

Réalisation d'un plan de transition carbone à l'ECAM basé sur la méthodologie Bilan Carbone® de scope 3

Ing. M. TERMOTE – Ing. M. WEIDLICH – Dr. M. Pochet – Ir. M. STEISEL
ECAM – Bruxelles

1. Introduction

Le changement climatique est l'une des principales problématiques environnementales et une épreuve inéluctable de notre époque. Le changement en question est causé par l'accumulation de Gaz à Effet de Serre (GES) d'origine humaine dans l'atmosphère.

L'objectif de ce travail est d'initier un changement de mentalité et une prise d'actions des acteurs de l'ECAM Brussels Engineering School dans la lutte contre le changement climatique.

Le document se divise en trois parties. La première s'attaque au Bilan Carbone® (BC®) et propose un plan de transition. La seconde et la troisième partie développent en profondeur certaines actions du plan de transition. Y sont présentées la méthode Slowheat et l'installation photovoltaïque (PV).

2. Bilan Carbone®

Le BC® développé par l'ADEME permet à toute organisation de comptabiliser les émissions de GES inhérentes à l'ensemble de ses activités. Le document final donne accès à un diagnostic global des émissions de GES de l'entité dans le but d'identifier les secteurs les plus émissifs et de prendre des mesures concrètes de réduction.

2.1. Méthode

La méthodologie consiste, dans un premier temps, à faire l'inventaire de toutes les sources d'émission de gaz à effet de serre de l'entité et de quantifier celles-ci en une masse équivalente de CO₂ (kgCO₂e).

Les émissions sont classées dans les différentes catégories d'émission suivantes :

- Énergies
- Intrants
- Frets
- Déplacements
- Déchets directs
- Immobilisation
- Emballages

Le document donne alors une base de réflexion chiffrée avec une vision claire des postes sur lesquels agir en priorité du fait de l'importance relative de leur empreinte carbone.

Le BC® pose un périmètre pour déterminer si oui ou non, une émission de GES peut être imputée à l'organisation étudiée. On parle alors de scope et il en existe 3 :

- Scope 1 : Émissions dues directement à la combustion d'un combustible.
- Scope 2 : Émissions liées à l'énergie consommée (électricité, chauffage, etc.)
- Scope 3 : Émissions indirectes dont les sources se retrouvent hors du périmètre organisationnel, mais qui sont nécessaires à son activité. Exemples : Achat de matières premières, de biens ou de services, déplacements des acteurs de l'organisation, immobilisation, etc.

Les scopes sont cumulatifs ; le scope 3 contient donc les scopes 1 et 2 et est donc le plus transparent d'un point de vue écologique car il empêche toute délocalisation des émissions.

Le bilan carbone n'est pas un audit. Le grand nombre d'hypothèses et l'importante variabilité de précision sur les facteurs d'émission rendent le résultat final peu précis. La méthode ne prétend pas produire un calcul exact des émissions de GES au gramme près, mais bien d'avoir un ordre de grandeur et de visualiser l'importance des différentes catégories d'émission.

2.2. Résultats

L'empreinte carbone annuelle de scope 3 de l'ECAM s'élève à 1.175.374 kg CO₂e. L'unité fonctionnelle de l'ECAM est l'étudiant. Sachant que 1243 étudiants étaient inscrits à l'ECAM lors de l'évaluation, le facteur d'émission de l'ECAM est de 946 kgCO₂e/étudiant.

La Figure 1 présente la répartition des émissions de GES par catégorie d'émission.

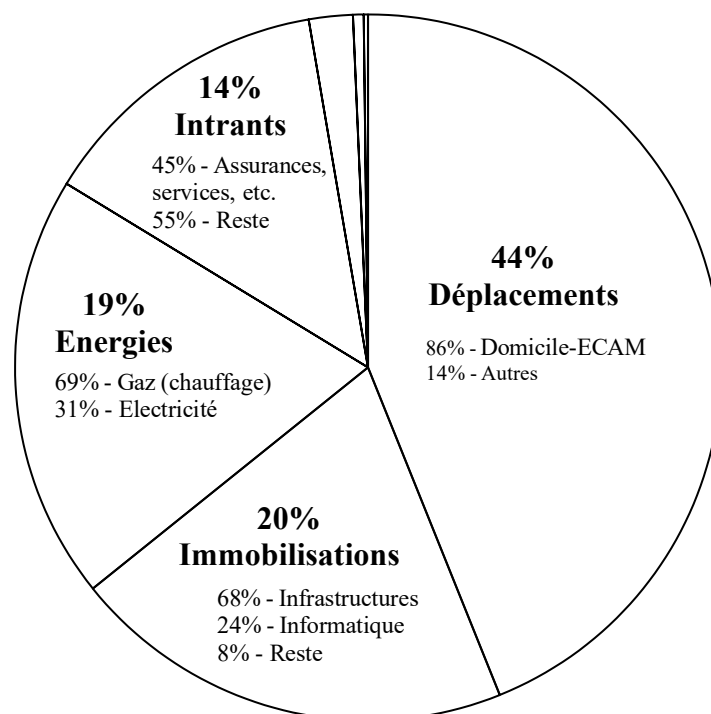


Figure 1 : Répartition des émissions annuelles de GES de l'ECAM

Le secteur des déplacements représente 44% des émissions globales. Les trajets domicile-ECAM sont plus importants en termes de kilomètre parcourus et en termes d'émissions que les autres trajets liés à l'activité de l'établissement. Il est important de souligner que pour les trajets domicile-ECAM, 12% des distances sont parcourues en voiture contre 88% pour les autres moyens de transport (bus, train, tram, vélo, etc.). Or les émissions dues à ces trajets en voiture représentent près de 38% du total.

20% des émissions globales de l'ECAM sont dues aux immobilisations, catégorie comprenant les infrastructures, le parc informatique, etc.

Les émissions dues à la consommation d'énergie représentent 19% des émissions totales de l'ECAM. Le chauffage via une chaudière à gaz à condensation représente 69% des émissions de la catégorie « énergie » soit environ 13% du bilan total. Il est bon de noter ici que le bâtiment est récent (PEB B).

Les émissions des intrants représentent 14% des émissions globales de l'ECAM. 45% des émissions de GES des intrants est due aux assurances, services bancaires, conseils et honoraires. Le reste, comprenant machinerie, courriels, services, etc. représentent 55% de cette catégorie.

2.3. Plan de transition

À la suite de la collecte des données ayant permis la réalisation du bilan, tous les acteurs de l'ECAM ont été sollicités pour participer volontairement à un atelier de réflexion portant sur le sujet. L'atelier a permis de partager les résultats du BC® d'une part et de mobiliser les personnes présentes dans le but de définir un plan d'action vers un avenir durable pour l'ECAM.

Le plan de transition proprement dit est une synthèse des actions concrètes à entreprendre pour réduire l'emprunte carbone de l'ECAM. Le document se base sur les résultats des ateliers d'une part mais aussi sur des recherches plus approfondies des rédacteurs du présent article guidés par l'expertise de l'entreprise CO2 Strategy, spécialisée dans le domaine.

Le plan de transition comporte 11 fiches de projet, présentées par le Tableau 2, que l'établissement devrait mettre en application afin d'approcher la neutralité carbone. Les versions complètes des fiches renseignent une liste d'actions à réaliser, un facteur de réussite, un coût, une durée de mise en place, une personne de référence et un indicateur concret de progression de l'action.

Tableau 2 – Sommaire du plan de transition

	Titre	Amélioration potentielle du BC®
1	Promotion de la cellule développement durable (DD)	Incertain
2	Favoriser les trajets en train	7,5%
3	Exploitation de l'énergie solaire	2,5%
4	Diminution du chauffage	4%
5	Diminution de l'impact de la consommation d'électricité	1,2%
6	Politique d'achat durable	1,4%
7	Réduction du stockage informatique	0,2%
8	Kots ECAM	3,8%
9	Covoiturage	3,8%
10	Horaire durable (réduction maximale des trajets)	7,5%
11	Économie circulaire	1,4%

Si l'ensemble du plan de transition est correctement mis en pratique, l'ECAM peut s'attendre à voir ses émissions de GES diminuer de près de 25%. Certaines émissions sont malheureusement imposées à l'établissement. En effet, même si tous les acteurs de l'ECAM se déplaçaient exclusivement à vélo, le résultat des émissions de la catégorie « déplacement » ne serait toujours pas nul car certaines étapes de la vie d'un vélo émettent des GES notamment sa construction et sa mise au rebut/recyclage.

3. Pratique SlowHeat

Le système de chauffage actuel se base principalement sur l'augmentation de température de l'air dans le but de créer un climat artificiel dans l'ensemble du bâtiment. La quantité de chaleur gaspillée pour chauffer le réseau d'eau, les murs, le plafond, etc. est énorme. De ce fait, le rendement confort/consommation est dérisoire. Notre corps ne représente qu'une infime partie de ce qui est chauffé.

Les ressources ne permettant plus à un tel système d'être viable encore longtemps, il est nécessaire de changer les habitudes et de se diriger vers un système plus axé vers la sobriété tout en remettant l'individu ainsi que son ressenti au centre des pré-occupations.

3.1. Le confort thermique

Une fois le contexte posé, il est nécessaire d'avoir en tête les notions de confort thermique.

Le confort thermique traditionnel

Notre représentation du confort thermique induit inévitablement le choix de l'ambiance intérieure. Il se base sur le modèle établi par P.O. Fanger, expert en confort thermique. Le confort thermique s'appuie sur 6 paramètres : le métabolisme, le niveau d'habillement, la température ambiante, la température des parois, l'humidité relative de l'air et la vitesse de l'air.

Le confort thermique adaptatif

La notion de confort adaptatif apparaît dans les années 90 à la suite des recherches de deux experts en confort thermique, Brager et de Dear (de Dear & Schiller Brager, 2001). Ces recherches mettent en évidence le fait qu'une satisfaction en dehors de ces plages limitées est possible dans la mesure où l'occupant a des moyens de contrôler l'ambiance thermique. Cela rajoute donc le facteur d'adaptabilité de l'occupant au climat intérieur à sa satisfaction.

De ce fait, selon Brager et de Dear, les occupants s'adaptent en interagissant avec les solutions proposées par le bâtiment pour subvenir à leur inconfort. Les trois processus d'adaptation suivants sont décrits dans leur modèle :

- L'adaptation comportementale
- L'adaptation physiologique
- L'adaptation psychologique

3.2. Méthodologie SlowHeat

Cette pratique a été mise en place par un collectif de co-chercheurs du même nom sous l'initiative du Pr. G. Van Moeseke (Collectif Slowheat, 2021). Elle met en lumière le fait qu'il est alors possible de reprendre le contrôle sur la manière de se chauffer et d'en refaire une pratique à part entière à l'aide de systèmes de chauffage personnels. Ceci revient à diminuer la consommation d'énergie en diminuant la consigne de température pour ne pas chauffer le bâtiment inutilement et subvenir à nos besoins par des apports de chaleur ponctuels. Le principe SlowHeat s'axe sur 8 grands thèmes :

- Une libération de la pratique du chauffage
- Une rediscussion des normes de confort dans la société
- Une multiplication des manières de réchauffer les corps
- Une manière empirique de choisir les solutions
- Une consommation d'énergie maîtrisée et réfléchie
- Une consommation basée sur nos besoins et nos ressentis du moment
- Une préférence pour les moyens les moins énergivores
- Une mutualisation de la chaleur

Le facteur principal de cette réussite est l'adhésion des acteurs à ce nouveau mode de fonctionnement. La communication autour de ce projet est alors primordiale et les occupants du bâtiment doivent devenir des acteurs du projet grâce à des retours d'expérience.

3.3. Application à l'ECAM

Réaliser une expérience à l'ECAM sur la pratique dynamique SlowHeat a pour but de déterminer dans quelle mesure il est possible de garder la satisfaction des acteurs de l'école en diminuant la consommation d'énergie et donc en diminuant le BC® de l'ECAM. Le fait de réaliser une expérience limitée dans le temps, telle que présentée par la Figure 3, permet de voir réellement comment cette pratique peut être mise en place et comment les personnes y réagissent. Le but est également d'aborder une première fois la pratique SlowHeat en ayant en tête une date à laquelle cela s'arrête, permettant de limiter les craintes et donc les insatisfactions. Ensuite, les avis peuvent être écoutés, des améliorations peuvent être réfléchies et, fort de cette expérience, un plan définitif plus qualitatif peut être élaboré et mis en place.

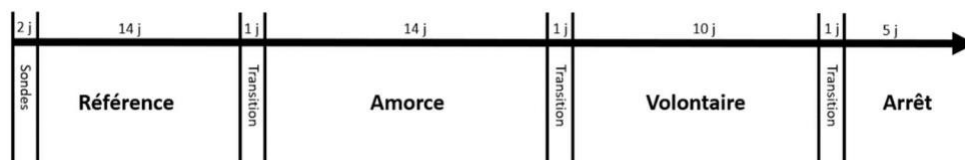


Figure 3 : Étapes expérience SlowHeat

L'objectif est de chauffer de manière plus dynamique, baisser la consommation d'énergie de l'ECAM tout en faisant attention à la satisfaction de ses acteurs. Il n'est donc pas question de couper complètement le chauffage central. Le chauffage central sert à maintenir une ambiance minimale (humidité, salubrité, normes) et à cette ambiance fraîche vient se rajouter l'utilisation des Personnel Comfort System (PCS). La manière de chauffer et le niveau de décret pour chaque type de locaux (auditoires, classes, bureaux, laboratoires, lieux de passage) ne seront pas les mêmes.

Une simulation des économies énergétiques sur une période d'un an a été réalisée. En prenant en compte la diminution de consommation de chauffe et la consommation supplémentaire engendrée par les systèmes de chauffage personnels (tapis de souris chauffants, siège chauffants et panneaux radiants), le bilan est une économie de 30% d'énergie de chauffage en descendant à 16°C pour les bureaux et laboratoires, 17°C pour les classes et auditoriums et 14°C pour les lieux de passage. En comparant cette économie énergétique et le bilan carbone, une diminution des émissions de GES et donc de l'impact de l'ECAM sur le réchauffement climatique globale de 47,23 tonnes de CO₂e peut être observée. Il s'agit d'une diminution de 20,6% des émissions dues au secteur de l'énergie et une diminution de 4% du bilan carbone total de l'ECAM. À titre de comparaison, il s'agit de l'équivalent en kg de CO₂e de 6 tours de la planète en avion pour une personne.

La diminution de consommation apporte des diminutions d'émission de GES, mais également des économies financières. Diminuer la consommation énergétique de l'ECAM de 30% représente une économie de 8362€ sur un an.

En comparant cette économie avec l'investissement pour l'achat des PCS, une estimation d'un temps de retour sur investissement de 18 mois est envisageable.

4. Installation photovoltaïque et gestion avancée de l'énergie

Cette partie présente l'étude d'une installation PV et développe les possibilités de réduction des émissions liées à la catégorie énergie du BC®

L'installation est étudiée sur base d'un modèle, pour l'ensemble du bâtiment de l'ECAM, qui prend en compte les consommations types d'énergie électrique, et d'énergie de chauffage, et simule une production type pour une installation PV. Le modèle permet de visualiser les possibilités et les limites de correspondance entre production et consommation d'énergie, et ce, heure par heure. L'objectif étant de maximiser cette autoconsommation. En effet, la surcharge du réseau électrique causée par l'abondance de petits producteurs d'énergie renouvelable couplée à une forte désynchronisation entre pic de consommation et pic de production rend la question de l'autoconsommation cruciale (y compris pour une école). A l'ECAM, la plus grande source de CO₂ de la catégorie énergie du bilan carbone est la production de chaleur via les chaudières à gaz. Il est donc pertinent de questionner l'utilité d'installer des Pompes A Chaleurs (PAC) pour assurer le chauffage des locaux. Plusieurs scénarios, basés sur différentes configurations techniques, sont étudiés pour traiter de la gestion de l'énergie à l'ECAM.

4.1. Méthode

Étude sur site : sur base des plans de la toiture du bâtiment (approximativement plate), un calepinage des panneaux est réalisé pour remplir la surface le mieux possible. Via cette méthode, un total de 200 panneaux pour la toiture Nord-Est et 120 pour la toiture Sud-Ouest est obtenu. La puissance de chacun des panneaux est prise à 350 Wp pour une puissance totale de 112 kWp.

Construction du modèle : le modèle décrit les tendances de consommation d'énergie en électricité et en chauffage (gaz). Les données se basent sur les relevés horaires des années précédentes pour l'électricité ainsi que sur les relevés mensuels pour le chauffage permettant de reconstruire (simuler via la méthode standard des degrés jours 15/15 adaptée en degrés heures sur base des variations horaires journalières de températures à Bruxelles) la consommation horaire en gaz. La production électrique se base sur un résultat obtenu par PVGIS, un outil de prévisualisation des ressources PV disponibles en fonction de la configuration de l'installation.

Exploitation du modèle : les possibilités d'autoconsommation pour différents scénarios sont évaluées en explorant de nouvelles manières de gérer l'énergie à l'ECAM en jouant notamment sur la délocalisation des serveurs informatiques et sur l'installation d'une pompe à chaleur.

4.2. Résultats

Il est important de rappeler que les serveurs localisés à l'école consomment une Base Load (BL) électrique mesurée à 20kW constante. La question de la délocalisation des serveurs est cruciale dans l'étude de son bilan énergétique, et de son BC® par extension. En effet, il pourrait être intéressant de délocaliser les serveurs chez un hébergeur neutre en carbone si cela est possible.

Résultats totaux mensuels : les productions électriques des panneaux solaire sont toujours inférieures aux consommations du mois correspondant, du fait de la BL. Avec 320 modules, l'ECAM pourrait produire 107 MWh annuellement, ce qui représente environ un tiers de sa consommation totale actuelle. Ces totaux n'ont pas d'autre réel intérêt que l'appréciation des ordres de grandeurs dans la mesure ou la puissance produite n'est pas systématiquement autoconsommée.

Résultats économiques de l'injection sur le réseau : à Bruxelles, le système de subsides permettrait de récolter 2,4 certificats verts par MWh injectés. Environ 257 certificats peuvent alors être vendus à minimum 65€ pièce pour un total de 16.743€/an. A cette comptabilité s'ajoute la compensation. Le prix fixé au kWh, par Engie pour le rachat de l'énergie injectée par l'école est d'environ 0,09 €/kWh (contre 0,18 €/kWh pour la vente d'énergie par le même fournisseur). L'ECAM réalise donc une vente de 2.199 € sur sa production annuelle (tarifs injection-compensation 2021).

Le total de l'opération génère un bénéfice annuel de 33.871 € en comptant les économies liées à l'autoconsommation. En revanche, si toute l'électricité produite était autoconsommée, l'école réaliserait un bénéfice total de 36.063 €.

Résultats sur le BC® de l'installation PV seule : ce scénario présente une amélioration de 2,1% du BC®. Ce résultat est globalement faible pour trois raisons. Premièrement, la part « énergies » du bilan total n'est que de 19,5%. Deuxièmement, ce scénario ne s'attaque qu'à la partie « électricité » qui ne représente que 31% des émissions liées à l'énergie. Pour rappel : la méthode BC® renseigne une empreinte de 38 gCO_{2e}/kWh pour le PV et de 220 gCO_{2e}/kWh pour le mixe énergétique belge actuel.

Le taux d'autoconsommation, d'environ 80% à l'ECAM, est élevé par rapport aux moyennes des installations domestiques (environ 30%). Ceci est dû au fait que l'ECAM consomme, avec ses serveurs, beaucoup d'électricité par rapport à ce qu'elle peut produire avec sa surface de toiture.

Résultats sur le BC® lorsque l'énergie excédentaire est utilisée par une à PAC et en délocalisant la BL : l'amélioration du BC® s'élève à 16,9% pour ce scénario. La production électrique couvre alors près d'un tiers de la consommation totale avec un taux d'autoconsommation moyen de 71%. La PAC peut alors contribuer à plus de 40% de l'autoconsommation durant certaines périodes de l'hiver.

Ce résultat se base sur les hypothèses (très optimales) suivantes :

- La chaudière au gaz naturel est remplacée par une PAC de coefficient de performance 3 (hypothèse du côté de la sécurité). La PAC tient compte de l'inertie thermique du bâtiment pour chauffer préférentiellement durant les périodes d'ensoleillement.
- Les serveurs sont gérés par une entreprise d'hébergement neutre en carbone.
- Le mixe énergétique belge passe des 220 gCO₂e/kWh actuels à 50 gCO₂e/kWh.

La question du stockage : si l'on considère le scénario avec la BL, un stockage court-terme de type batteries au lithium pourrait être une option permettant de maximiser l'autoconsommation. Malheureusement, cette solution n'apporte pas d'avantage, ni sur le plan économique, ni sur le plan écologique actuellement. En effet, un système de batteries ayant une capacité de 67 kWh engendrerait un surcoût de plus de 40.000€ et une augmentation nette des émissions de GES de près d'1,2 tonne de CO₂e.

Si l'on considère le scénario sans BL, un stockage saisonnier de très grande capacité serait idéal mais cette option est malheureusement inaccessible actuellement en raison du manque de maturité des technologies disponibles (paraffines, selfs fondus, hydrogène, etc.).

5. Conclusion

Le plan de transition réalisé comporte 11 fiches de projet. Si l'ensemble du plan de transition est correctement mis en pratique, l'ECAM peut s'attendre à voir ses émissions de GES diminuer jusqu'à près de 25%.

C'est grâce à une analyse systémique de l'environnement ECAM (dans notre cas via le BC® de scope 3) que des pistes de solutions innovantes peuvent être proposées, telles que le Slowheat qui est un changement de paradigme, et la combinaison PV-PAC qui permet d'allier des faiblesses respectives pour en faire une force. Des améliorations plus profondes peuvent être alors obtenues en parvenant à changer les habitudes de mobilité des acteurs de l'établissement.

Il est important de rappeler que la mise en œuvre d'un plan de transition dépasse le cadre économique et technique. L'une des principales recommandations de ce travail est la suivante : la réduction de l'impact carbone de l'ECAM commence par le changement de comportement de ses membres. En d'autres termes, il est crucial que l'école parvienne à mobiliser davantage ses acteurs. Cet objectif peut être atteint par un développement important de la communication et de la sensibilisation.

6. Sources

- [1] Wikipédia, «Réchauffement climatique,» 2023. [En ligne]. Available : https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9chauffement_climatique.
- [2] ADEME, «Base Carbone,» 2014. Corbeel, E. (2021). Comment intégrer le confort thermique dans la conception. Belgique.
- [3] R. d. D. & G. S. Brager, «The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment, » *International Journal of Biometeorology*, 2001.
- [4] E. Commission, «Photovoltaic Geographical Information System,» 01 03 2022. [En ligne]. Available: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/fr/. [Accès le 15 02 2023].