

Estimation de l'empreinte carbone du stockage de données

Guillaume Charret, Alexis Arnaud, Francoise Berthoud, Bruno Bzeznik, Anthony Defize, Yves Delay, Fabien Drago, Gabrielle Feltin, Nicolas Gibelin, Gaël Guennebaud, et al.

▶ **To cite this version:**

Guillaume Charret, Alexis Arnaud, Francoise Berthoud, Bruno Bzeznik, Anthony Defize, et al.. Estimation de l'empreinte carbone du stockage de données. [Rapport de recherche] CNRS - GRICAD. 2020. hal-03573790

HAL Id: hal-03573790
https://cnrs.hal.science/hal-03573790

Submitted on 14 Feb 2022

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.

Estimation de l'empreinte carbone du stockage de données



Guillaume Charret(1), Alexis Arnaud(1), Françoise Berthoud(1), Bruno Bzeznik(1), Anthony Defize(1), Yves Delay(1), Fabien Drago Rajon(2), Gabrielle Feltin(1), Nicolas Gibellin(1), Gael Guennebaud(3), William Marchal(4)

Novembre 2020

Contact : alexis.arnaud@univ-grenoble-alpes.fr

(1) UMS GRICAD, Université Grenoble Alpes
(2) UFR IMAG, Université Grenoble Alpes
(3) INRIA, Université de Bordeaux
(4) DSIM (SIMSU), Université de Grenoble Alpes

Sommaire

Introduction 3

I - Objectifs et champ de l'étude 3
I - 1 Choix des scénarios 3
I - 2 Unités fonctionnelles 4
I - 3 Périmètre de l'étude 4
I - 4 Hypothèses 5
I - 5 Approximations 5
I - 6 Limites de l'étude 6

II - Inventaire et analyse de l'inventaire 7
II - 1 Cas Bettik 7
II - 1 - a Fabrication et Transport 7
II - 1 - a - 1) Serveurs 7
II - 1 - a - 2) Réseau 9
II - 1 - a - 3) Construction du DataCentre 10
II - 1 - b Utilisation 10
II - 1 - b - 1) Dépannage matériel 10
II - 1 - b - 2) Consommation électrique des équipements 11
II - 1 - c Installation, Maintenance et Administration 12
II - 1 - c - 1) Déplacements domicile-travail 12
II - 1 - c - 2) Installation du service 12
II - 1 - c - 3) Équipement de bureautique 13
II - 1 - c - 4) Consommation électrique du personnel 14
II - 1 - c - 5) Construction des bureaux du personnel 14
II - 1 - d Mesures volumétriques 14
II - 2 Cas Mantis 15
II - 2 - a Fabrication et Transport 15
II - 2 - a - 1) Serveurs 15
II - 2 - a - 2) Réseau 16
II - 2 - a - 3) Construction du DataCentre 17
II - 2 - b Utilisation 17
II - 2 - b - 1) Dépannage matériel 17
II - 2 - b - 2) Consommation électrique des équipements 18
II - 2 - c Installation, Maintenance et Administration 19
II - 2 - c - 1) Déplacements domicile-travail 19
II - 2 - c - 2) Installation du service 19
II - 2 - c - 3) Équipement de bureautique 19
II - 2 - c - 4) Consommation électrique du personnel 20
II - 2 - c - 5) Construction des bureaux du personnel 20

II - 2 - d Mesures volumétriques 20
II - 3 Cas Summer 21
II - 3 - a Fabrication et Transport 21
II - 3 - a - 1) Serveurs 21
II - 3 - a - 2) Réseau 21
II - 3 - a - 3) Construction du DataCentre 22
II - 3 - b Utilisation 22
II - 3 - b - 1) Dépannage matériel 22
II - 3 - b - 2) Consommation électrique des équipements 23
II - 3 - c Installation, Maintenance et Administration 23
II - 3 - c - 1) Déplacements domicile-travail 24
II - 3 - c - 2) Installation du service 24
II - 3 - c - 3) Équipement de bureautique 24
II - 3 - c - 4) Consommation électrique du personnel 24
II - 3 - c - 5) Construction des bureaux du personnel 25
II - 3 - d Mesures volumétriques 25
III - Résultats et analyses 25
III - 1 Résultats scénarios 25
III - 1 - a Cas Bettik 30
III - 1 - b Cas Mantis 30
III - 1 - c Cas Summer 30
III - 2 Comparaison des trois scénarios 32
III - 3 Analyse de sensibilité 32
III - 3 - a Impact de la durée de vie des équipements 32
III - 3 - b Impact du PUE 33
III - 3 - c Impact du facteur d'impact de l'électricité 34
III - 3 - d Impact de la durée de vie du bâtiment 36
III - 3 - e Impact de l'occupation du DC 36
III - 3 - f Impact du Télétravail 37
III - 3 - f - 1) Scénario "Chacun son bureau" 38
III - 3 - f - 2) Scénario "Bureaux Tournant" 39
III - 3 - g Impact du taux de charge 40
III - 3 - h Meilleur et pire cas possibles 41
IV - Conclusion 44
V - Glossaire 46
VI - Références Bibliographiques 46
VII - Annexes 47

Introduction

En 2020, GRICAD a réalisé une étude pour estimer l'empreinte carbone d'une heure de calcul sur un cœur physique. Ce travail a donné lieu à une publication accessible dans HAL[1]. Dans le prolongement de cette étude, et grâce au soutien de Data Institute de Grenoble, le présent rapport se focalise sur l'empreinte carbone du stockage des données.

Il s'agit donc ici de réaliser un calcul d'analyse de vie de vie simplifiée, réduite au seul indicateur de réchauffement climatique, sur le stockage de 1 Go de données pendant 1 année. Les résultats présentés ci-dessous s'appuient sur les configurations de différentes plateformes (stockage temporaire lié à du calcul scientifique, ou stockage longue durée correspondant à du stockage généraliste scientifique).

Le calcul prend en compte l'ensemble du cycle de vie des équipements concernés et une partie de leur maintenance. Outre les résultats qui permettent de se faire une idée de l'impact de notre usage du numérique, ce travail permet d'identifier les leviers possibles en vue de réduire l'impact environnemental du stockage de données. Elle permet aussi de proposer une méthodologie pour l'évaluation de l'empreinte carbone du stockage de données, méthodologie dont nous identifierons les limites et axes d'améliorations.

I - Objectifs et champ de l'étude

I - 1 Choix des scénarios

L'étude s'intéresse à trois plateformes de stockage de données que proposent GRICAD : Bettik , Mantis et Summer.

Bettik est un scratch distribué haute performance partagé accessible depuis deux services de calcul proposés par GRICAD, Dahu et Luke. Bettik n'est pas prévu pour le stockage pérenne des données, nous pouvons qualifier le stockage sur Bettik comme stockage "chaud" dans le sens où les données sont régulièrement sollicitées.

[1] https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02549565

Mantis est une infrastructure de stockage distribuée qui est accessible de manière permanente depuis tous les clusters. Les débits et temps d'accès sont moins performants que pour d'autres infrastructures (comme Bettik) mais cette plateforme offre une possibilité de stocker les données en amont d'un travail et les résultats finaux. Nous pouvons qualifier ce type de stockage comme "froid" dans le sens où les données présentes ne sont pas censées être consultées fréquemment. Même si les utilisateurs sont invités à retirer rapidement leurs résultats une fois leur travail effectué.

Summer est aussi une infrastructure de stockage froid, cependant celle-ci est répartie sur trois datacentres et propose des services de sauvegarde, de réplication synchrone et de snapshots permettant aux utilisateurs d'avoir un service assurant la sécurité, l'intégrité des données et ayant un service continu, le tout de manière transparente.

I - 2 Unités fonctionnelles

Cette étude se restreint à l'empreinte carbone comme impact environnemental, nous ne nous intéresserons donc pas à d'autres facteurs tels que la quantité de métaux utilisée, la pollution des sols, la quantité d'eau utilisée ou la toxicité pour l'homme, principalement par manque de données.
Nous prendrons comme unité de mesure le kilo équivalent Co2 (kg Co2e).

Même si la nature des services est différente, nous allons prendre la même unité fonctionnelle pour tous les scénarios, à savoir **stocker 1 Go de données sur une année.**

I - 3 Périmètre de l'étude

Le périmètre de cette étude inclut :

- La fabrication, le transport et l'utilisation des serveurs
- La maintenance du matériel
- La construction des datacentres
- L'administration de ce service.

Il est aussi prévu de prendre en compte les incertitudes de mesures dans l'estimation des empreintes carbones. Le périmètre de l'étude est le même pour les trois scénarios envisagés.

I - 4 Hypothèses

Dans cette étude plusieurs hypothèses ont été mises en avant :

1. Concernant les incertitudes fonctionnelles, en notant $y = f(x_1, \ldots, x_n)$et Δxl'incertitude de la variable x. Nous prendrons $\Delta y = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} \left|\frac{\delta f}{\delta x_i}\right|^2 \Delta {x_i}^2}$
2. Pour chaque modèle de serveur (quatre modèles différents en tout), nous avons des configurations légèrement différentes. Nous avons considéré une configuration moyenne pour chaque type de modèle.

3. Nous considérons que la variation du pourcentage d'utilisation des racks du DC est négligeable sur la durée de l'étude. Et donc qu'il peut être considéré comme constant sur la durée de l'étude.

4. Concernant la maintenance du matériel, les remplacements se font sur une durée très courte par rapport à une année. (Interruption de service négligeable)

5. Nous partons de l'hypothèse que le fait de proposer les services Bettik, Mantis et Summer ne modifie pas le mode de vie des gens qui rendent le service (alimentation, chauffage, …), leur mode de vie n'est donc pas pris en compte.

I - 5 Approximations

Les calculs sur les émissions de GES des switchs se basent sur des données constructeur moyennées (CISCO). La consommation électrique des switchs n'a pas été mesurée mais directement estimée à partir des données constructeur.

Pour l'estimation des remplacements des disques, il a été pris les données de 2015 (données privées de constructeur) faute d'avoir des données plus récentes.

Concernant les mesures volumétriques sur les serveurs du service Bettik, elles ont été effectuées sur 13 semaines significatives et ont été extrapolées sur une année.

Concernant les mesures volumétriques sur les serveurs du service Mantis, elles ont été effectuées sur 5 mois significatifs et ont été extrapolées sur une année.

Concernant les mesures volumétriques sur les serveurs du service Summer, elles ont été effectuées sur 3 mois significatifs et ont été extrapolées sur une année.

Concernant les émissions de GES des équipements de Summer, au vu de l'absence de réponse de la part de NetApp concernant la fabrication des serveurs, nous avons utilisé les données fournies par Seagate[2]. Cependant n'ayant que des chiffrages de l'empreinte carbone sur les disques HDD et SSD nous avons approximé l'empreinte carbone d'un serveur en fonction du nombre de disques présents.

La maintenance et l'administration du service Summer n'est pas assurée majoritairement par le personnel de GRICAD, le comité technique ne possède qu'un seul membre de GRICAD sur les onze qui le composent et une partie de la maintenance est sous-traitée à une entreprise tierce. Néanmoins nous allons approximer l'empreinte carbone du personnel par l'empreinte carbone du personnel de GRICAD, que ce soit pour les déplacements domicile-travail, les équipements de bureautique, la consommation électrique ou la construction du bâtiment.

Pour toutes les émissions de GES concernant le personnel, il a été ajouté un certain pourcentage sur les émissions de GES calculées pour tenir compte de l'empreinte carbone due à l'infrastructure entourant GRICAD (personnel administratif et gestion par des tutelles). Le service financier de GRICAD estimant les coûts économiques de support à 20% lors de bilans financier, nous appliquerons le même pourcentage.

I - 6 Limites de l'étude

Plusieurs éléments n'ont pas été prises en compte dans cette étude;

- les autres impacts environnementaux : quantité de métaux rares utilisés, pollution des eaux, dégradation des sols, toxicité pour l'homme, quantité d'eau utilisée, …

- Dans la maintenance du matériel, nous nous sommes intéressés seulement à la panne des disques, or chaque composant d'un serveur peut tomber en panne, il en est de même pour les switchs.

[2] https://www.seagate.com/fr/fr/global-citizenship/product-sustainability/

- Concernant les équipements du personnel nous nous sommes intéressés seulement au matériel informatique, nous n'avons pas pris en compte le mobilier (table, armoires, chaises, ...), ni les fournitures de bureau (tableaux, stylos, …), ni la sécurité du personnel (masques, …) ni encore ce qu'un employeur peut fournir comme service à ses travailleurs (cafétéria, salle de sport, ...).

- Concernant l'administration et la maintenance du service il n'a pas été pris en compte les machines virtuelles permettant d'effectuer certaines opérations, considérant que leur part était négligeable dans le calcul de l'empreinte carbone.

- Concernant les deux scénarios de télétravail, nous connaissons les deux valeurs extrêmes, pas de télétravail et télétravail à temps plein. Nous faisons une interpolation linéaire entre les deux valeurs extrêmes. Ce n'est qu'une approximation et il serait intéressant d'interpoler différemment cette estimation en fonction des différentes études sur le télétravail.

- De plus, les deux scénarios de télétravail ne prennent pas en compte la construction ni l'entretien d'une pièce de bureau dans lequel les personnes travaillent, pièce de bureau se situant au domicile personnel du travailleur. Nous ne tenons pas compte des effets rebonds induits par le télétravail.

II - Inventaire et analyse de l'inventaire

II - 1 Cas Bettik

II - 1 - a Fabrication et Transport

II - 1 - a - 1) Serveurs

Bettik est constitué de quatre serveurs R640 pour stocker les métadonnées, quatre serveurs R730xd et douze serveurs R740xd dont voici les configurations :

Serveurs R640 :
- 7 SSD de 480Go
- 2 Intel Xeon Silver 4114

- 48 Go de RAM

Serveurs R730xd :
- 13 HDD de 8 TB
- 2 Intel Xeon E5-2640 v4
- 64 Go de RAM

Serveurs R740xd :
- 12 HDD de 10 TB
- 2 Intel Xeon Silver 4108
- 64 Go de RAM

Avec les configurations précédentes, voici les émissions de GES en kg Co2e de chaque modèle :

	Moyenne	Déviation standard
Total R640	**1 493**	**843**
Fabrication R640	**1 468**	**842**
Transport R640	**25**	**33**
Total R730xd	**1 332**	**697**
Fabrication R730xd	**1 309**	**697**
Transport R730xd	**23**	**26**
Total R740xd	**1 531**	**750**
Fabrication R740xd	**1 505**	**750**
Transport R740xd	**26**	**24**

Nous obtenons alors, avec les quatre serveurs R640, les quatre serveurs R730xd et les douze serveurs R740xd qui composent le service Bettik (en kg Co2e) :

	Émissions de GES Fabrication	Incertitude Fabrication	Émissions de GES Transport	Incertitude Transport
R640	5 873	3 368	100	130
R730xd	5 237	2 786	93	104
R740xd	18 060	8 996	317	283
Total	29 170	10 001	510	328

La durée d'utilisation de vie des équipements étant de 7 ans, nous en déduisons les émissions de GES de la fabrication et du transport des serveurs à l'année (en kg Co2e/an) :

	Émissions de GES Fabrication	Incertitude Fabrication	Émissions de GES Transport	Incertitude Transport
R640	839	481	14	19
R730xd	748	398	13	15
R740xd	2 580	1 285	45	40
Total	4 167	1 429	73	47

II - 1 - a - 2) Réseau

Bettik est relié au réseau grâce à deux switchs N9K-C9372PX-E. Cependant, par manque de données nous nous basons sur les données constructeurs d'un autre modèle de switch (modèle WS-C2960-24TT-L). De plus, ces données ne contiennent aucune incertitude. Nous obtenons alors (en kg Co2e) :

	Émissions de GES Fabrication	Émissions de GES Transport
Sur la durée de vie de 7 ans	82	66
À l'année	12	9

II - 1 - a - 3) Construction du DataCentre

Le DC et ses annexes font 406,26 m², en reprenant les résultats d'ACV concernant les immeubles de bureau[3], nous pouvons estimer les émissions de GES de construction du DC à 706 892 kg Co2e. En considérant les émissions de GES fixes (construction du bâtiment) et variables (entretien, travaux de rénovation ou de restauration du bâtiment) quant à la construction d'un bâtiment et la durée de vie du bâtiment du DC à 50 ans, nous obtenons donc 18 688 kg Co2e par an. Le DC pouvant héberger 1596 unité de rack (U), au moment où l'étude est effectuée, 1188 U sont occupés (soit 75%), dont 42 U par Bettik, soit 3,54% des 1188 U occupés.

Nous pondérons les émissions de GES du DC par le taux d'occupation de Bettik par rapport aux U effectivement occupés, donc 42/1188 (soit 42/(0.75*1596)). L'idée étant que même si de l'espace est disponible pour rajouter des serveurs, il n'est actuellement pas occupé. Cependant il est à remarquer que cette quantité évolue avec le temps et qu'il pourrait être intéressant de voir l'impact du pourcentage d'occupation du DC sur l'empreinte carbone du service Bettik.

Ainsi la construction du DC représente une émission de GES de 661 kg Co2e par an.

II - 1 - b Utilisation

II - 1 - b - 1) Dépannage matériel

Il n'y a pas eu de suivi du remplacement des disques défectueux, nous nous baserons donc sur les taux de panne annuels fournis par les constructeurs (données privées).

Bettik possède 22 SSD et 252 HDD (ici sont pris en compte les HDD internes nécessaires au bon fonctionnement d'un serveur). Au vu de l'hypothèse de remplacement rapide des disques défectueux, nous pouvons modéliser les pannes par une loi binomiale. Pour un taux de panne annualisé de 0.29% pour les SSD et 3.95% pour les HDD nous obtenons les résultats suivants sur la durée de vie des équipements (7 ans) :

[3] https://resources.taloen.fr/resources/documents/7765_191210_poids_carbone_ACV_vdef.pdf

	Espérance nombre de défaillances	Variance	Écart-type
SSD	**0,45**	**0,45**	**0,67**
HDD	**69,68**	**66,93**	**8,18**

Grâce aux données constructeurs nous avons pu estimer les émissions de GES de la construction d'un disque :

	Estimation GES d'un disque (kg Co2e)	Incertitude unitaire (kg Co2e)
SSD	**21,14**	**12,93**
HDD	**15,84**	**3,94**

Nous en déduisons alors les émissions de GES du remplacement des disques de Bettik sur les 7 années :

	Estimation totale (kg Co2e)	Incertitudes totale (kg Co2e)
SSD	**9,44**	**15,24**
HDD	**1 103**	**304**

Le remplacement des disques représente ainsi une émission de GES de 159 ± 43kg Co2e par an.

II - 1 - b - 2) Consommation électrique des équipements

Nous nous basons sur les données de ELCD concernant le facteur d'impact de l'électricité[4]. Le DC se situant en France, cela donne une émission de GES de 0,108 kg Co2e/kWh, par ailleurs le PUE du DC a été mesuré à 1,33 sur l'année 2019.

Concernant la consommation des switchs, ils consomment 1971 kWh sur la durée de leur vie, soit 394 kWh à l'année. Bettik utilise deux switchs, ce qui donne un total de 788 kWh par année.

[4] https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/

La consommation électrique des switchs représente ainsi une émission de GES de 113 kg Co2e par an.

Concernant la consommation électrique des serveurs, en regardant les données remontées par les PDU, nous trouvons que les serveurs ont consommé 10486 ± 2 kWh sur 13 semaines, 1 heure et 55 minutes, ce qui fait un total de $42\,022 \pm 12$ kWh en extrapolant sur l'année.

La consommation électrique des serveurs représente ainsi une émission de GES de 6 036$\pm$ 22 kg Co2e par an.

II - 1 - c Installation, Maintenance et Administration

II - 1 - c - 1) Déplacements domicile-travail

L'équipe GRICAD n'ayant pas évolué depuis le début d'année, il est cohérent de reprendre les données de l'étude sur l'empreinte carbone d'une heure de calcul sur un coeur physique. C'est à dire une émission de GES moyenne de 2217 kg Co2e par personne et par an.

La maintenance du service a été estimée à 0,25 équivalent temps plein (ETP), nous ajoutons à cela le surcoût de l'infrastructure (+20%).

Les déplacements entre le domicile et le travail représentent ainsi une émission de GES de 665 kg Co2e par an.

Il est à noter qu'il n'y a eu aucun déplacement professionnel pour assurer le maintien du service Bettik sur l'année 2019.

II - 1 - c - 2) Installation du service

Les ressources engagées pour installer le service, que ce soit de la conception du projet, les tests, l'installation physique et logicielle ont été estimées à 2 ETP durant un mois.

L'installation du service représente ainsi une émission de GES de 53 kg Co2e par an en amortissant sur la durée du service, 7 ans, en prenant en compte la surcouche infrastructurelle (+20%).

II - 1 - c - 3) Équipement de bureautique

En faisant un inventaire de ce que possède GRICAD, et en estimant les émissions de GES de chaque équipement avec la plateforme Ecodiag[5] nous obtenons alors :

Matériel	Quantité	Durée de vie (an)	Estimation GES unitaire (kg Co2e)	Incertitude GES unitaire (kg Co2e)	Bilan total annuel (kg Co2e)	Incertitude totale annuelle (kg Co2e)
PC fixe	19	5	300	260	**1 140**	**988**
PC portable	32	4	210	147	**1 680**	**1 176**
Écran	41	6	430	302	**2 938**	**2 064**
Téléphone IP	37	7	17	12	**90**	**63**
Photocopieur multifonction	2	5	2	674	**384**	**270**
Clavier	23	3	23	17	**184**	**130**
Souris	23	3	23	4	**38**	**31**

L'inventaire inclut l'ensemble des équipements non sortis de l'inventaire, y compris les équipements qui ne sont pas activement utilisés aujourd'hui, l'idée étant que ces équipements ont quand même été fabriqués et sont disponibles au sein de l'unité. L'inventaire a été fait en octobre 2020 pour les 23 personnes qui composaient l'unité à ce moment-là, qu'elles soient permanentes ou non.

Ainsi, nous obtenons un bilan annuel de 6455 ± 2591kg Co2e pour toute l'unité. Nous pondérons alors par les 0,25 ETP sur les 23 personnes qui composent l'unité.

Les équipements de bureautique du personnel représentent ainsi une émission de GES de 84 $\pm$ 34 kg Co2e par an après application de la surcouche infrastructurelle (+20%).

[5] https://ecoinfo.cnrs.fr/ecodiag/

II - 1 - c - 4) Consommation électrique du personnel

GRICAD représente 4,28 % de la surface du bâtiment IMAG. La consommation d'électricité du bâtiment IMAG en 2019 a été de 672 409 kWh. La consommation estimée de GRICAD est donc de 28779 kWh, soit 3108 kg CO2e. Nous pondérons alors par les 0,25 ETP sur les 23 personnes qui composent l'unité.

La consommation électrique du personnel représente ainsi une émission de GES de 41 kg Co2e par an après application de la surcouche infrastructurelle (+20%).

II - 1 - c - 5) Construction des bureaux du personnel

De la même manière, le bâtiment IMAG fait une surface totale de 14 456 m², en enlevant le DC et ses annexes cela donne une surface SHON de GRICAD de 626 m². Nous trouvons une surface équivalente de 6,90 m² en ce qui concerne l'espace utilisé par le personnel GRICAD pour administrer et maintenir Bettik. Nous utilisons la même ACV que pour le DC[6] pour estimer les émissions de GES d'un m². Nous pondérons alors par les 0,25 ETP sur les 23 personnes qui composent l'unité.

La construction des bureaux du personnel représente ainsi une émission de GES de 376 kg Co2e par an après application de la surcouche infrastructurelle (+20%).

II - 1 - d Mesures volumétriques

Nous avons mesuré sur 13 semaines, 1 heure et 55 minutes qu'en moyenne Bettik stocke 1 012 894 Go de données. Nous avons 131 155 mesures sur cette durée ayant au total une incertitude de 27 666 Go, ce qui donne une incertitude totale de 110 871 Go en extrapolant sur une année, ainsi nous obtenons :

Ainsi, le volume total stocké sur Bettik en un an est de 1 012 894 $\pm$ 110 871 Go.

[6] https://resources.taloen.fr/resources/documents/7765_191210_poids_carbone_ACV_vdef.pdf

II - 2 Cas Mantis

II - 2 - a Fabrication et Transport

II - 2 - a - 1) Serveurs

Mantis est constitué d'un serveur R510, quatre serveurs R730xd et deux serveurs R740xd dont voici les configurations :

Serveurs R510 :
- 4 HDD de 2 To
- 2 Intel Xeon E5620
- 24 Go de RAM

Serveurs R730xd :
- 13 HDD de 8 TB
- 2 Intel Xeon E5-2640 v4
- 64 Go de RAM

Serveurs R740xd :
- 12 HDD de 10 TB
- 2 Intel Xeon Silver 4108
- 64 Go de RAM

Avec les configurations précédentes, voici les émissions de GES en kg Co2e de chaque modèle :

	Moyenne	Déviation Standard
Total R510	**1530**	-
Fabrication R510	**1500**	-
Transport R510	**30**	-
Total R730xd	**1 332**	**697**
Fabrication R730xd	**1 309**	**697**

Transport R730xd	23	26
Total R740xd	1 531	750
Fabrication R740xd	1 505	750
Transport R740xd	26	24

Nous obtenons alors, avec le serveur R510, les quatre serveurs R730xd et les deux serveurs R740xd qui composent le service Mantis (en kg Co2e) :

	Émissions de GES Fabrication	Incertitude Fabrication	Émissions de GES Transport	Incertitude Transport
R510	1500	-	30	-
R730xd	5 237	2 786	93	104
R740xd	3 010	1 499	53	47
Total	8 247	3 164	146	114

La durée d'utilisation de vie des équipements étant de 7 ans, nous en déduisons les émissions de GES de la fabrication et du transport des serveurs à l'année (en kg Co2e/an) :

	Émissions de GES Fabrication	Incertitude Fabrication	Émissions de GES Transport	Incertitude Transport
R510	214	-	4	-
R730xd	748	398	13	15
R740xd	430	214	8	7
Total	1 392	452	25	16

II - 2 - a - 2) Réseau

Mantis est relié au réseau grâce à un routeur N9K-C9372PX-E. Cependant, par manque de données nous nous basons sur les données constructeurs d'un autre modèle de switch (modèle WS-C2960-24TT-L). De plus, ces données ne contiennent aucune incertitude. Nous obtenons alors (en kg Co2e) :

	Coût Fabrication	Coût Transport
Sur la durée de vie de 7 ans	41	33
À l'année	6	5

II - 2 - a - 3) Construction du DataCentre

Nous utilisons la même méthode que pour Bettik, mais ici avec une occupation de 16 U sur les 1188 occupés.

Ainsi la construction du DC représente une émission de GES de 252 kg Co2e par an.

II - 2 - b Utilisation

II - 2 - b - 1) Dépannage matériel

Il n'y a pas non plus eu de suivi du remplacement du matériel défectueux pour Mantis, nous utilisons alors la même méthode utilisée que pour Bettik.

Mantis possède 1 SSD et 83 HDD (ici sont pris en compte les HDD internes nécessaires au bon fonctionnement d'un serveur). Au vu de l'hypothèse de remplacement rapide des disques défectueux, nous pouvons modéliser les pannes par une loi binomiale. Pour un taux de panne annualisé de 0.29% pour les SSD et 3.95% pour les HDD nous obtenons les résultats suivants sur la durée de vie des équipements (7 ans) :

	Espérance nombre de défaillances	Variance	Écart-type

SSD	0,02	0,02	0,14
HDD	23	22	5

Grâce aux données constructeurs nous avons pu estimer les émissions de GES de la construction d'un disque :

	Estimation GES d'un disque (kg Co2e)	Incertitude unitaire (kg Co2e)
SSD	21,14	12,93
HDD	15,84	3,94

Nous en déduisons alors les émissions de GES du remplacement des disques de Bettik sur les 7 années :

	Estimation totale (kg Co2e)	Incertitudes totale (kg Co2e)
SSD	0,43	3
HDD	363	121

Le remplacement des disques représente ainsi une émission de GES de 57 ± 17,3 kg Co2e par an.

II - 2 - b - 2) Consommation électrique des équipements

Mantis se situant dans le même DC que Bettik, nous utiliserons les mêmes chiffre concernant le facteur d'impact de l'électricité et le PUE, à savoir 0,108 kg Co2e / kWh et 1,33.

Concernant la consommation des switchs, ils consomment 1971 kWh sur la durée de leur vie, soit 394 kWh à l'année. Mantis utilise un switch, ce qui donne un total de 394 kWh par année.

La consommation électrique des switchs représente ainsi une émission de GES de 57 kg Co2e par an.

Concernant la consommation électrique des serveurs, ils ont consommé 13 206 kWh sur un an.

La consommation électrique des serveurs représente ainsi une émission de GES de 1897 kg Co2e par an.

II - 2 - c Installation, Maintenance et Administration

II - 2 - c - 1) Déplacements domicile-travail

Nous reprenons les mêmes chiffres que pour Bettik, Mantis étant entretenu par un personnel provenant de GRICAD.

La maintenance du service a été estimée à 0,25 ETP, nous ajoutons à cela le surcoût de l'infrastructure (+20%).

Les déplacements entre le domicile et le travail représentent ainsi une émission de GES de 665 kg Co2e par an.

Il est à noter qu'il n'y a eu aucun déplacement professionnel pour assurer le maintien du service Mantis sur l'année 2019.

II - 2 - c - 2) Installation du service

Les ressources engagées pour installer le service, que ce soit de la conception du projet, les tests, l'installation physique et logicielle ont été estimées à 2 ETP durant un mois.

L'installation du service représente ainsi une émission de GES de 53 kg Co2e par an en amortissant sur la durée du service, 7 ans, en prenant en compte la surcouche infrastructurelle.

II - 2 - c - 3) Équipement de bureautique

Nous reprenons l'inventaire fait pour Bettik, à savoir une émission de GES de 6455 ± 2591par an. Nous pondérons alors par les 0,25 ETP sur les 23 personnes qui composent l'unité.

Les équipements de bureautique du personnel représentent ainsi une émission de GES de 84 $\pm$ 34 kg Co2e par an après application de la surcouche infrastructurelle (+20%).

II - 2 - c - 4) Consommation électrique du personnel

Nous reprenons les chiffres de Bettik, à savoir une émission de GES de 3108 kg Co2e par an. Nous pondérons alors par les 0,25 ETP sur les 23 personnes qui composent l'unité.

La consommation électrique du personnel représente ainsi une émission de GES de 41 kg Co2e par an après application de la surcouche infrastructurelle (+20%).

II - 2 - c - 5) Construction des bureaux du personnel

Nous reprenons les même chiffres que Bettik, à savoir une surface SHON de 626 m² concernant la surface de GRICAD. Nous pondérons alors par les 0,25 ETP sur les 23 personnes qui composent l'unité.

La construction des bureaux du personnel représente ainsi une émission de GES de 376 kg Co2e par an après application de la surcouche infrastructurelle (+20%).

II - 2 - d Mesures volumétriques

Il a été mesuré sur 5 mois qu'en moyenne Mantis stocke 420 588 Go de données. Nous avons 10 998 mesures sur cette durée ayant au total une incertitude de 15 117 Go, ce qui donne une incertitude totale de 36 122 Go en extrapolant sur une année, ainsi nous obtenons :

Ainsi, le volume total stocké sur Mantis en un an est de 420 588 $\pm$ 36 122 Go.

II - 3 Cas Summer

II - 3 - a Fabrication et Transport

II - 3 - a - 1) Serveurs

Summer est constitué de 48 serveurs, contenant au total 1541 disques. Pour des raisons évoquées dans le chapitre I - 5 nous ne pouvons connaître l'empreinte précise due à la fabrication des serveurs et allons modéliser Summer par un ensemble de disques reliés par des contrôleurs. Cela sous-estime néanmoins les émissions de GES de la part de la fabrication et du transport des serveurs de Summer.

Summer est constitué de 1498 HDD et 43 SSD. Pour estimer les émissions de GES d'un HDD de Summer nous prenons les valeurs d'un Exos 7E8 de Seagate[7], nous prenons les valeurs d'un Nitro 3530 de Seagate[8] pour estimer les émissions de GES d'un SSD de Summer.

La fabrication des disques et des contrôleurs représente alors une émission de GES de 39 179 kg Co2e par an.

Le transport des disques et des contrôleurs représente quant à elle une émission de GES de 1 671 kg Co2e par an.

II - 3 - a - 2) Réseau

Summer possède 12 routeurs inter clusters, nous reprenons la même méthode pour Bettik et Mantis. Nous obtenons alors :

	Émission de GES Fabrication	Émission de GES Transport

[7] https://www.seagate.com/files/www-content/global-citizenship/_shared/product-sustainability/cimarron-exos-7e8-sustainability-report/images/exos-7e8-sustainability-report-fr-fr.pdf
[8] https://www.seagate.com/files/www-content/global-citizenship/_shared/product-sustainability/jofa-nytro-3530/images/nytro-3530-sustainability-report-fr-fr.pdf

Sur la durée de vie de 7 ans	494	395
À l'année	71	56

II - 3 - a - 3) Construction du DataCentre

Summer étant séparé dans trois datacentres différents, nous ne pouvons utiliser la même méthode que pour Bettik et Mantis, nous pouvons cependant appliquer la méthode pour chaque datacentre et ensuite sommer les trois valeurs obtenues. Les datacentres ont respectivement une surface de 90m², 368m² et 406m² que l'on pondère par l'occupation de Summer dans les datacentres.

Ainsi la construction des DCs représentent une émission de GES de 2 932 kg Co2e par an.

II - 3 - b Utilisation

II - 3 - b - 1) Dépannage matériel

Il n'y a pas non plus eu de suivi du remplacement du matériel défectueux pour SUMMER, nous utilisons alors la même méthode utilisée pour Bettik et Mantis.

Summer possède 43 SSD et 1498 HDD. Au vu de l'hypothèse de remplacement rapide des disques défectueux, nous pouvons modéliser les pannes par une loi binomiale. Pour un taux de panne annualisé de 0,35% pour les SSD et 0,44% pour les HDD nous obtenons les résultats suivants :

	Espérance nombre de défaillances	Variance	Écart-type
SSD	1,05	1,05	1,02
HDD	46	46	7

Nous en déduisons alors les émissions de GES du remplacement des disques de Summer sur les 7 années :

	Estimation totale (kg Co2e)
SSD	**20**
HDD	**385**

Le remplacement des disques représente ainsi une émission de GES de 58 kg Co2e par an.

II - 3 - b - 2) Consommation électrique des équipements

Summer se situant dans trois datacentres, nous allons prendre le chiffre de l'ADEME de 0,108 kg Co2e / KWh et prendre en compte le PUE de chaque datacentre pour estimer l'empreinte carbone du service.

Concernant la consommation des switchs, ils consomment 1971 kWh sur la durée de leur vie, soit 394 kWh à l'année. Summer utilise 12 switch, ce qui donne un total de 4730 kWh par année.

La consommation électrique des switchs représente ainsi une émission de GES de 679 kg Co2e par an.

Concernant la consommation électrique des serveurs, ils ont consommés 40 217 kWh sur un an dans le premier DC ayant un PUE de 1,33. Pour les deux autres DCs a été récupérée la puissance moyenne sur l'année, nous donnant au total une consommation de 70 080 kWh et 96 360 kWh à l'année. Ces deux autres DCs ont tous les deux un PUE de 1,4.

La consommation électrique des serveurs représente ainsi une émission de GES de 30 942 kg Co2e par an.

II - 3 - c Installation, Maintenance et Administration

II - 3 - c - 1) Déplacements domicile-travail

La maintenance du service a été estimée à 2,3 ETP, nous ajoutons à cela le surcoût de l'infrastructure (+20%).

Les déplacements entre le domicile et le travail représentent ainsi une émission de GES de 6 120 kg Co2e par an.

II - 3 - c - 2) Installation du service

Il n'a pas été possible d'obtenir une estimation de nombre d'ETP sur une durée concernant l'installation de Summer car le service a fait objet de plusieurs ajouts de matériel au fur et à mesure des années. Cependant nous pouvons estimer un temps d'installation pour le même nombre d'ETP que Bettik en faisant un prorata sur le nombre de serveur. Cette méthode se justifie en partant de l'hypothèse que le temps de déploiement physique des infrastructures est grand devant le temps de conception et de développement du service.

Summer comprenant 2,4 de fois plus de serveurs nous pouvons alors estimer le temps d'installation à un mois à 4,8 ETP.

L'installation du service représente ainsi une émission de GES de 127 kg Co2e par an en amortissant sur la durée du service, 7 ans, en prenant en compte la surcouche infrastructurelle.

II - 3 - c - 3) Équipement de bureautique

Nous reprenons l'inventaire fait pour Bettik, à savoir une émission de GES de 6455 ± 2591par an. Nous pondérons alors par les 2,3 ETP sur les 23 personnes qui composent l'unité.

Les équipements de bureautique du personnel représentent ainsi une émission de GES de 775 $\pm$ 311 kg Co2e par an après application de la surcouche infrastructurelle.

II - 3 - c - 4) Consommation électrique du personnel

Nous reprenons les chiffres de Bettik, à savoir une émission de GES de 3108 kg Co2e par an. Nous pondérons alors par les 2,3 ETP sur les 23 personnes qui composent l'unité.

La consommation électrique du personnel représente ainsi une émission de GES de 373 kg Co2e par an après application de la surcouche infrastructurelle (+20%).

II - 3 - c - 5) Construction des bureaux du personnel

Nous reprenons les mêmes chiffres que Bettik, à savoir une surface SHON de 626 m² concernant la surface de GRICAD. Nous pondérons alors par les 2,3 ETP sur les 23 personnes qui composent l'unité.

La construction des bureaux du personnel représente ainsi une émission de GES de 3 458kg Co2e par an après application de la surcouche infrastructurelle (+20%).

II - 3 - d Mesures volumétriques

Il a été mesuré sur un an qu'en moyenne Summer stocke 2 278 224 Go de données avec une incertitude de 164 862 Go.

Le volume total stocké sur Summer en un an est de 2 278 224 $\pm$ 164 862 Go.

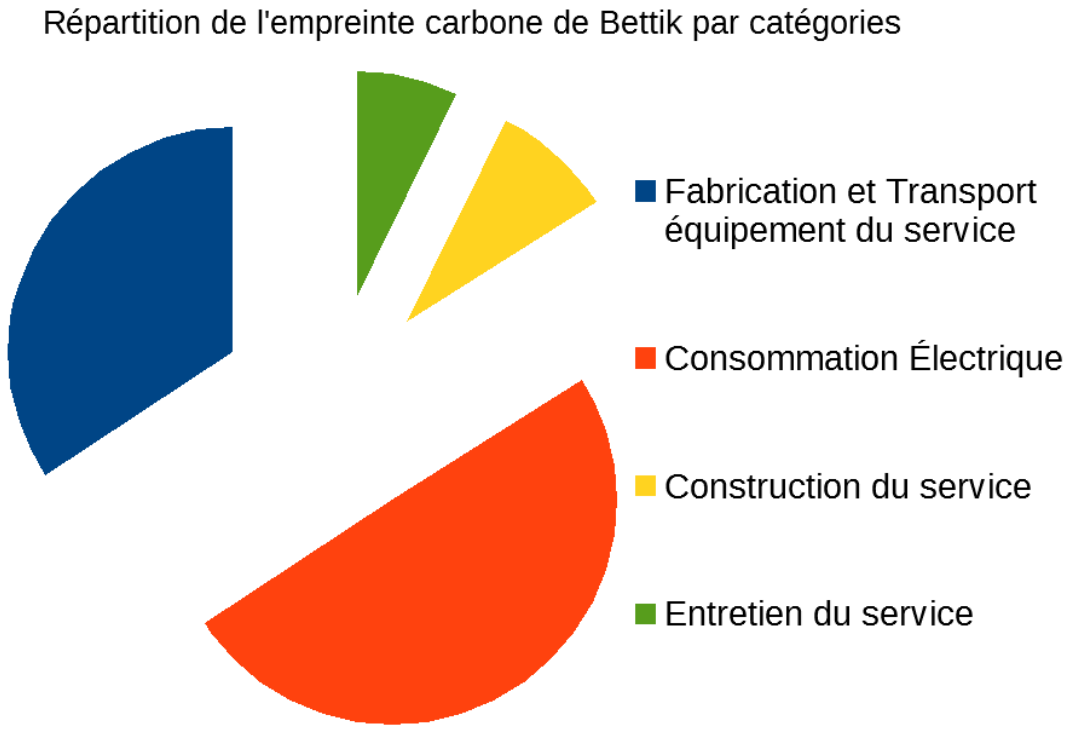
III - Résultats et analyses

III - 1 Résultats scénarios

III - 1 - a Cas Bettik

Au final, nous obtenons la répartition suivante concernant l'empreinte carbone de Bettik :

	Émissions de GES (kg Co2e / an)	Incertitude
Fabrication serveurs	**4 167**	**1 429**
Fabrication switchs	**12**	**-**
Transport serveurs	**73**	**47**
Transport switchs	**9**	**-**
Construction DC	**661**	**-**
Dépannage matériel	**159**	**43**
Consommation électrique serveur	**6 036**	**22**
Consommation électrique switchs	**113**	**-**
Déplacements Domicile-Travail	**665**	**-**
Installation service	**53**	**-**
Équipements Bureautique	**84**	**34**
Consommation Électrique Personnel	**41**	**-**
Déplacements Professionnels	**0**	**-**
Construction des bureaux du personnel	**376**	**-**



Voir annexes pour les détails

Cela amène à une empreinte carbone totale de $12\,449 \pm 1430$ kg Co2e par année, vu que sur cette période Bettik a stocké $1\,012\,894 \pm 110\,871$ Go, nous obtenons alors une empreinte carbone de $0{,}01229 \pm 0{,}00195$ kg Co2e / an / Go.

Nous pouvons donc conclure que stocker un Go sur une période d'une année sur la plateforme Bettik émet 12,3 $\pm$ 2,0 g Co2e.

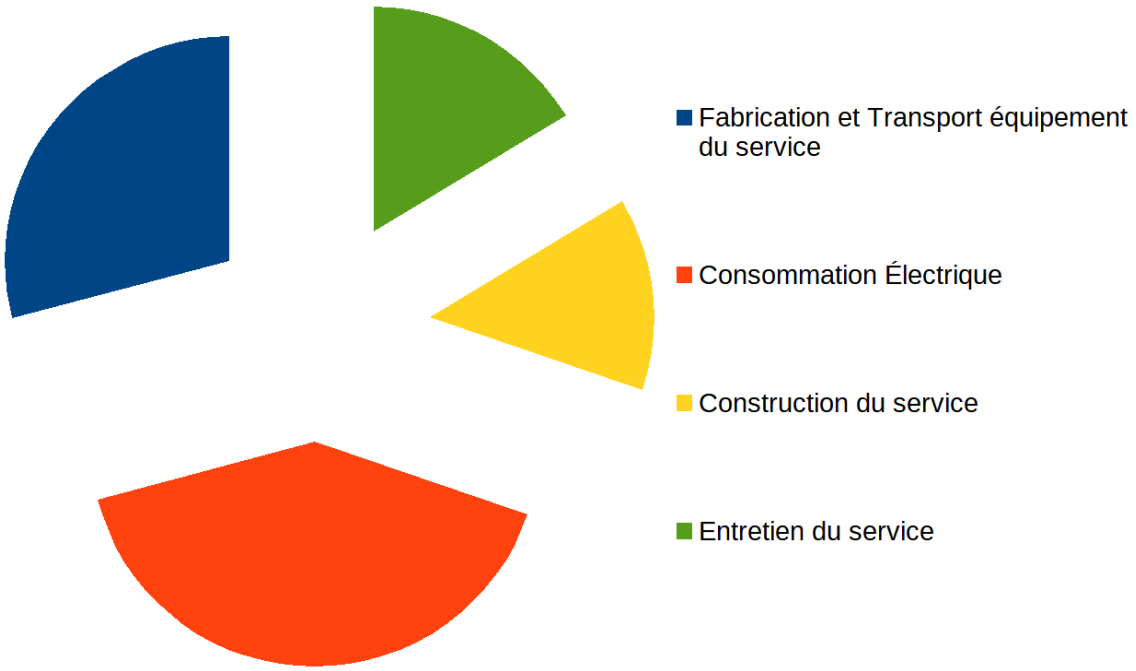
III - 1 - b Cas Mantis

Au final, nous obtenons la répartition suivante concernant l'empreinte carbone de Mantis :

	Émissions de GES (kg Co2e / an)	Incertitude
Fabrication serveurs	**1 392**	**452**

Fabrication switchs	**6**	**-**
Transport serveurs	**25**	**16**
Transport switchs	**5**	**-**
Construction DC	**252**	**-**
Dépannage matériel	**52**	**17**
Consommation électrique serveur	**1 897**	**-**
Consommation électrique switchs	**57**	**-**
Déplacements Domicile-Travail	**665**	**-**
Installation service	**53**	**-**
Équipements Bureautique	**84**	**34**
Consommation Électrique Personnel	**41**	**-**
Déplacements Professionnels	**0**	**-**
Construction des bureaux du personnel	**376**	**-**

Répartition de l'empreinte carbone de Mantis par catégories



Voir annexes pour les détails

Cela amène à une empreinte carbone totale de $4\,904 \pm 454$ kg Co2e par année, vu que sur cette période Mantis a stocké $420\,588 \pm 36\,122$ Go, nous obtenons alors une empreinte carbone de $11{,}7 \pm 1{,}5$ kg Co2e / an / Go.

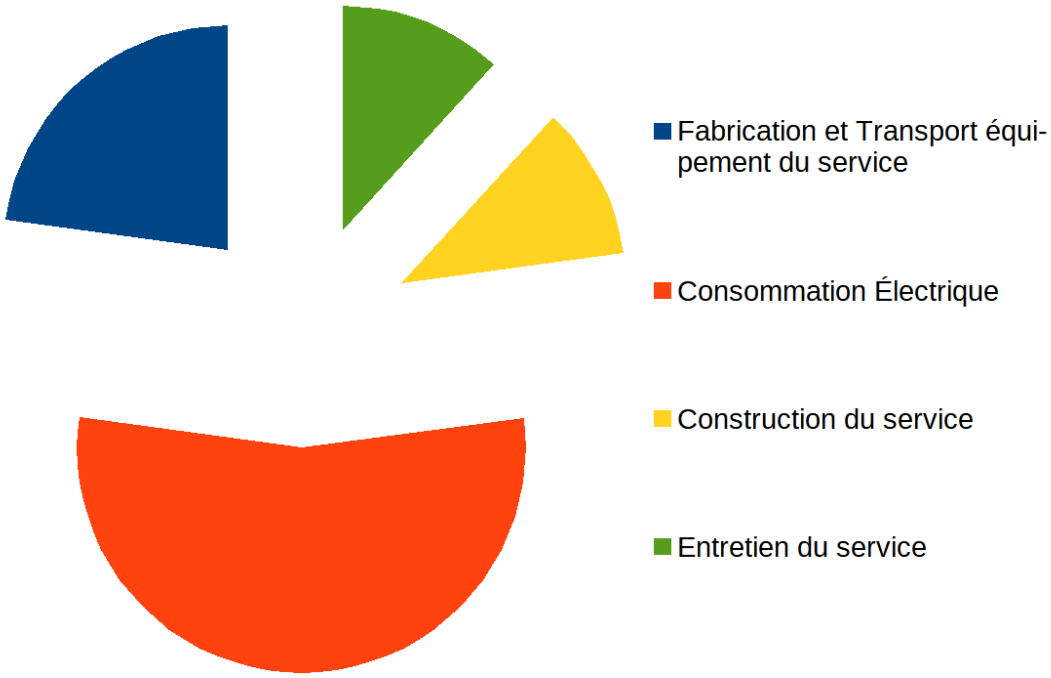
Nous pouvons donc conclure que stocker un Go sur une période d'une année sur la plateforme Mantis émet $11{,}7 \pm 1{,}5$ g Co2e.

III - 1 - c Cas Summer

Au final, nous obtenons la répartition suivante concernant l'empreinte carbone de Summer :

	Émissions de GES (kg Co2e / an)
Fabrication serveurs	**39 179**
Fabrication switchs	**71**
Transport serveurs	**1 671**
Transport switchs	**56**
Construction DC	**2 932**
Dépannage matériel	**58**
Consommation électrique serveur	**30 942**
Consommation électrique switchs	**679**
Déplacements Domicile-Travail	**6 120**
Installation service	**127**
Équipements Bureautique	**775**
Consommation Électrique Personnel	**373**
Déplacements Professionnels	**0**
Construction des bureaux du personnel	**3 458**

Répartition de l'empreinte carbone de Summer par catégories



Voir annexes pour les détails

Cela amène à une empreinte carbone totale de 86 440 kg Co2e par année, vu que sur cette période Summer a stocké 2 278 224 Go, nous obtenons alors une empreinte carbone de 37,9 kg Co2e / an / Go.

Nous pouvons donc conclure que stocker un Go sur une période d'une année sur la plateforme Summer émet 37,9 g Co2e.

III - 2 Comparaison des trois scénarios

Les plus gros facteurs contribuant à l'empreinte carbone pour chaque Go stocké dans sont :

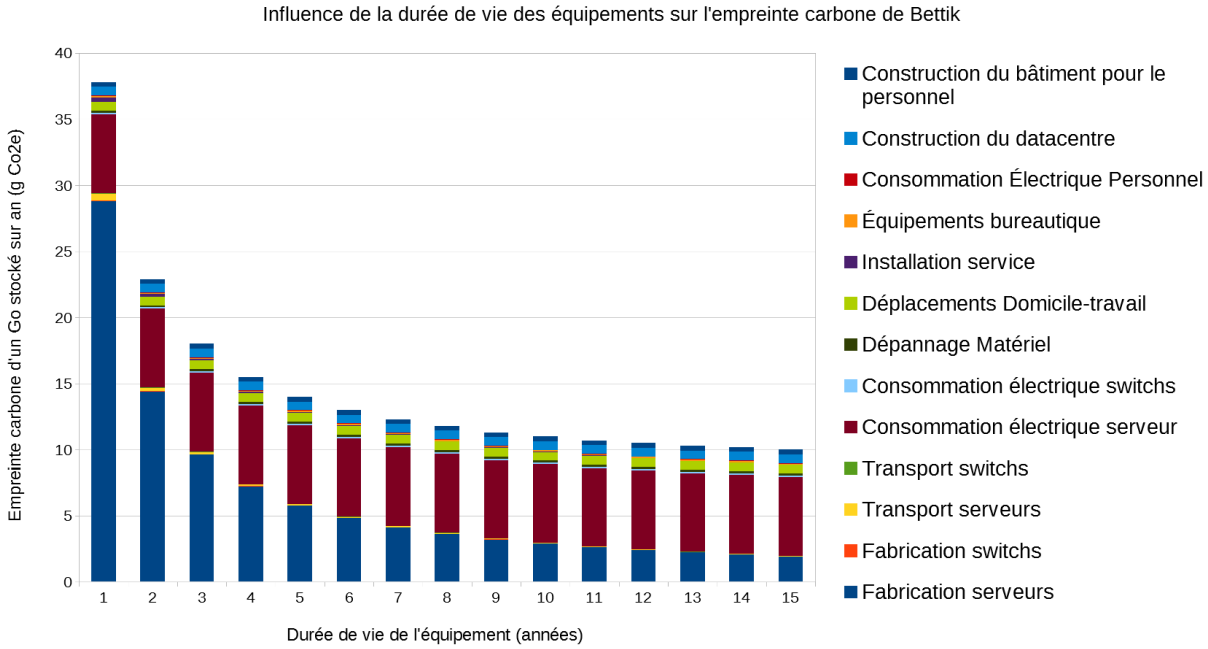
	Bettik	Mantis	Summer
Consommation électrique serveurs	**48,49%**	**38,68%**	**35,80%**
Fabrication Serveurs	**33,47%**	**28,39%**	**45,32%**
Déplacements Domicile-Travail	**5,34%**	**13,57%**	**7,08%**
Construction du DC	**5,31%**	**7,66%**	**3,39%**
Construction des bureaux du personnel	**3,02%**	**5,13%**	**4,00%**

III - 3 Analyse de sensibilité

De part le plus grand nombre de données obtenus sur Bettik, nous allons faire l'analyse de sensibilité sur le service Bettik.

III - 3 - a Impact de la durée de vie des équipements

La durée de vie des équipements impacte directement les émissions de GES dues à la fabrication des serveurs. Nous faisons varier ici la durée de vie des équipements de 1 an à 15 ans pour voir l'impact de ce facteur.

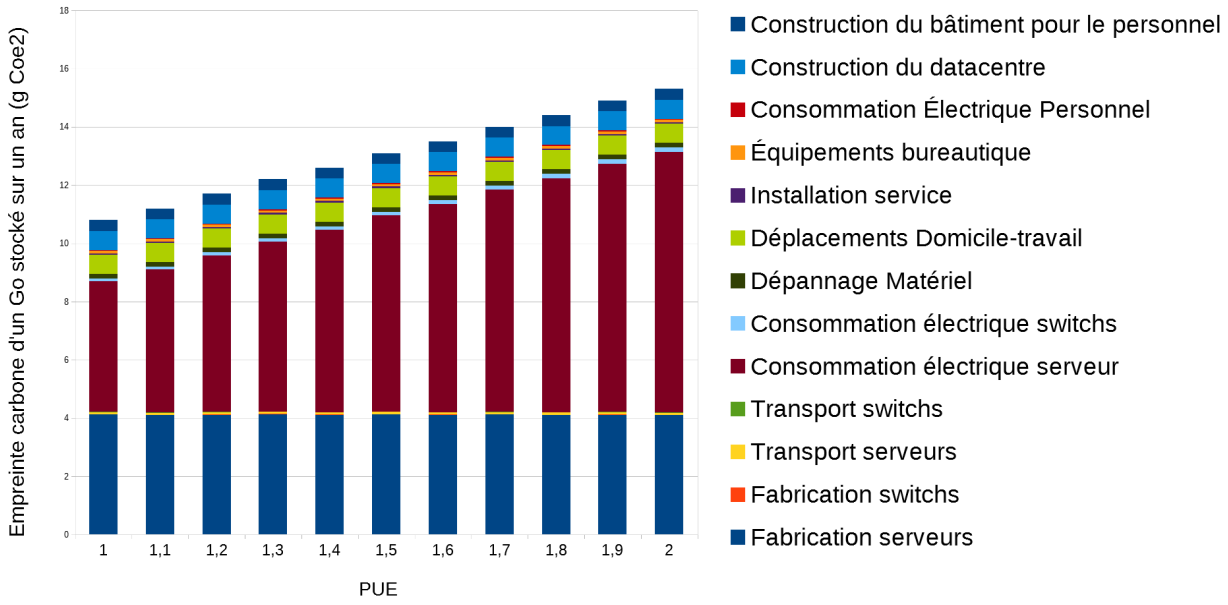


Pour une durée de vie des équipements de 1 an, nous avons une empreinte carbone de 37,8 g Co2e par pan par Go stocké. Pour une durée de vie des équipements de 15 ans, nous avons une empreinte carbone de 10,0 g Co2e par an par Go stocké. Soit une diminution de 74%.

III - 3 - b Impact du PUE

Le PUE influence directement les émissions de GES dues à la consommation électrique des équipements du DC. Nous faisons ici varier le PUE entre 1 et 2.

Influence du PUE sur l'empreinte carbone de Bettik

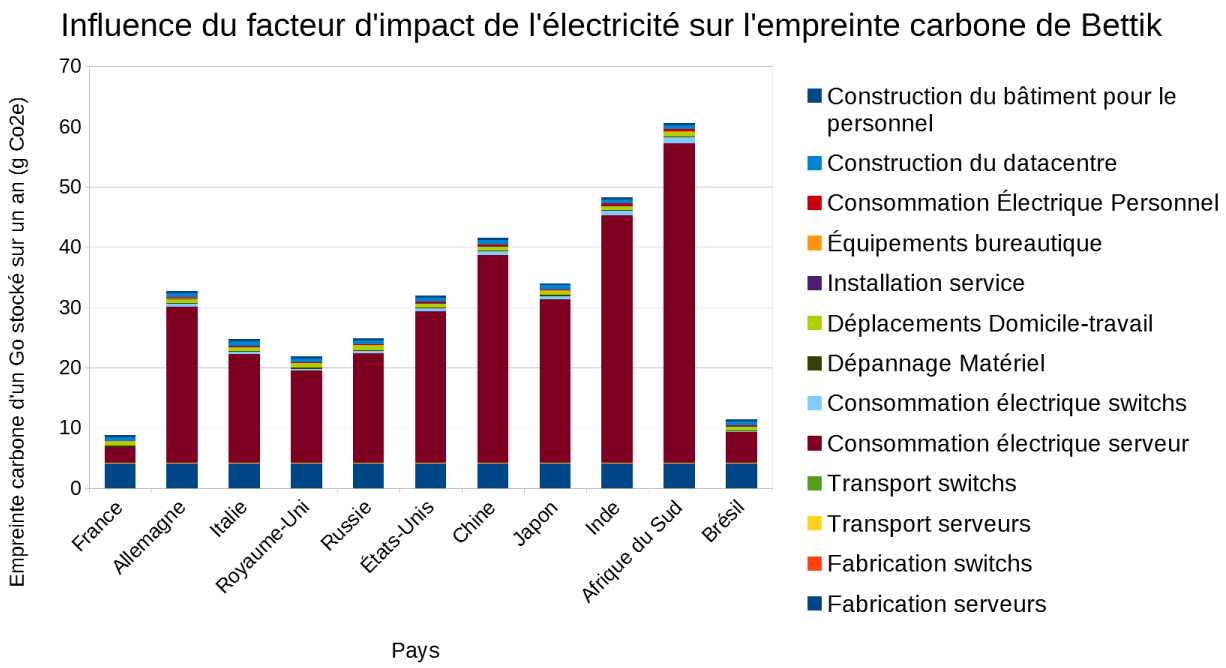


Pour un PUE à 1, nous avons une empreinte carbone de 10,8 g Co2e par pan par Go stocké. Pour un PUE à 2 nous avons une empreinte carbone de 15,3 g Co2e par an par Go stocké. Soit une augmentation de 42%.

III - 3 - c Impact du facteur d'impact de l'électricité

Le facteur d'impact de l'électricité consommée influence directement les émissions de GES due à la consommation électrique des équipements du DC, mais aussi des équipements du personnel. Nous faisons ici varier le facteur d'impact de l'électricité entre 47 g Co2e / kWh et 960 g Co2e / kWh . La première borne représente les émissions de GES d'une électricité produite en France, la seconde les émissions de GES d'une électricité produite en Afrique du Sud.

Les chiffres utilisés ici pour l'empreinte carbone des pays ne sont pas de ELCD mais du rapport annuel de Carbon Footprint datant de 2019. La différence du facteur d'impact électricité entre ELCD et Carbon Footprint vient de la différence de méthodologie entre ELCD et l'ADEME.

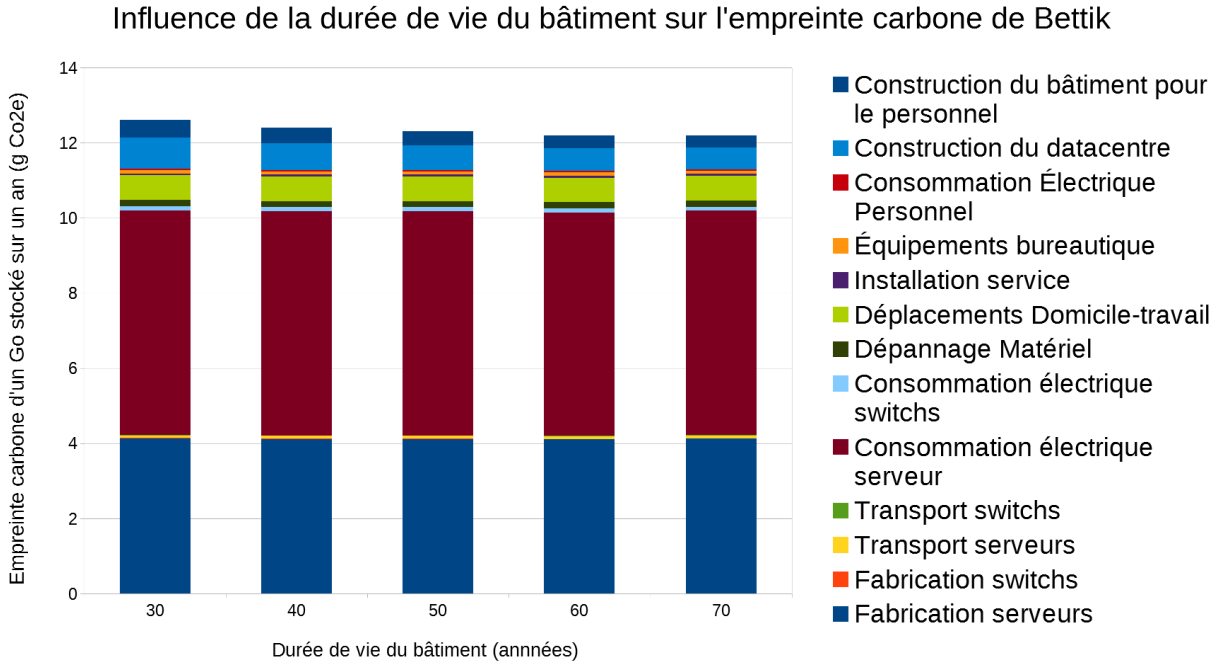


Pays	Facteur d'impact de l'électricité (g Co2e/kWh)	Empreinte carbone d'un Go stocké sur un an (g Co2e)
France	47	8,84
Allemagne	469	32,72
Italie	327	24,68
Royaume-Uni	277	21,87
Russie	330	24,86
États-Unis	455	31,95
Chine	624	41,47
Japon	492	34
Inde	743	48,22
Afrique du Sud	961	60,53
Brésil	93	11,42

Pour un facteur d'impact électricité à 0,047 kg Co2e/kWh (France), nous avons une empreinte carbone de 8,8 g Co2e par pan par Go stocké. Pour un facteur d'impact électricité à 0,960 kg Co2e/kWh (Afrique du Sud) nous avons une empreinte carbone de 60,5 g Co2e par an par Go stocké. Soit une augmentation de 585% entre les extrêmes.

III - 3 - d Impact de la durée de vie du bâtiment

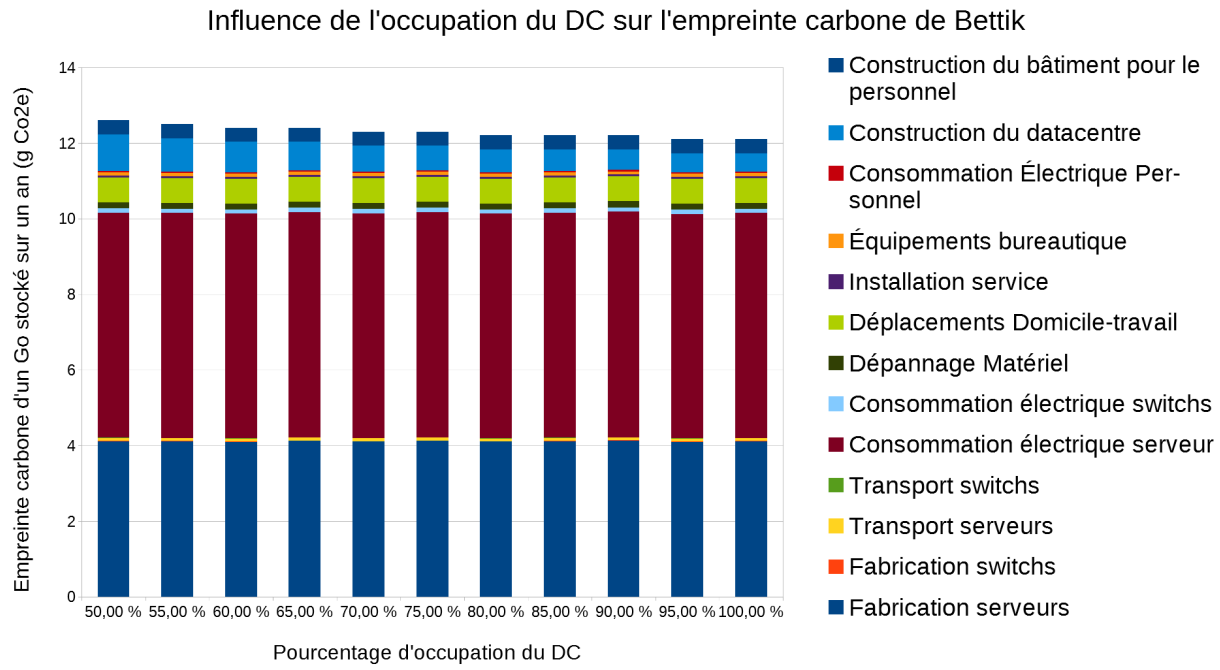
La durée de vie du bâtiment impacte directement les émissions de GES de la construction du DC, mais aussi des bureaux du personnel. Ici le paramètre varie entre 30 ans et 70 ans.



Pour une durée de vie du bâtiment à 30 ans, nous avons une empreinte carbone de 12,6 g Co2e par pan par Go stocké. Pour une durée de vie du bâtiment à 70 ans nous avons une empreinte carbone de 12,2 g Co2e par an par Go stocké. Soit une diminution de 2,9%.

III - 3 - e Impact de l'occupation du DC

Le pourcentage d'occupation du DC impacte indirectement les émissions de GES de la construction du DC, en effet la part allouée à Bettik dans la construction du DC varie directement en fonction de si le DC est occupé par d'autres services ou non.



Pour une occupation du DC à 50%, nous avons une empreinte carbone de 12,6 g Co2e par pan par Go stocké. Pour une occupation du DC à 100% nous avons une empreinte carbone de 12,1 g Co2e par an par Go stocké. Soit une diminution de 4%.

III - 3 - f Impact du Télétravail

Concernant le télétravail, nous proposons deux scénarios. Dans un premier scénario nous allons étudier un type de télétravail dans lequel chaque travailleur possède un bureau dans les locaux du service.

Dans le second scénario nous regarderons l'impact d'avoir un nombre limité de bureaux dans les locaux, c'est à dire que les personnes occupant les bureaux alternent entre travail sur place et télétravail. Lorsque quelqu'un est en télétravail, quelqu'un d'autre occupe le bureau précédemment utilisé par la personne actuellement en télétravail. Les bureaux sont donc partagés et "tournent" parmi les employés.

Dans les deux cas nous considérons que chaque employé effectuant du télétravail possède un ordinateur portable, deux écrans, un clavier et une souris.

Nous prendrons les notations suivantes :

- P_t: Pourcentage de télétravail
- S_i: Surcoût Infrastructure
- E: Émissions de GES annuelle
- N_{ETP}: Nombre d'ETP participant à la maintenance du service
- $E_{bureau\ équipement}$: Émissions de GES annuelle des équipements du bureau
- $E_{télétravail\ équipement}$: Émissions de GES annuelle des équipements fournis s'il y a 100% de télétravail
- $E_{bureau\ électricité}$: Émissions de GES annuelle due à la consommation électrique du bureau
- $E_{télétravail\ électricité}$: Émissions de GES annuelle du à la consommation électriques des équipements fournis s'il y a 100% de télétravail
- $E_{Déplacement}$: Émissions de GES annuelle déplacement domicile-travail pour un ETP sans télétravail
- $E_{construction\ bureaux}$: Émissions de GES annuelle due à la construction des bureaux s'il n'y a aucun télétravail

III - 3 - f - 1) Scénario "Chacun son bureau"

Le fait de partir en télétravail change quelques formules, notamment les émissions de GES dues aux déplacements domicile-travail, aux équipements du personnel, à la consommation électrique du personnel. La construction des bureaux du personnel reste elle inchangée puisque les bureaux sont construits même s'ils sont inoccupés.

Concernant les déplacements domicile-travail, nous avons :

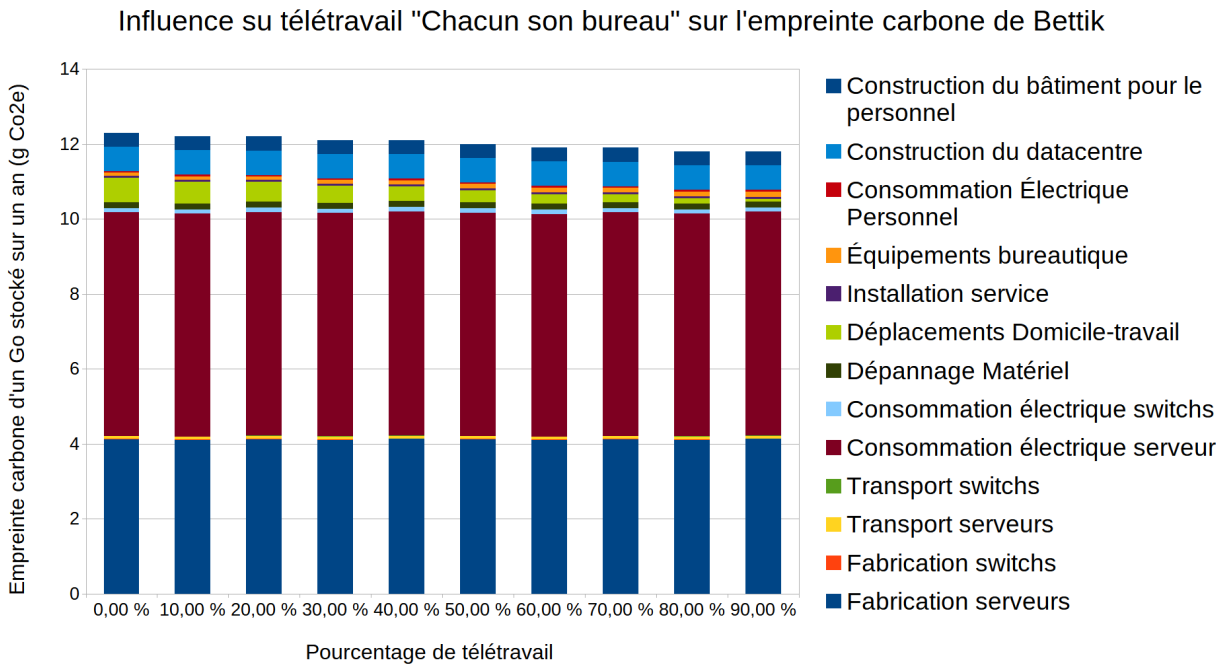
$$E = N_{ETP} * E_{Déplacement} * (1 - P_t) * S_i$$

Concernant les équipements du personnel, nous avons :

$$E = (E_{bureau\ équipement} + E_{télétravail\ équipement} * P_t) * S_i$$

Concernant la consommation électrique du personnel, nous avons :

$$E = (E_{bureau\ électricité} + E_{télétravail\ électricité} * P_t) * S_i$$



Pour un pourcentage de télétravail à 0%, nous avons une empreinte carbone de 12,3 g Co2e par pan par Go stocké. Pour un pourcentage de télétravail de 90 % nous avons une empreinte carbone de 11,8 g Co2e par an par Go stocké. Soit une diminution de 4%.

III - 3 - f - 2) Scénario “Bureaux Tournant”

Le fait de partir en télétravail avec des “bureaux tournants” change quelques formules par rapport au scénario où chacun a un bureau attitré, notamment les émissions de GES dues aux équipements du personnel, à la consommation électrique du personnel mais aussi la construction des bureaux du personnel puisqu’il n’y a pas de bureaux pour tout le personnel.

Concernant les déplacements domicile-travail, nous avons :

$$E = N_{ETP} * E_{Déplacement} * (1 - P_t) * S_i$$

Concernant les équipements du personnel, nous avons :

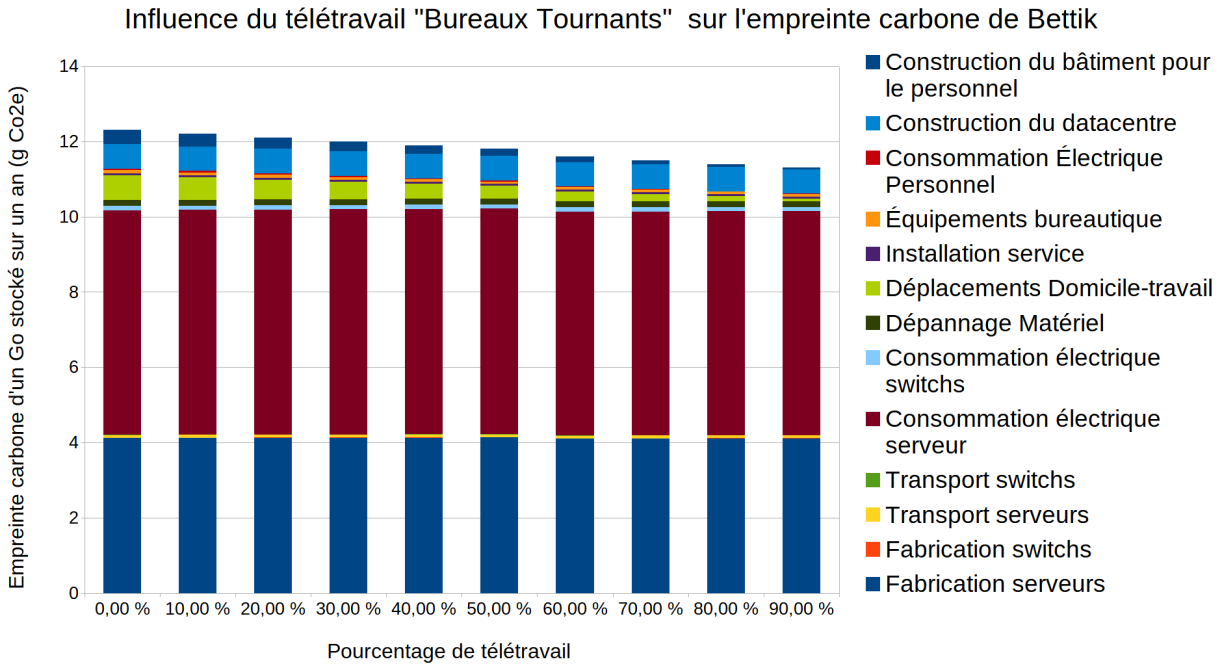
$$E = (E_{bureau\ équipement} * (1 - P_t) + E_{télétravail\ équipement} * P_t) * S_i$$

Concernant la consommation électrique du personnel, nous avons :

$$E = (E_{bureau\ électricité} * (1 - P_t) + E_{télétravail\ électricité} * P_t) * S_i$$

Concernant la construction des bureaux du personnel, nous avons :

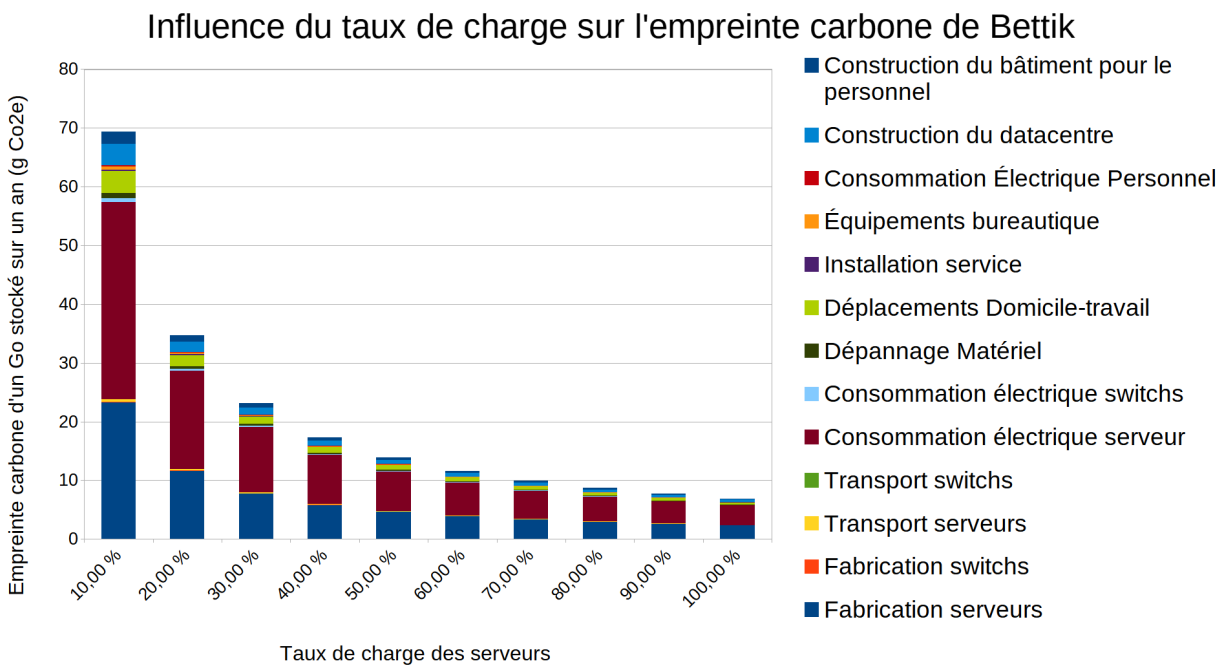
$$E = E_{construction\ bureaux} * (1 - P_t) * S_i$$



Pour un pourcentage de télétravail à 0%, nous avons une empreinte carbone de 12,3 g Co2e par pan par Go stocké. Pour un pourcentage de télétravail de 90 % nous avons une empreinte carbone de 11,3 g Co2e par an par Go stocké. Soit une diminution de 8%.

III - 3 - g Impact du taux de charge

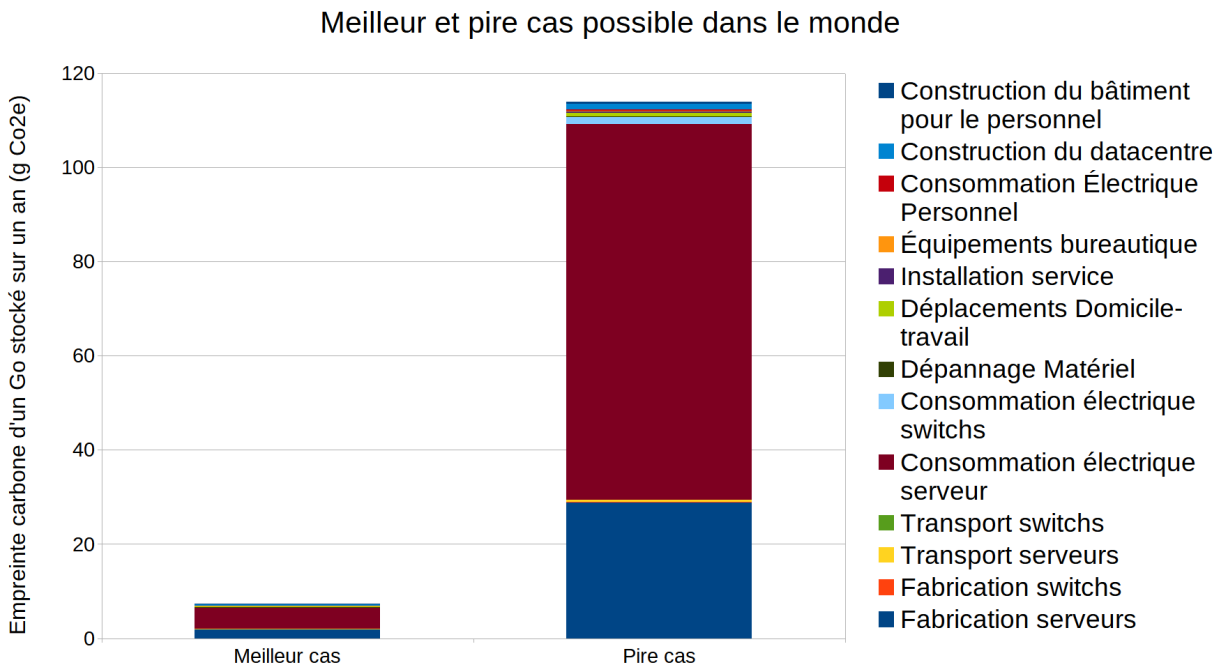
Le taux de charge des serveurs n'impacte pas les émissions de GES du service, mais impacte directement l'unité fonctionnelle puisque nous rapportons les émissions de GES à la quantité de Go stockés à l'année. Ici le paramètre varie entre 10% et 100%.



Pour un taux de charge à 10%, nous avons une empreinte carbone de 69,4 g Co2e par pan par Go stocké. Pour un taux de charge de 100% nous avons une empreinte carbone de 6,9 g Co2e par an par Go stocké. Soit une diminution de 90%.

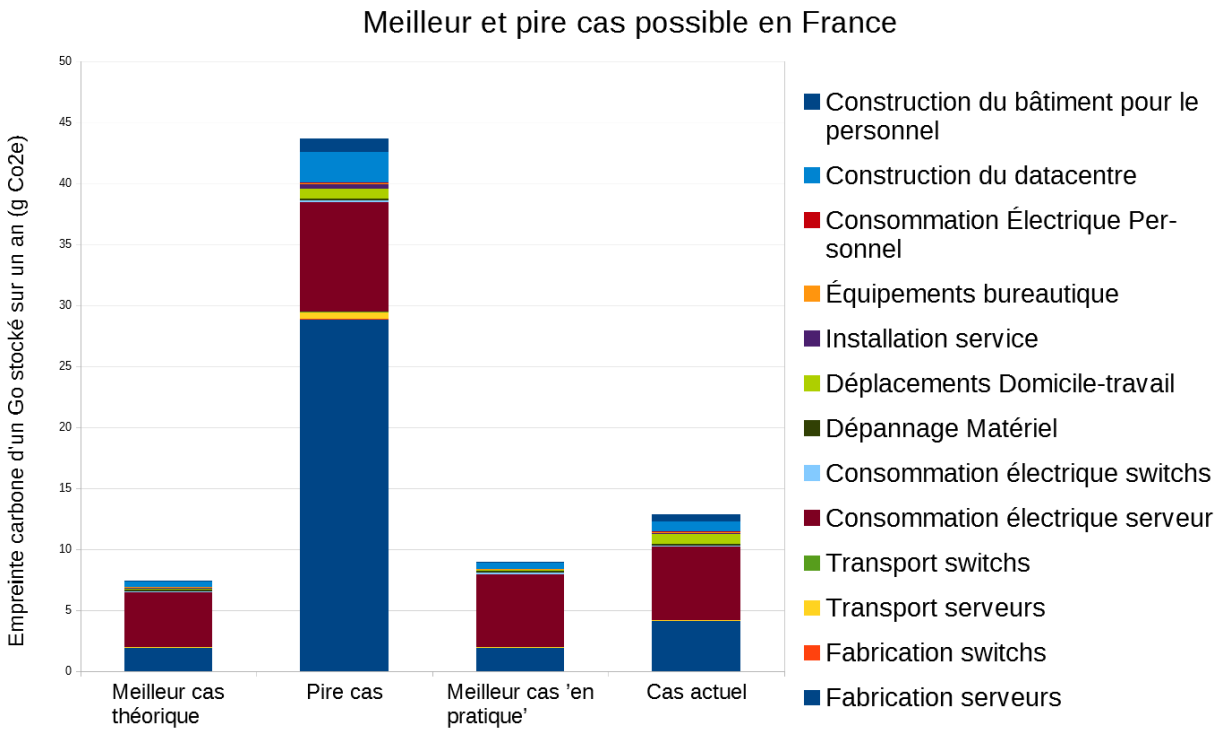
III - 3 - h Meilleur et pire cas possibles

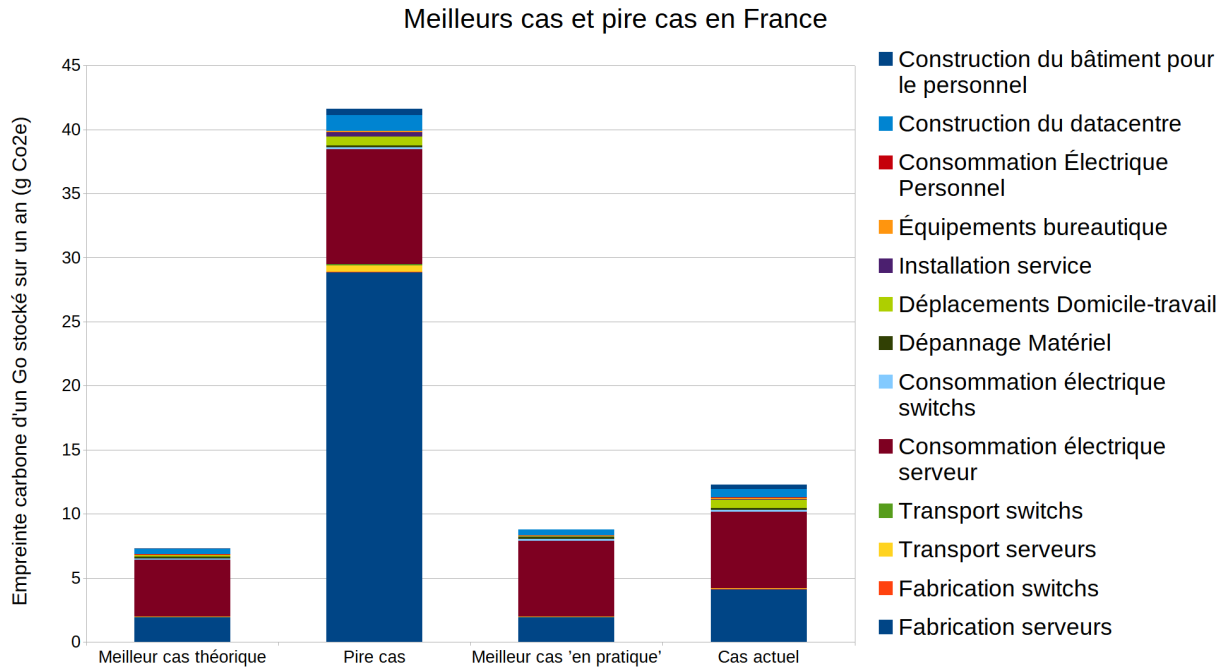
En prenant les valeurs extrêmes des facteurs d'impact, au taux de charge actuel de Bettik, nous obtenons les résultats suivants :



	Meilleur cas	Pire cas
Durée de vie des équipements (années)	15	1
Durée de vie du bâtiment (années)	70	30
Facteur d'impact électricité (kg Co2e/kWh)	0,108	0,960
PUE	1	2
Télétravail	90%	0,00%
Utilisation du DC	100 %	50,00%
Bureaux Tournants	Oui	Non
Empreinte carbone (g Co2e/Go/an)	**7,3**	**114,0**

En prenant les valeurs extrêmes des facteurs d'impact, au taux de charge actuel de Bettik, tout en restant en France, nous obtenons le résultat suivant pour Bettik :


Meilleur et pire cas possible en France
Empreinte carbone d'un Go stocké sur un an (g Co2e)
50
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Meilleur cas théorique
Pire cas
Meilleur cas 'en pratique'
Cas actuel
Construction du bâtiment pour le personnel
Construction du datacentre
Consommation Électrique Personnel
Équipements bureautique
Installation service
Déplacements Domicile-travail
Dépannage Matériel
Consommation électrique switchs
Consommation électrique serveur
Transport switchs
Transport serveurs
Fabrication switchs
Fabrication serveurs


Meilleurs cas et pire cas en France
Empreinte carbone d'un Go stocké sur un an (g Co2e)
45
40
35
30
25
20
15
10
5
0
Meilleur cas théorique
Pire cas
Meilleur cas 'en pratique'
Cas actuel
Construction du bâtiment pour le personnel
Construction du datacentre
Consommation Électrique Personnel
Équipements bureautique
Installation service
Déplacements Domicile-travail
Dépannage Matériel
Consommation électrique switchs
Consommation électrique serveur
Transport switchs
Transport serveurs
Fabrication switchs
Fabrication serveurs

	Meilleur cas théorique	Pire cas
Durée de vie des équipements (années)	15	1
Durée de vie du bâtiment (années)	70	30
Facteur d'impact électricité (kg Co2e/kWh)	0,108	0,108
PUE	1	2
Télétravail	90%	0,00%
Utilisation du DC	100 %	50,00%
Bureaux Tournants	Oui	Non
Empreinte carbone (g Co2e/Go/an)	**7,3**	**41,6**

	Meilleur cas "en pratique" (Bettik reste dans le même DC)	Cas actuel
Durée de vie des équipements (années)	15	7
Durée de vie du bâtiment (années)	70	50
Facteur d'impact électricité (kg Co2e/kWh)	0,108	0108
PUE	1,33	1,33
Télétravail	90%	0,00%
Utilisation du DC	100 %	74,44%
Bureaux Tournants	Oui	Non
Empreinte carbone (g Co2e/Go/an)	**8,8**	**12,3**

IV - Conclusion

Notre étude montre que dans les conditions d'utilisation du DC IMAG actuelles, les leviers pour réduire l'empreinte carbone de Bettik sont :

- Le bon dimensionnement de l’infrastructure de stockage pour répondre aux besoins réels de volumétrie (impact fort)
- L’augmentation de la durée de vie des équipements (impact fort)
- La diminution du facteur d’impact électricité qui est utilisée pour faire tourner le service (impact fort)
- La diminution du PUE du DC hébergeant Bettik (impact modéré)
- L'augmentation de la durée de vie du DC hébergeant Bettik (impact faible)
- L’augmentation du pourcentage d’utilisation du DC hébergeant Bettik (impact faible)
- L’augmentation de la pratique du télétravail au sein du personnel GRICAD (impact faible)

V - Glossaire

ACV : Analyse de Cycle de Vie
ADEME : Agence De l'Environnement Et de la Maîtrise de l'Énergie
AFR : Annualized failure rate
DC : Datacentre
ELCD : European Reference Life Cycle Data System
ETP : Équivalent Temps Plein
GRICAD : Grenoble Alpes Recherches Infrastructure de Calcul Intensif et de Données
HDD : Hard Disk Drive
PDU : Power Distribution Unit, en français "Unité de distribution d'énergie"
PUE : Power Usage Effectiveness, en français "Indicateur d'Efficacité Énergétique"
RAM : Random Access Memory
SSD : Solid State Drive
UGA : Université Grenoble Alpes

VI - Références Bibliographiques

[Carbon Footprint 2019] Carbon Footprint, Article. *Country specific electricity grid greenhouse gas emission factors.* 2019.
https://www.carbonfootprint.com/docs/2019_06_emissions_factors_sources_for_2019_electricity.pdf

[Ecodiag] Plateforme Ecodiag.
https://ecoinfo.cnrs.fr/ecodiag/

[ELCD] ELCD, Base de données.
https://eplca.jrc.ec.europa.eu/ELCD3/

[OID 2019] OID, ACV. *Le poids carbone réel d'un bâtiment de bureaux tout au long de son cycle de vie.* 2019.
https://resources.taloen.fr/resources/documents/7765_191210_poids_carbone_ACV_vdef.pdf

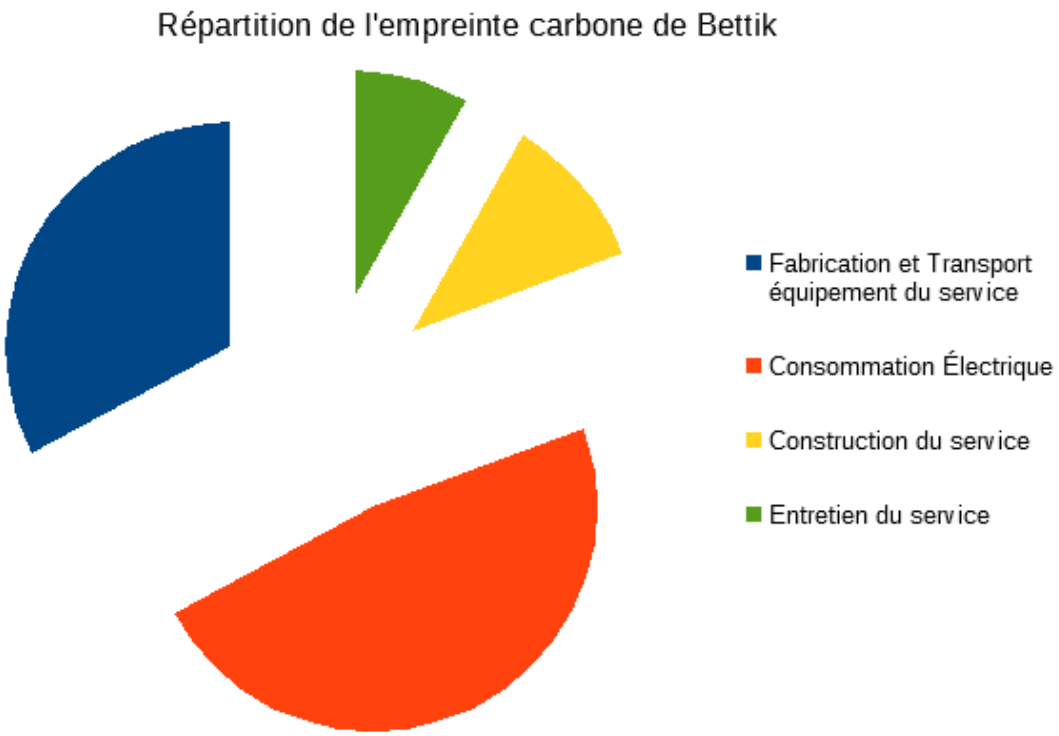
[Seagate] Seagate, Site web/Rapport. *Durabilité des produits Seagate*. 2020.
https://www.seagate.com/fr/fr/global-citizenship/product-sustainability/

[Seagate] Seagate, Rapport. *Rapport de durabilité de l'Exos 7E8*. 2019.

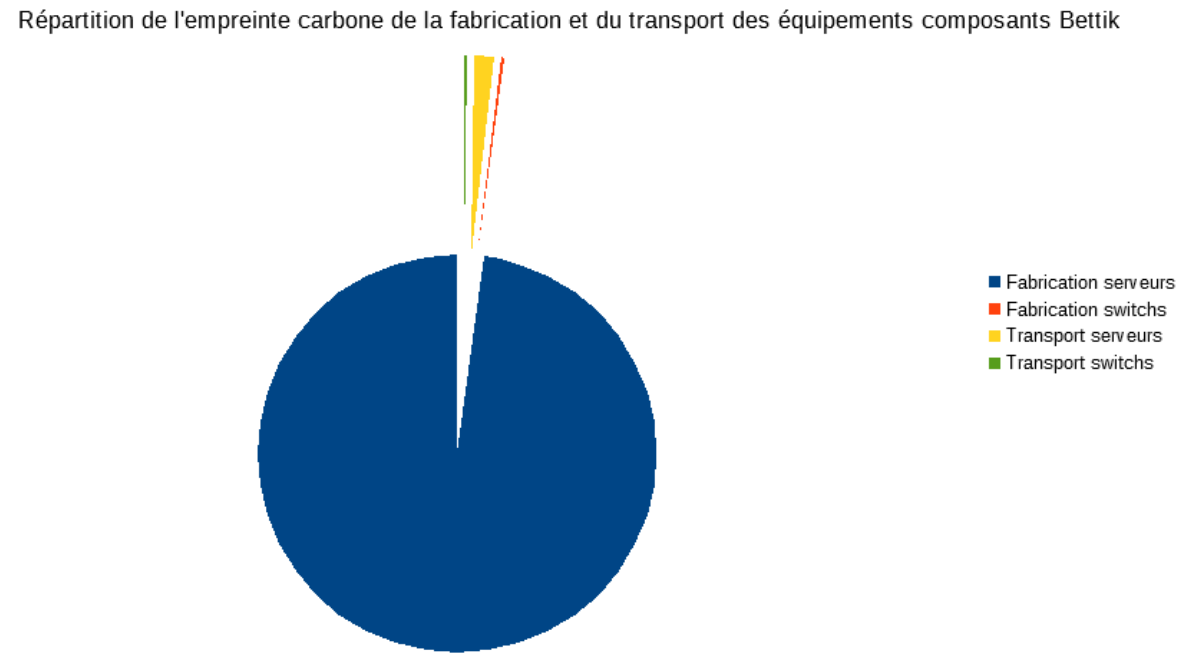
https://www.seagate.com/files/www-content/global-citizenship/_shared/product-sustainability/cimarron-exos-7e8-sustainability-report/images/exos-7e8-sustainability-report-fr-fr.pdf

[Seagate] Seagate, Rapport. *Rapport de durabilité du Nitro 3530*. 2019. https://www.seagate.com/files/www-content/global-citizenship/_shared/product-sustainability/jofa-nytro-3530/images/nytro-3530-sustainability-report-fr-fr.pdf

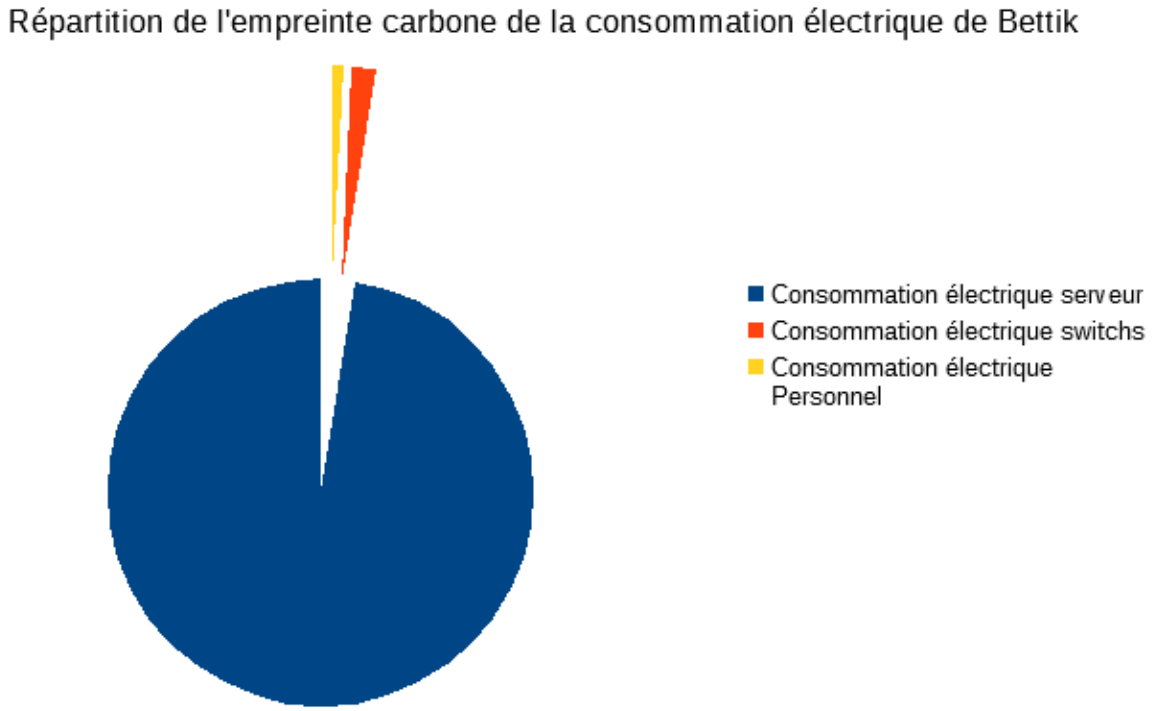
VII - Annexes



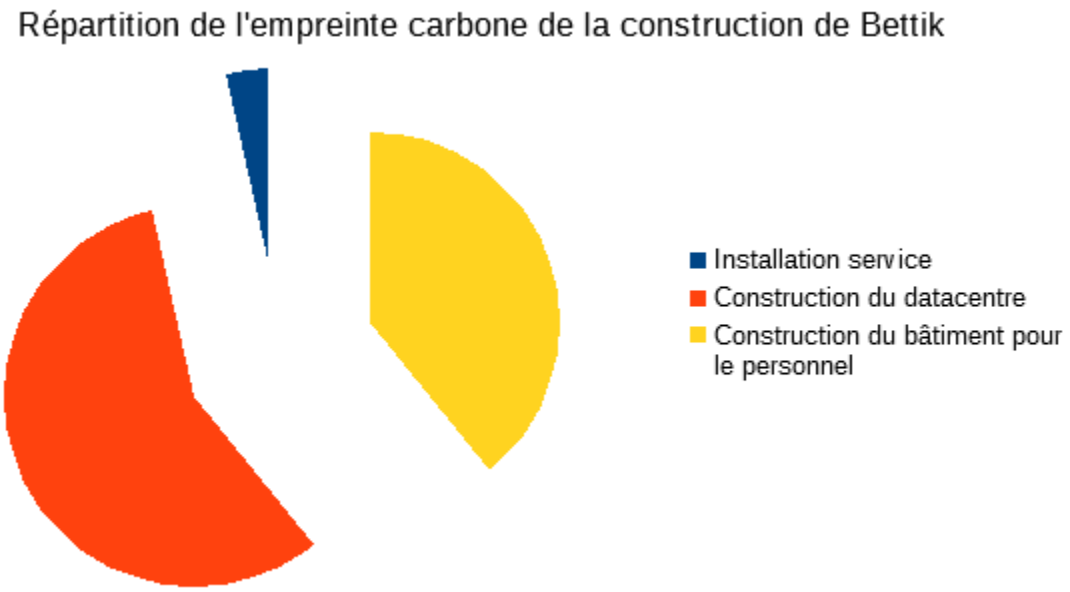
Annexe 1 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de Bettik par catégories



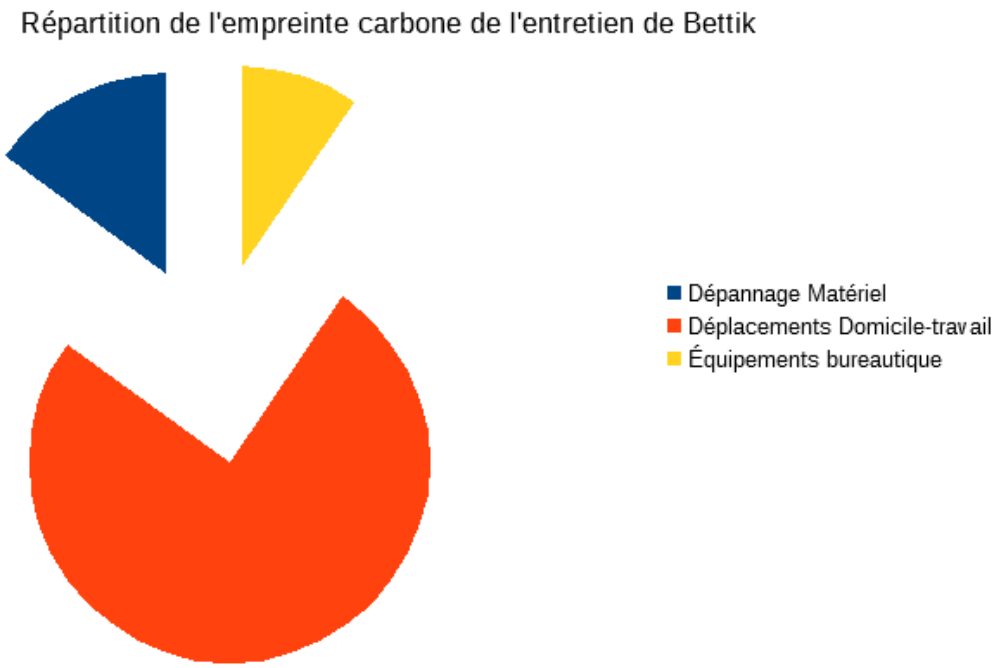
Annexe 2 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de la fabrication et du transport des équipements qui composent Bettik



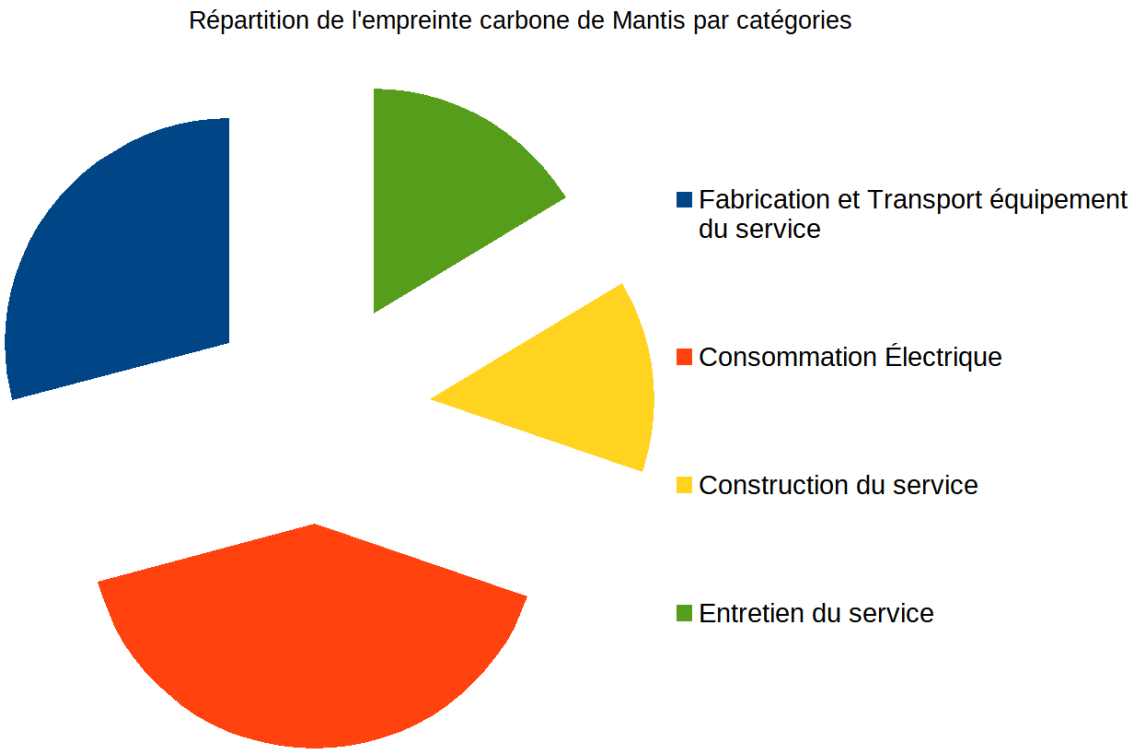
Annexe 3 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de la consommation électrique de Bettik



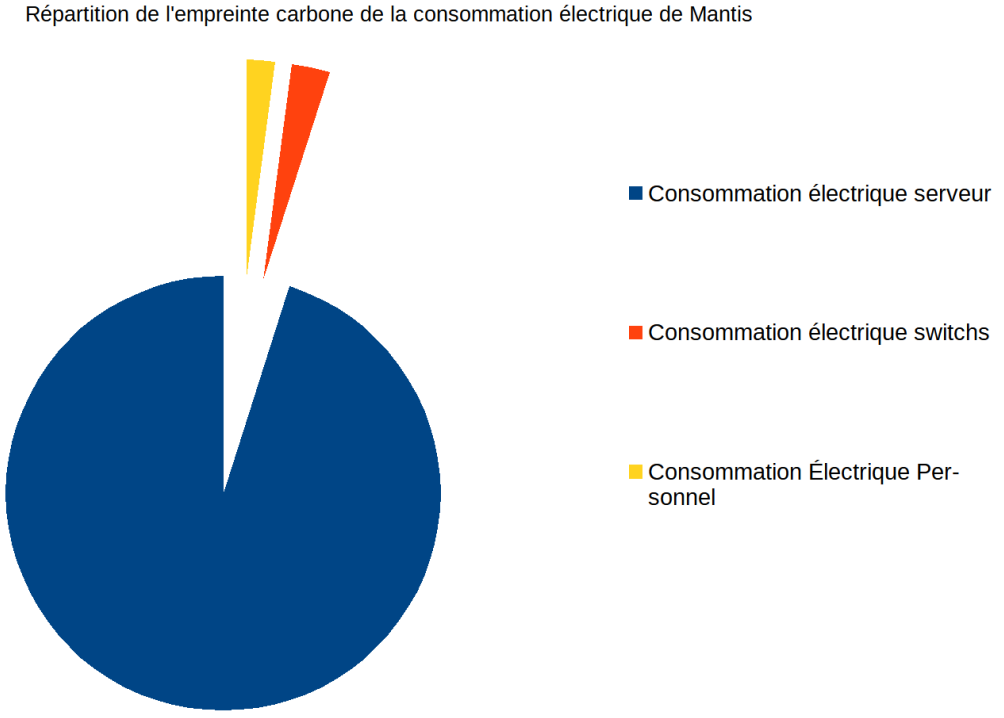
Annexe 4 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de la construction de Bettik



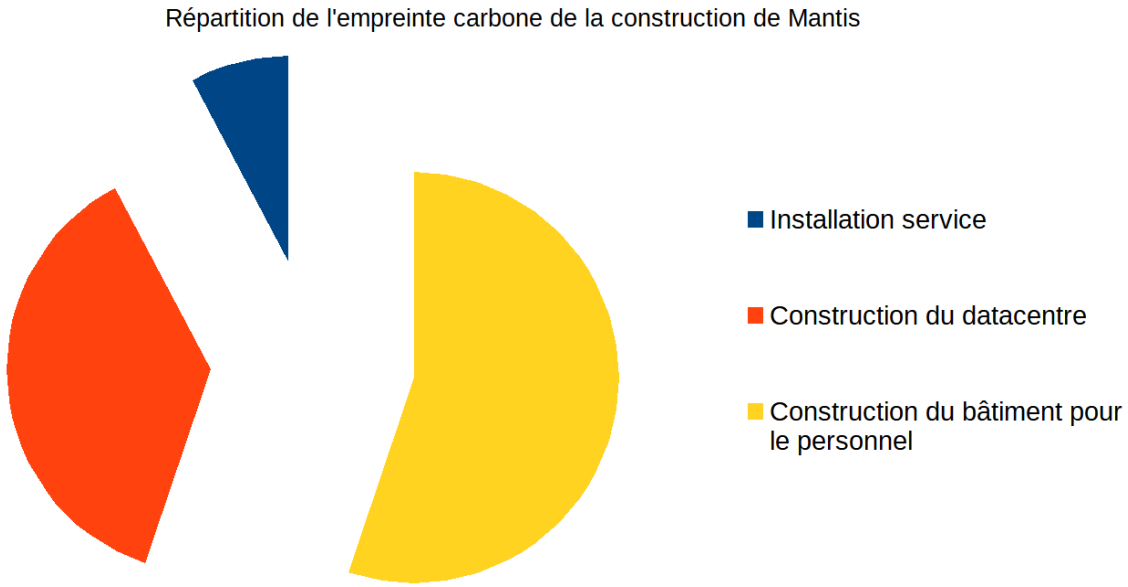
Annexe 5 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de l'entretien de Bettik



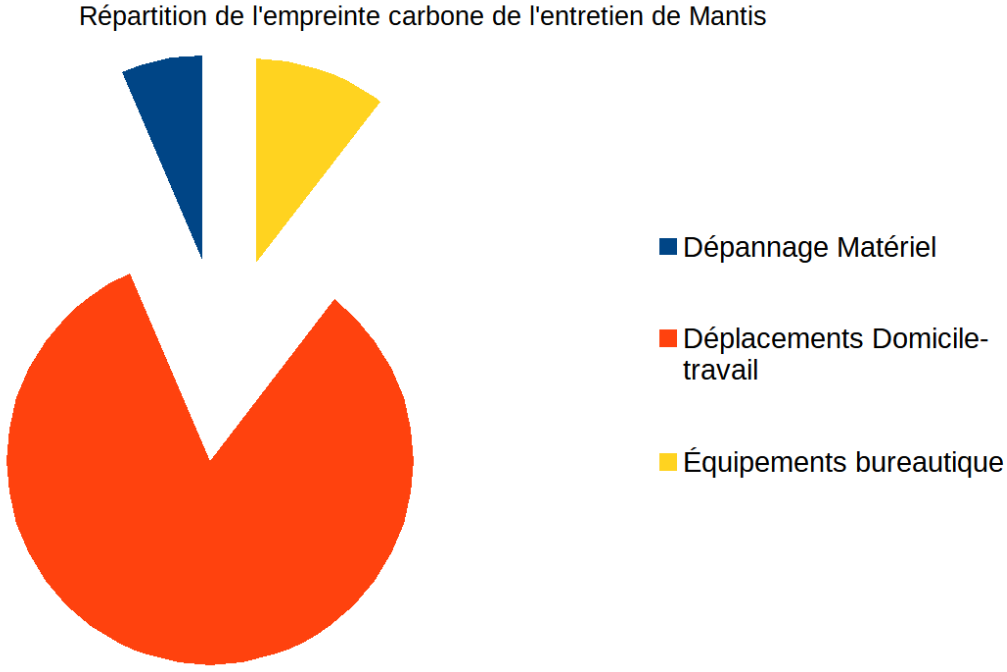
Annexe 6 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de Mantis par catégories



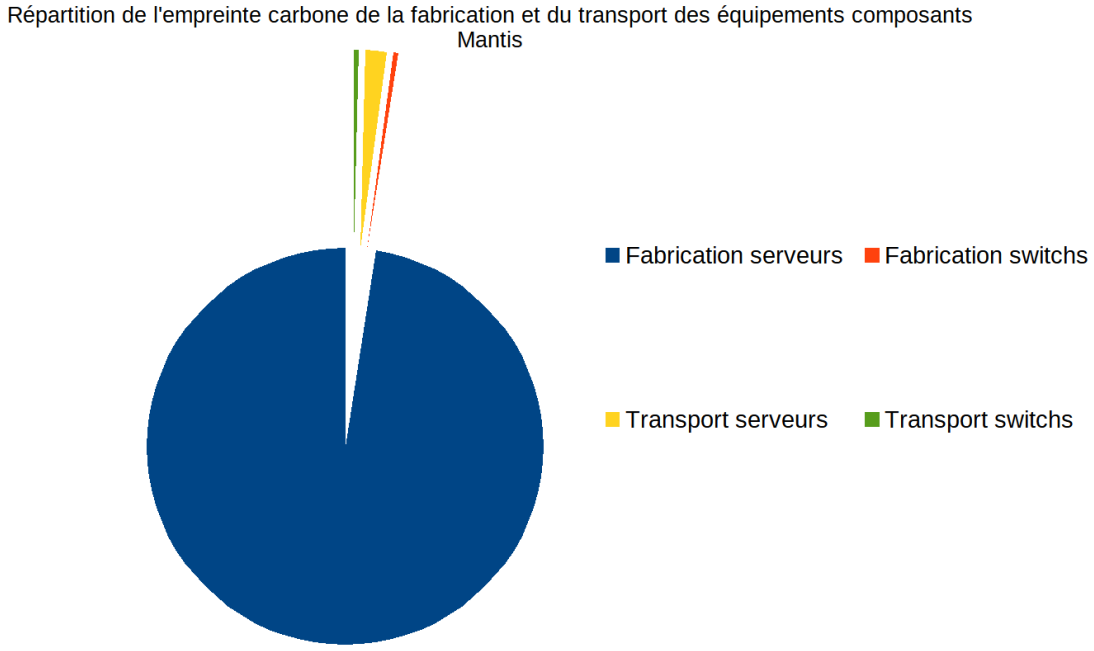
Annexe 7 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de la consommation électrique de Mantis



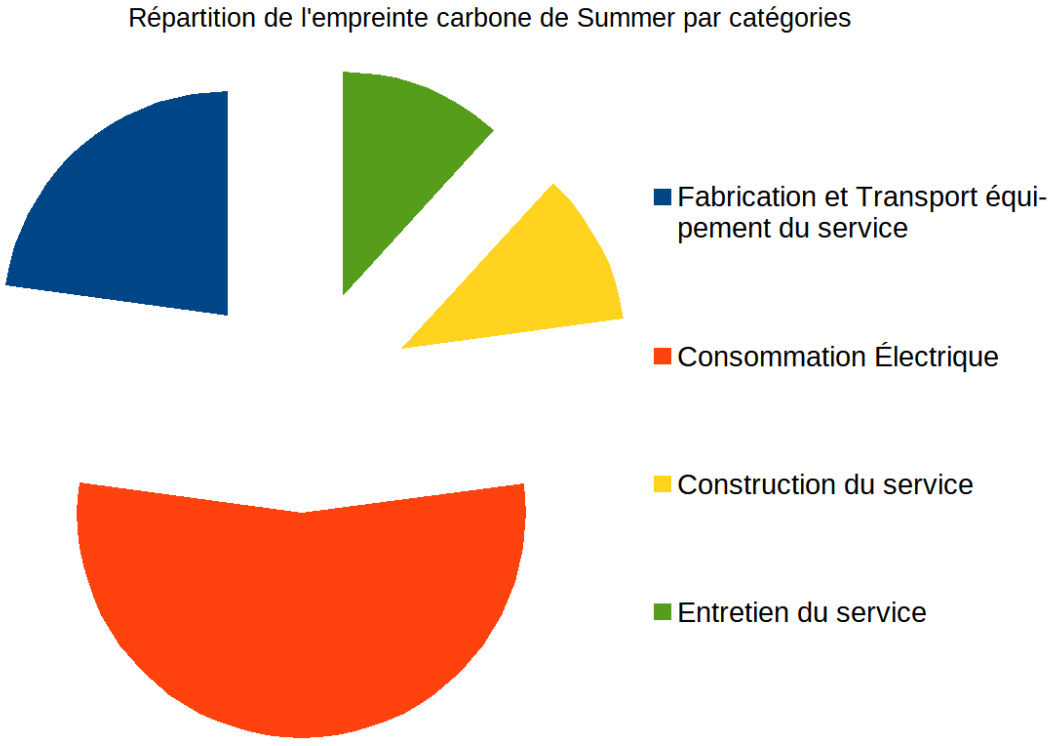
Annexe 8 - Schéma de la répartition de l’empreinte carbone de la construction de Mantis



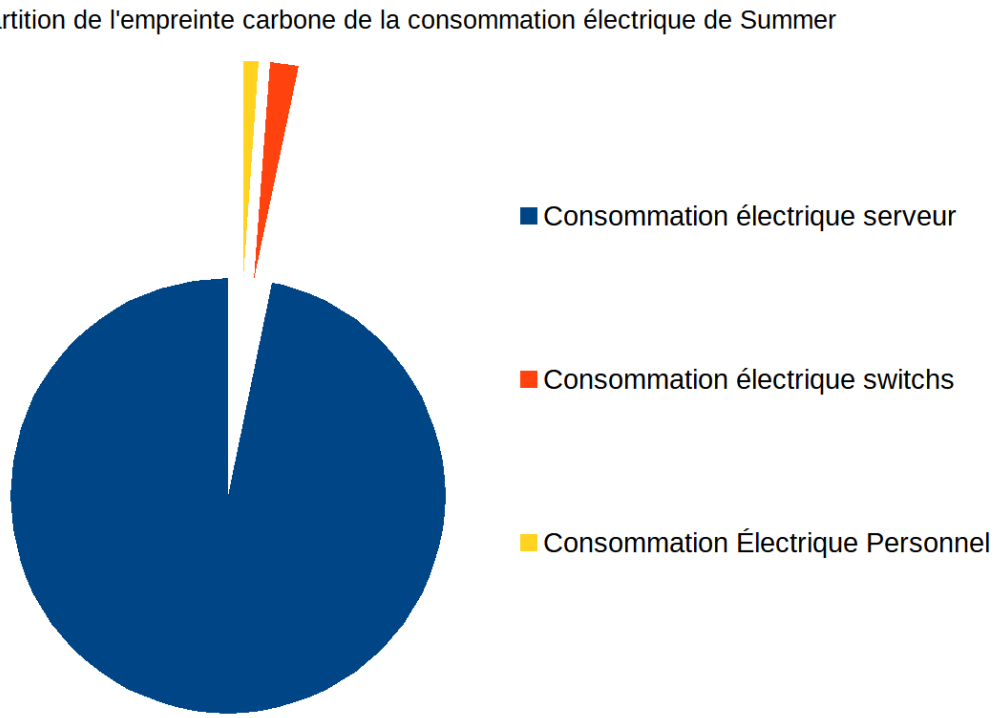
Annexe 9 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de l'entretien de Mantis



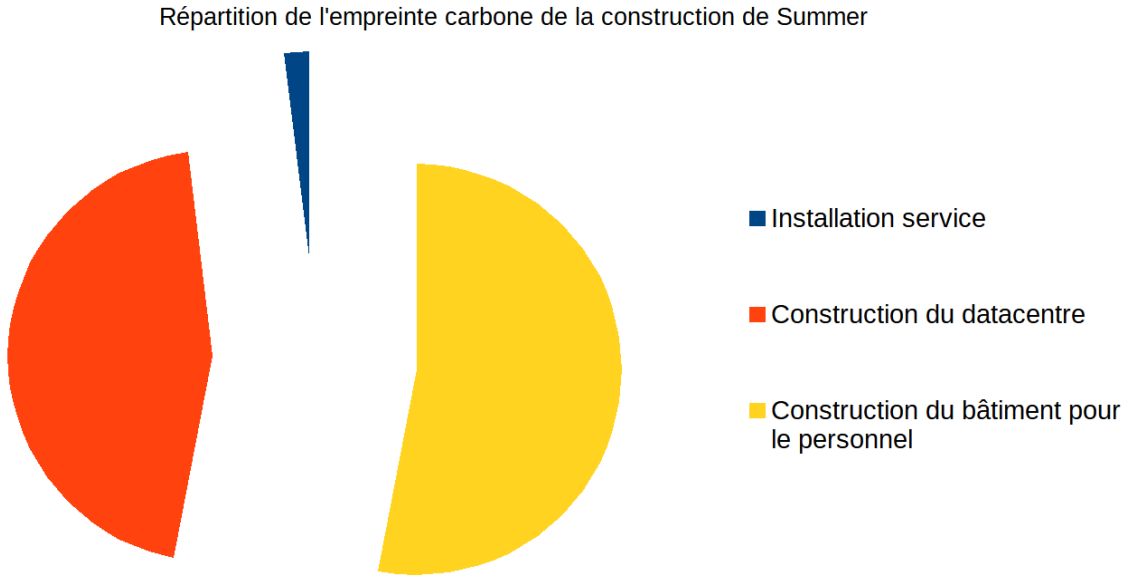
Annexe 10 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de la fabrication et du transport des équipements composants Mantis



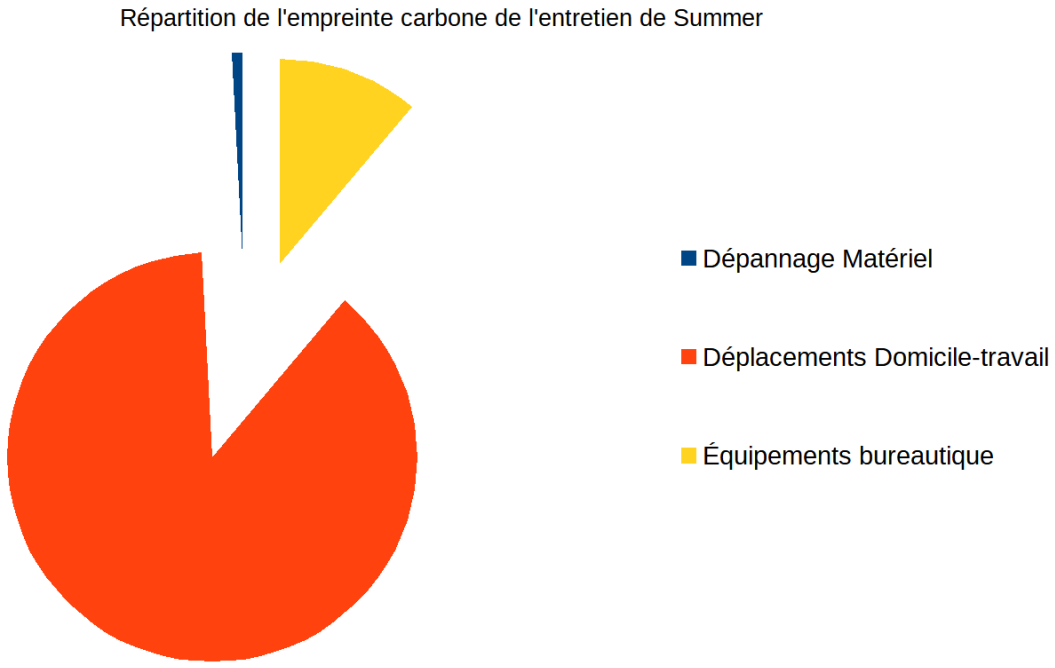
Annexe 11 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de Summer par catégories



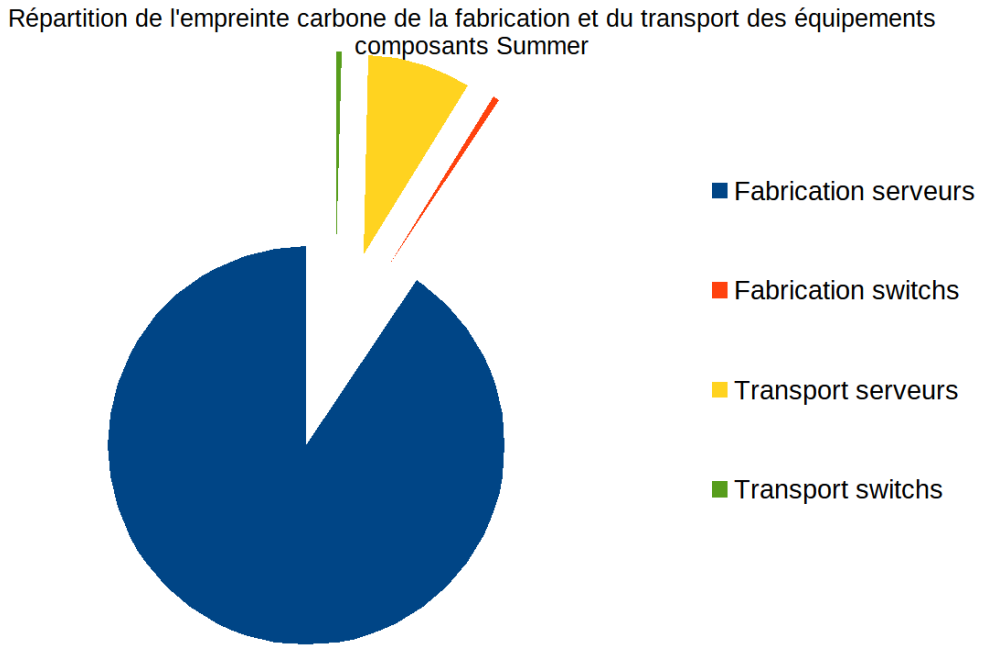
Annexe 12 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de la consommation électrique de Summer



Annexe 13 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de la construction de Summer



Annexe 14 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de l'entretien de Summer



Annexe 15 - Schéma de la répartition de l'empreinte carbone de la fabrication et du transport des équipements composants Summer