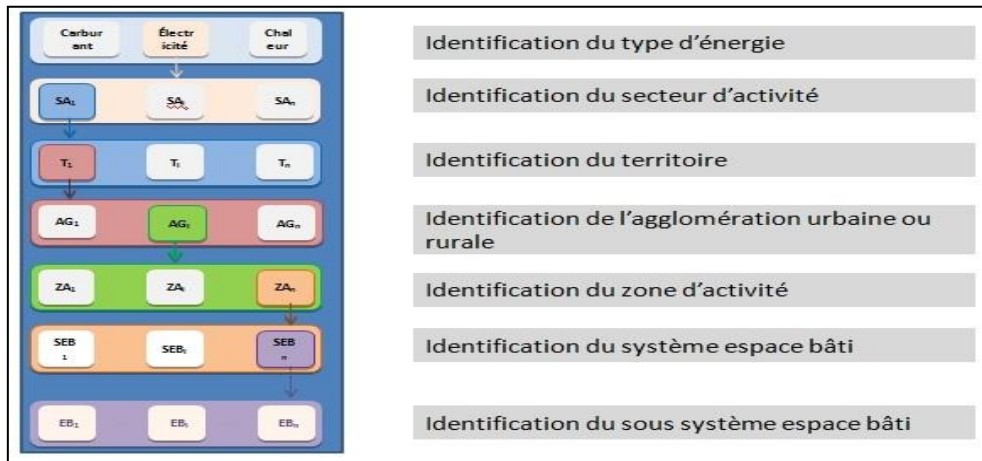


FIG 2 Représentation de l'environnement de l'Espace Bâti

A.2 Description spatiale de l'Espace Bâti

Nous identifions dans cette phase de description, les sous systèmes constituant l'Espace Bâti, ainsi que les composants de chaque poste de consommation énergétique (Figure FIG 3).

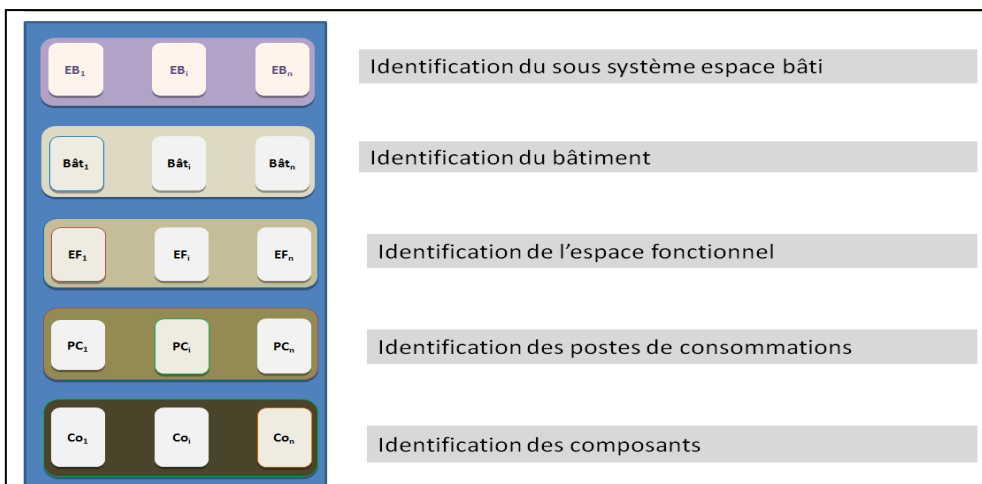


FIG 3 : Représentation des sous systèmes constituant l'Espace Bâti

Les pages Excel assurant ces deux phases de description se présentent plus concrètement autour de séquences de navigation présentées figure : FIG 4

Cette phase d'identification recense précisément les données réduites aux différentes échelles d'observation présentées. Il s'agit de données structurales autour notamment des dimensions et capacités liées aux sous-systèmes de l'Espace Bâti et de données fonctionnelles globales autour notamment des caractéristiques sociologiques et économiques [9].

Au niveau des composants ou appareils d'un poste de consommation les données réduites sont leur nombre et leur puissance

Les postes de consommation sont bien spécifiés pour un Espace Bâti donnée en relation avec les activités qui y sont menées.

Les composants sont très variables, il est pratique de les définir dans un menu déroulant qui permettra de les identifier à priori.

Deux scénarios peuvent se programmer au niveau des Espaces Fonctionnels. Nous pouvons, soit envisager une acquisition de données détaillée, soit considérer une acquisition de données réduite en ayant défini au préalable des Espace Fonctionnels types.



FIG 4 Architecture des deux premières phases de description

A.3 Phase d'acquisition de données

Cette étape de description nous amène, à partir de scénario d'utilisation, à préciser les caractéristiques de fonctionnement de chaque composant de l'ensemble des postes de consommation pour tous les Espaces Fonctionnels des Bâtiments constituant l'Espace Bâti étudié [10].

La figure FIG 5 illustre les pages Excel assurant cette phase de description pour une journée type de fonctionnement, autour des durées d'utilisation des appareils liés au poste de consommation décrit, permettant le calcul des consommations énergétiques pour chaque heure de la journée type. Puis nous définirons les coefficients de corrélation permettant de déduire les consommations pour chaque mois de l'année et leur récapitulation à l'échelle de l'année.

Plusieurs stratégies d'acquisition de donnée peuvent être mises en œuvre pour renseigner l'outil de simulation et d'analyse. Nous pouvons procéder selon les possibilités suivantes :

- Référence à des bases de données statistiques
- Acquisition de données en ligne à partir de dispositif GTC ou Smart Grid
- Utilisation de base de données expérimentale
- Introduction de bases de données simulées à partir de logiciels de comportement thermique ou physique du Bâtiment
- Référence à des bases de données à priori pertinente.

Les choix qui seront faits dépendent des contextes d'étude. Dans la présente communication nous nous appuyons sur des acquisitions de données à priori et des logiciels de comportement thermique.

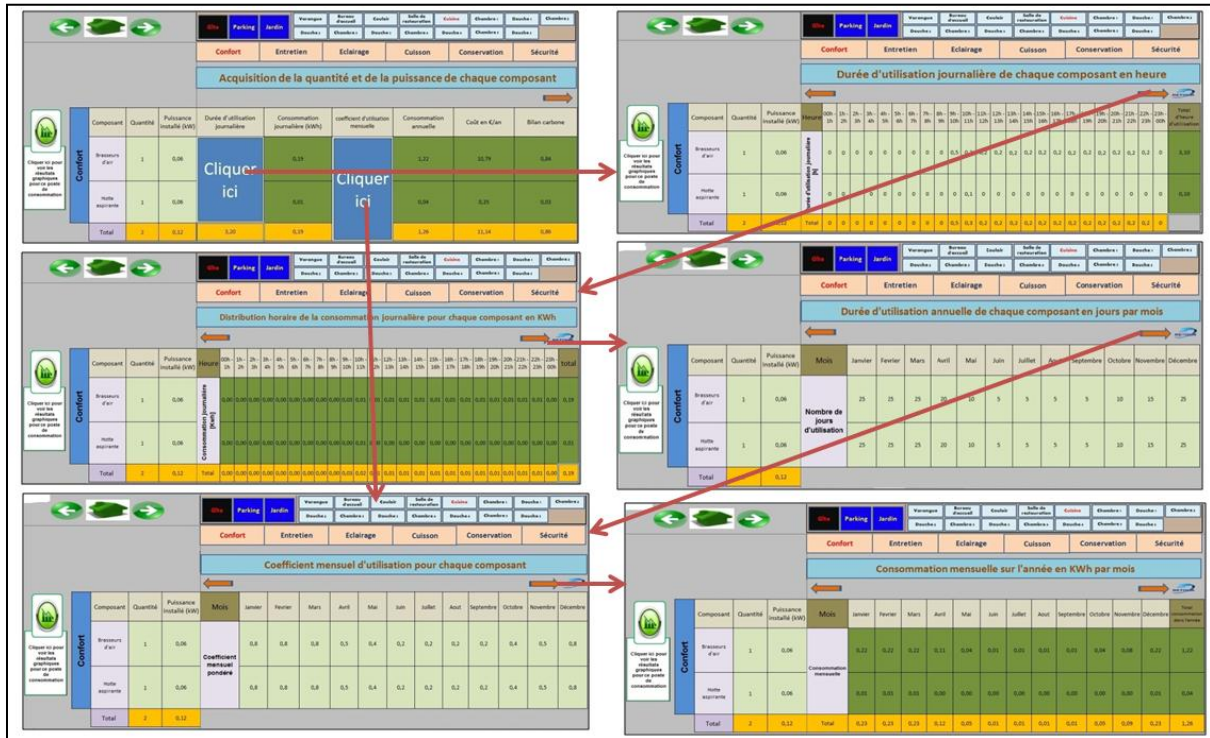


FIG 5 : Phase d'acquisition de donnée et de calcul

A.4 Phase de calcul

Calculs sur une journée type

Nous utilisons les formules suivantes pour déduire les consommations énergétiques associées aux profils d'utilisation horaire des appareils dans le cadre d'une observation sur une journée type :

$$DUTJ = \sum_{1}^{24} D_{ij}$$

$$CTH C_{ij} = D_{ij} \times P_{ij}$$

$$CTJ = \sum_{h=1}^{24} D_{ijh} \times P_{ij}$$

Avec,

DUTJ : la durée d'utilisation totale journalière

D_{ij} : la durée d'utilisation de l'appareil à chaque heure de la journée

CTH C_{ij} : Consommation totale horaire d'un composant

P_{ij} : la puissance installée de l'appareil définie dans la phase précédente

CTJ : Consommation totale journalière

Ces calculs sont menés au niveau des composants et des postes de consommation directement au cours de la première étape d'acquisition de données.

Calculs sur un mois et sur une année

Au cours de la deuxième étape d'acquisition de données, en intégrant les scénarios d'utilisation mensuelles et les coefficients de corrélations permettant de passer d'une journée type pour un mois donnée à des journées types pour tous les mois de l'année, nous poursuivons le calcul pour les autres échelles de temps sur l'année. Nous déduisons les consommations mensuelles et annuelles à partir de l'organigramme suivant :

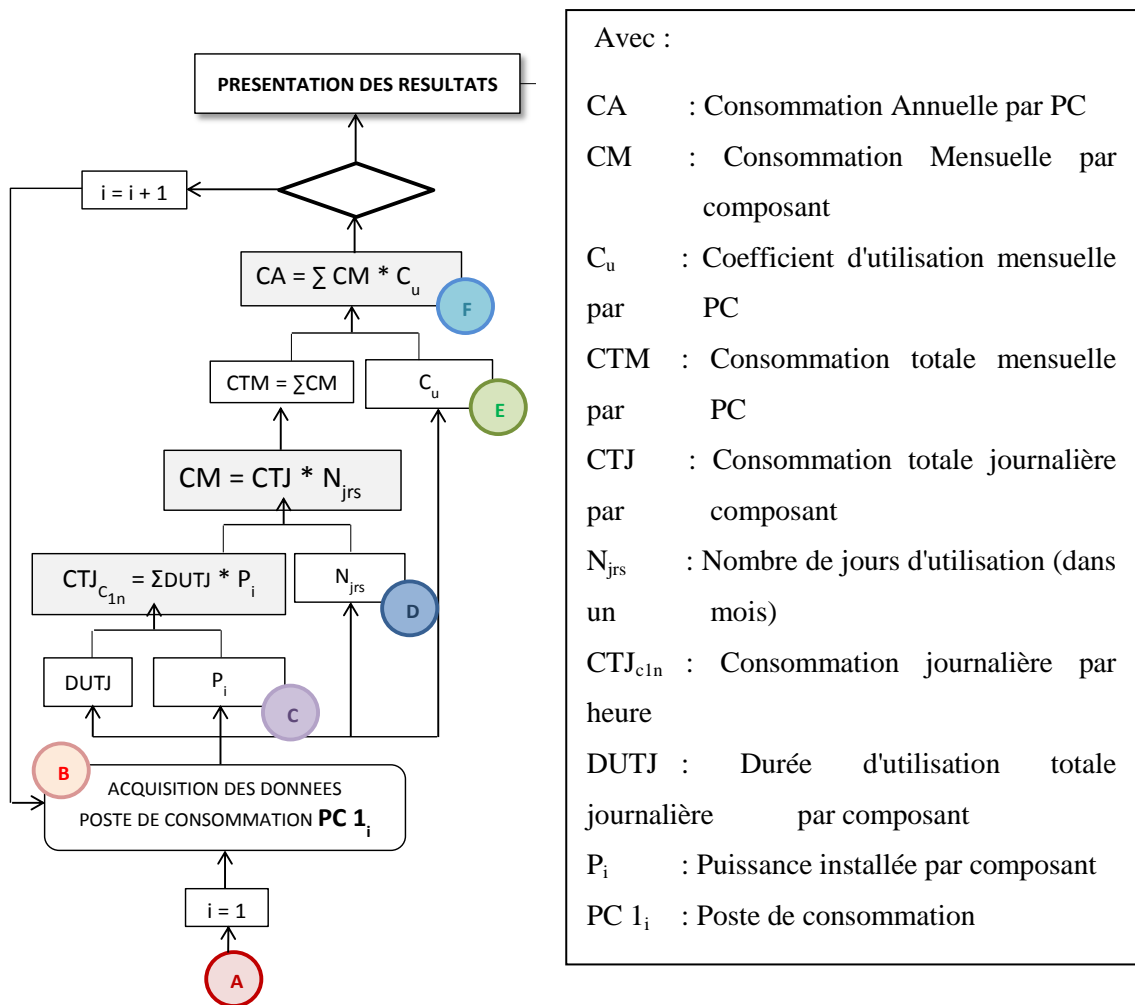


FIG 6 : Organigramme de calcul des consommations mensuelles et annuelles

Signature énergétique

Les signatures énergétiques permettent d'observer les consommations énergétiques par poste de consommation, par Espace Fonctionnels et par Bâtiment dans l'Espace Bâti. Ces calculs sont effectués au niveau des Espaces Fonctionnels, des Bâtiments et de l'Espace Bâti.

Elles se retrouvent à partir des calculs suivants menés à l'échelle de l'heure, de la journée, du mois et de l'année.

$$CE_{PC} = \sum_{j=1}^n \text{Consommations } C_{ij}$$

$$SE_{EF} = \sum_i \text{Consommations } C_n$$

$$SE_{Bât} = \sum_u EF_i$$

$$SE_{EB} = \sum_v \text{Consommations } Bât_u$$

Coefficients de corrélations

Les coefficients de corrélation dépendent des postes de consommation selon des facteurs d'influence variables. Nous les résumons dans le tableau TAB 1

Facteurs d'influences / Poste de consommation	Surface	Nombre de personnes présentes	Orientation	Taux d'utilisation	Rayonnement	Température
Entretien						
Eclairage						
Confort						
Bureautique						
Sécurité						
Cuisson						
Conservation						
Multimédia						
Eau chaude						

TAB 1 : Facteurs d'influence selon les postes de consommation

Bilan carbone

Les bilans carbonés se déduiront des consommations énergétiques à partir des facteurs d'émissions du mix énergétique produit en un lieu donné.

Le bilan carbone(BC) de l'espace bâti sera donc déterminé à l'aide de la formule suivante :

$$BC \text{ (Kg eq C)} = \text{Consommation énergétique (kWh)} * \text{Facteur d'émission (Kg eq C/kWh)}$$

La consommation énergétique représente ici la consommation de chaque bâtiment constituant l'espace bâti. Le facteur d'émission de Mayotte est de 684 g eq C/kWh (Bilan énergétique mahorais, 2011) [11].

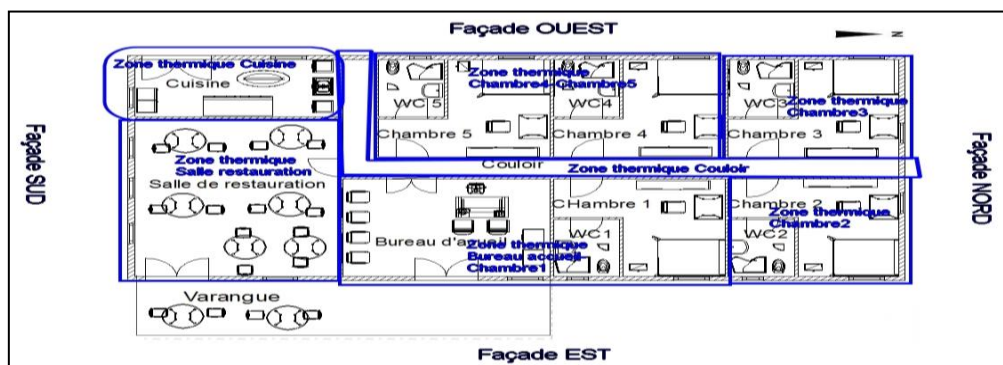
B. Présentation des résultats et des analyses

B.1 Description de l'espace bâti

Nous avons choisi de mener nos calculs sur un gîte avec une construction typique reprenant les matériaux les plus utilisés dans la construction à Mayotte. C'est une structure multi zones de 264 m².

Ce gîte a fait l'objet d'une modélisation sous Energy+ afin de déterminer les coefficients de corrélation. Nous avons été amenés à définir 8 zones thermiques au sein du gîte [12].

Nous présentons sur la figure 7 les Espaces Fonctionnels et zones thermiques du Bâtiment "Gîte"



Source : El Assad

FIG7 : Plan, zone thermique et orientation du gîte

B.2 Détermination des coefficients de corrélation

À l'aide du logiciel Energy+, nous avons modélisé notre bâtiment "Gîte" avec les matériaux les plus utilisés au niveau de la construction sur Mayotte. Nous avons aussi chargé sur Energy+ les données météorologiques de l'île de Mayotte sur une année complète au pas de temps de l'heure. Ces données météorologiques comprennent notamment la température, l'humidité, le rayonnement, le vent.

Après avoir intégré toutes ces données sur Energy+, nous avons lancé les simulations et nous avons sorti les résultats au niveau de la température pour chaque zone thermique et du rayonnement pour chaque façade. Suite à ces données sur la température et le rayonnement, nous avons calculé la température moyenne et le rayonnement moyen dans la journée pour chaque mois de l'année. Nous présentons sur les figures FIG 8 et 9 les résultats obtenus :

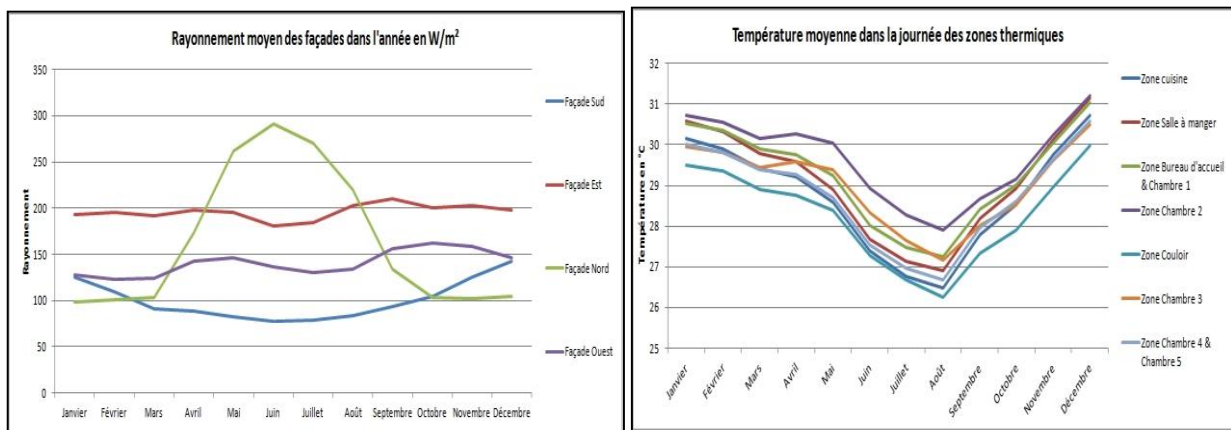


FIG 8 et 9 : Courbes du rayonnement moyen et température moyenne dans la journée par mois

Après avoir calculé la température et le rayonnement, nous déduisons les coefficients de corrélations pour le poste de consommation "Confort", "Conservation" et "Éclairage". Les coefficients de corrélations en relation avec la température sont donnés par zones thermiques pour chaque mois de l'année. Les coefficients de corrélations en relation avec le rayonnement sont donnés par façade par mois dans l'année. Les résultats obtenus en considérant le mois de janvier comme mois de référence sont présentés dans les tableaux TAB 2 et 3 :

	Ja	Fe	M	Av	Mai	Jui	Jui	Ao	Se	Oc	No	De
	n	v	a	r	a	l	l	u	p	t	v	c
	Coefficient de corrélation selon la T° moyenne journalière											
Zone cuisine	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97	0,94	0,91	0,90	0,92	0,94	0,99	1,00
Zone Sa manger	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95	0,91	0,89	0,88	0,90	0,95	0,99	1,00
Zone Bur Ac et Ch1	1,00	0,99	0,97	0,97	0,95	0,90	0,88	0,88	0,90	0,95	0,99	1,00
Zone Ch 2	1,00	0,99	0,98	0,98	0,96	0,92	0,90	0,88	0,90	0,95	0,99	1,00
Zone Couloir	1,00	0,99	0,98	0,98	0,96	0,92	0,90	0,88	0,90	0,95	0,99	1,00
Zone Ch 3	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,92	0,90	0,88	0,90	0,95	0,99	1,00
Zone Ch4, Ch5	1,00	0,99	0,98	0,98	0,96	0,92	0,90	0,88	0,90	0,95	0,99	1,00
Zone Toiture	1,00	0,99	0,98	0,98	0,96	0,92	0,90	0,88	0,90	0,95	0,99	1,00

	Ja	Fe	M	Av	Mai	Jui	Jui	Ao	Se	Oc	No	De
	n	v	a	r	a	l	l	u	p	t	v	c
	Coefficient de corrélation selon le rayonnement											
Façade Sud	1,00	0,88	0,72	0,71	0,66	0,62	0,63	0,67	0,74	0,84	0,91	1,14
Façade Ouest	1,00	1,01	0,99	1,02	1,01	0,93	0,95	1,05	1,08	1,03	1,05	1,02
Façade Nord	1,00	1,02	1,05	1,11	1,12	1,08	1,07	1,14	1,14	1,11	1,04	1,06
Façade Ouest	1,00	0,96	0,97	1,12	1,14	1,07	1,02	1,05	1,11	1,22	1,27	1,15

TAB 2 et 3 : Coefficient de corrélation selon la température moyenne journalière et le rayonnement

Ces coefficients de corrélations sont ensuite intégrés dans notre Outil Excel au niveau des deux postes de consommations correspondants cités plus haut. Ensuite, nous sortons les résultats numériques et graphiques qui seront présentés à la suite de cette publication.

B.3 Sorties numériques et graphiques de l'Outil de simulation

Notre outil de simulation permet plusieurs sorties numériques ou graphiques présentant les courbes de consommation à l'échelle de la journée ou de l'année au niveau des composants et des postes de consommation, des signatures énergétiques par poste de consommation au niveau des Espaces Fonctionnels, des Bâtiments et de l'Espace Bâti, des signatures énergétiques par Poste de consommation et par Espace Fonctionnel au niveau des Bâtiments et des Espaces Bâti. Nous avons choisi quelques une des sorties graphiques possibles dans les figures qui suivent.

B.4 Flux énergétique par poste de consommation

Les flux énergétiques par poste de consommation s'observent au niveau d'un Espace Fonctionnel, d'un Bâtiment ou de l'Espace Bâti. À ce stade nous pouvons disposer des courbes de consommation journalière (heure par heure) ou annuelle (mois par mois) pour chaque composant et chaque poste de consommation de l'Espace Bâti. Nous en déduisons alors pour un espace fonctionnel donné, un premier niveau de signature énergétique par Poste de Consommation (figure FIG 10) à l'échelle de la journée ou de l'année.

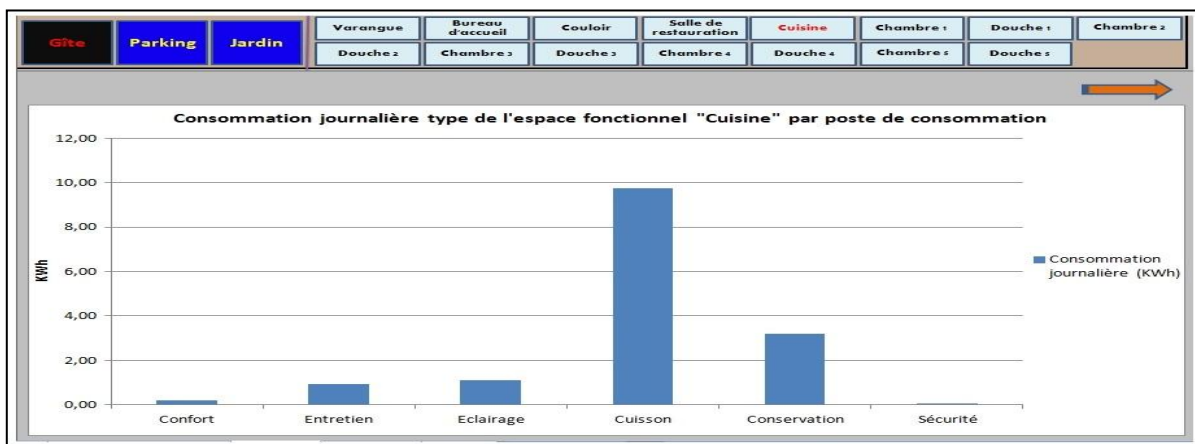


FIG 10 : Consommation journalière par poste de consommation au sein de la cuisine

Il est alors possible d'établir un deuxième niveau de signature énergétique au niveau de chaque Bâtiment de l'Espace Bâti, à l'échelle de la journée (figure FIG 11), ou de l'année (figure FIG 12). Les profils de ces signatures varient sensiblement aux deux échelles de temps, en raison notamment des corrélations variables au cours de l'année.

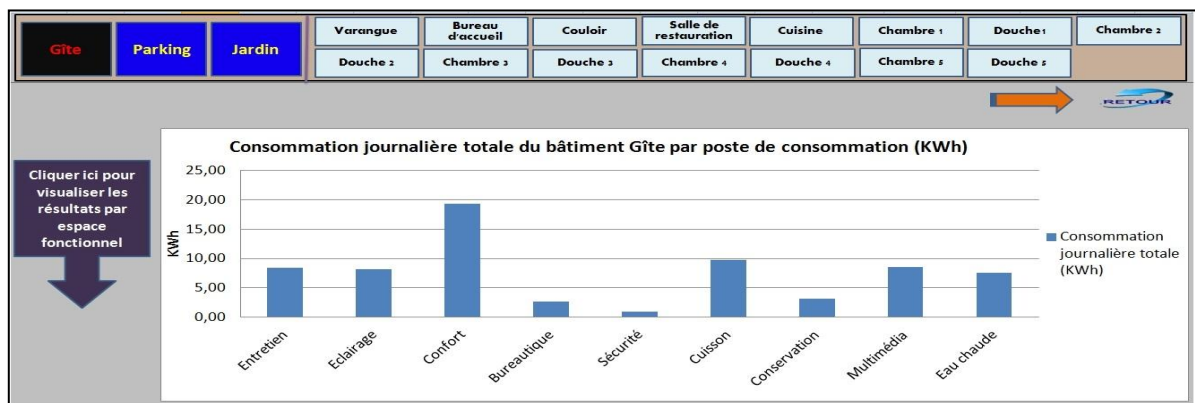


FIG 11 : Consommation journalière par poste de consommation au sein du Bâtiment Gîte

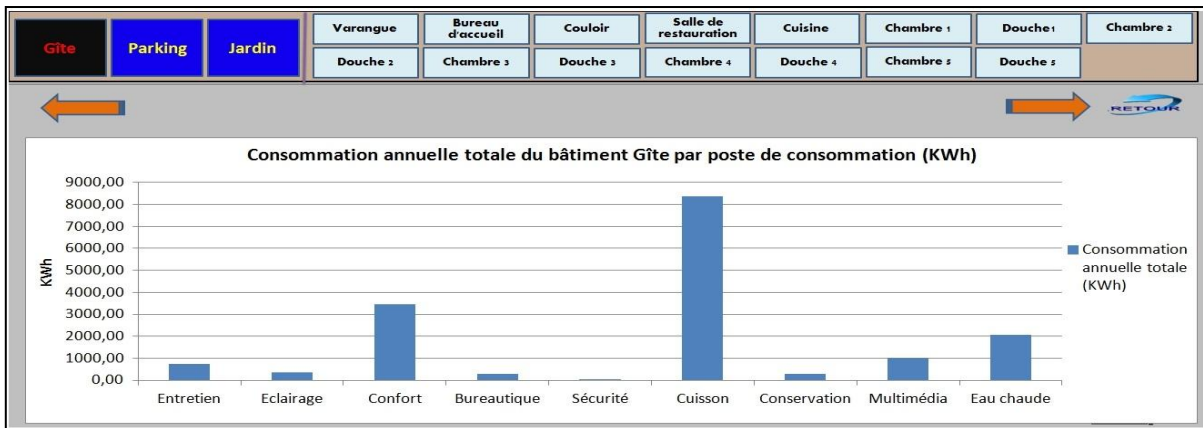


FIG 12 : Consommation annuelle par poste de consommation du Bâtiment Gîte

Il est alors aisé d'en déduire les émissions de gaz à effet de serre (figure FIG 13). Cette conversion peut être réalisée au niveau de toutes les représentations de consommation énergétique.

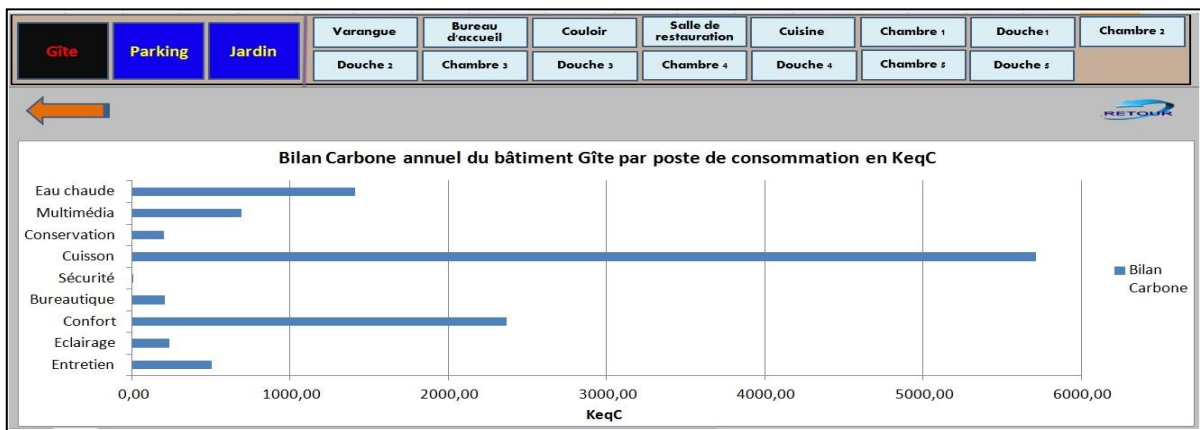


FIG 13 : Bilan carbone annuel par poste de consommation du Bâtiment Gîte

B.5 Flux énergétique par Espace Fonctionnel

Les mêmes types de sorties graphiques peuvent être réalisées par Espace Fonctionnel au niveau de chaque Bâtiment ou de l'Espace Bâti à l'échelle de la journée ou de l'année. À titre d'illustration, nous présentons par exemple la signature de la consommation énergétique annuelle par Espace Fonctionnel (figure FIG 14), d'où nous déduisons la signature des émissions de gaz à effet de serre (figure FIG 15).

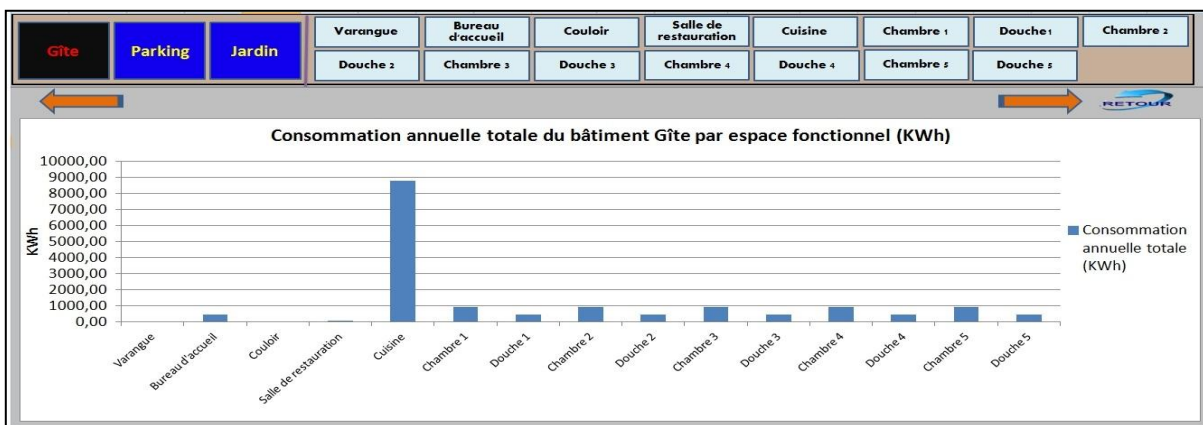


FIG 14 : Consommation annuelle par espace fonctionnel du Bâtiment Gîte

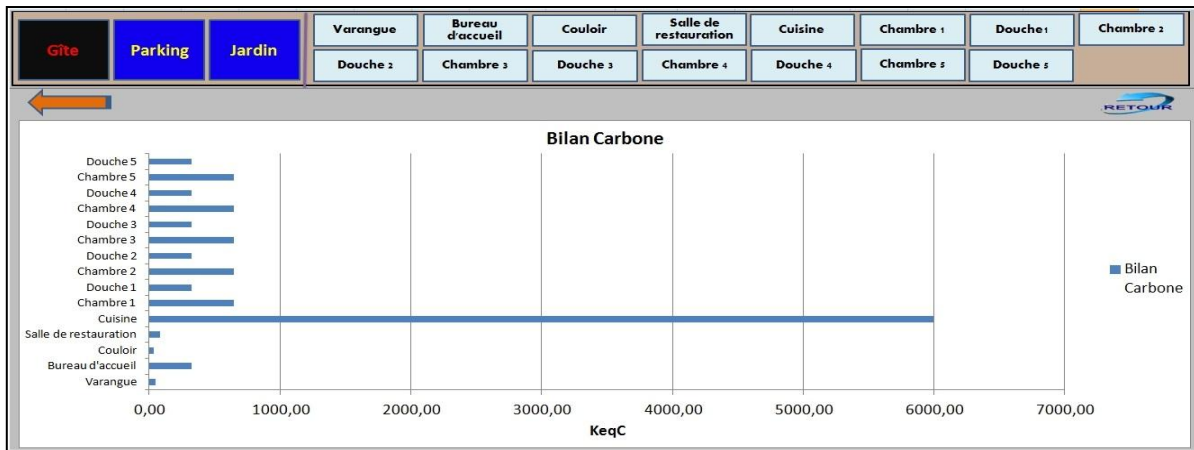


FIG 15 : Bilan carbone annuel par espace fonctionnel du Bâtiment Gîte

B.6 Flux énergétique par Bâtiment de l'Espace Bâti

Nous pouvons également présenter une signature de consommation énergétique ou d'émission de gaz à effet de serre au sein de l'Espace Bâti par Bâtiment également à différents échelle de temps (figure FIG 16).

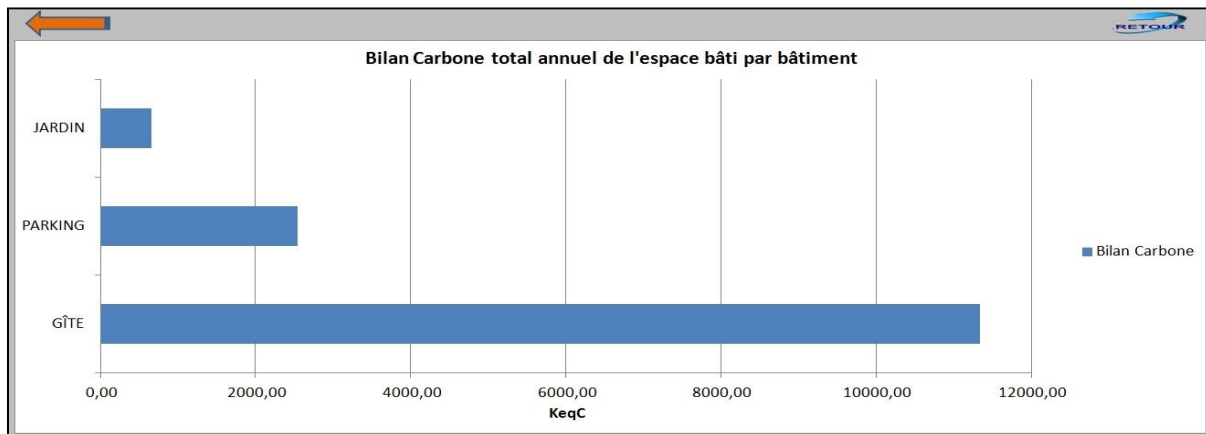


FIG 16 : Bilan carbone annuel par bâtiment de l'espace bâti

IV- CONCLUSION

Nous disposons avec cet outil de simulation et d'analyse des informations détaillées à différentes échelles d'observation dans le temps et dans l'espace.

Les acquisitions de données se font initialement au pas de temps horaire. Ce qui permet une approche dynamique fine des évolutions des flux énergétiques dans le temps. Les intégrations successives à partir de lois de corrélation pondérées permettent de visualiser ces flux à l'échelle de mois et de l'année.

Au-delà de cette représentation dynamique, plusieurs types de signature peuvent être observés. Dans un premier temps : par poste de consommation. Ces informations sont utiles pour aborder les leviers d'actions au sein de l'Espace Bâti.

Nous pouvons également réaliser nos observations dans un second temps, par échelle spatiale au niveau des Espaces Fonctionnels, des Bâtiments et de l'Espace Bâti étudié. Ces informations nous permettent de mieux gérer les consommations énergétiques au sein de ces entités.

À ce stade de notre étude, nous devons mieux affiner nos fonctions de corrélation afin de mieux maîtriser les acquisitions de données. Nous travaillerons pour cela avec plusieurs outils de simulation des phénomènes physiques qui interviennent dans le fonctionnement des Bâtiments.

Il nous faudra également travailler sur d'autres représentations d'Espace Bâti de tout secteur d'activité. Deux voies sont explorées. Nous pouvons mettre en œuvre des outils spécifiques caractéristiques d'un type d'activité ou développer un outil générique pouvant traiter les consommations de tout Espace Bâti.

Nous pouvons également envisager une intégration des consommations à des échelles d'observation spatiale plus larges permettant à terme de balayer un territoire donné.

Enfin nous devons interfacier cet outil avec d'autres outils d'analyse de Cycle de vie intégrant des périmètres d'étude plus large faisant intervenir d'autres incidences concernant les émissions de gaz à effet de serre.

RÉFÉRENCES

1. GIEC, groupe de travail III chapitre9, rapport final bâtiment.
<http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg3/>
2. Bilan des émissions de gaz à effet de serre d'une entreprise industrielle ou tertiaire, cahier des charges version 4, Guides et cahiers techniques, ADEME, 2006.
3. L'approche systémique : de quoi s'agit-il? Synthèse des travaux du groupe AFSCET – « Diffusion de la pensée systémique », Donnadiou & al, 2003.
4. La théorie du système général : Théorie de la modélisation, Presses universitaires de France, Le Moigne, 1977.
5. A systemic approach to assessing energy security in low-carbon EU energy system, F.Graceva & P.Zeniewsk, Elsevier 2014.
6. Thèse Néria Isabelle Rakotonarivo, 2013. "Approche dynamique du bilan carbone de l'énergie consommée et de l'énergie grise dans un espace bâti". P. 25-87.
7. Règlement thermique 2012. <http://rt2012-leguide.com>
8. Charte MayenergiePlus
9. Description and systemic modeling of energy working built spaces, the 7th International Conference Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings, Syracuse, New York - USA, Gatina & al, 2010.
10. Eric Vorger & al. 2014. "Étude de l'influence des occupants sur la performance énergétique des logements par le biais d'une modélisation stochastique globale.". Conférence IBPSA France-Arras
11. BEM 2011, édition 2012 et BER 2011.
12. Quel habitat pour Mayotte?, M.Richter, 2005.