

Estimation des émissions de gaz à effet de serre par le « futur circular collider » du CERN

Dans ce texte, nous estimons les émissions de gaz à effet de serre (GES) dues au chantier du « futur circular collider » (FCC) et lors de la phase d'exploitation finale de l'ouvrage.

Nous distinguons entre :

- la phase de construction de l'ouvrage, subdivisée en la phase de l'excavation et stabilisation du tunnel et la phase de production et montage de l'équipement technique.
- la phase d'exploitation, où nous ne considérons que la phase finale à partir de l'an 2065, le FCC h-h avec la consommation maximale d'énergie, sans tenir compte des phases intermédiaires, moins gourmande en énergie.

Les émissions des GES lors du chantier du FCC:

Au stade de l'avant-projet, une estimation des émissions de CO₂ est forcément hasardeuse. De nombreuses données quant au chantier ne sont pas encore connues. Nous procédons donc ici seulement à une estimation grossière. Elle sera ensuite mise en perspective par rapport aux émissions du canton de Genève.

L'excavation et la stabilisation du tunnel.

Pour cette phase, l'estimation est assez précise, car il existe plusieurs travaux de référence.

Un travail de fond sur le tunnel du Brenner fournit un facteur d'émission pour la excavation et sécurisation de tunnels au moyen d'un tunnelier, en fonction du volume de l'excavation¹. En se basant sur plusieurs objets, l'auteure articule un facteur d'émission entre 0.16 à 0.17 t CO₂eq par m³ d'excavation. L'auteure précise que 84% de ces émissions sont dues à la fabrication du béton et de l'acier pour la stabilisation. Le reste est partagé entre l'exploitation du chantier, fonctionnement du tunnelier et pour un pour cent au transport du matériel d'excavation². Pour notre considération nous avons appliqué le facteur de 0.16 t CO₂eq / m³ de matériel d'excavation.

¹ Julia Sauer : « Ökologische Betrachtungen zur Nachhaltigkeit von Tunnelbauwerken der Verkehrsinfrastruktur » Thèse de doctorat, TU München, 2016 ; p96.

<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1295092/1295092.pdf>.

² Idem, p. 25.

Le volume d'excavation du FCC est estimé à 9 millions de m³. En appliquant le facteur d'émission mentionné il en résulte 1'440'000 t CO₂ eq

Selon une autre source, nous avons calculé un facteur d'émission plus faible, soit 98 kg/m³ d'excavation⁴. En appliquant ce facteur on trouve 882'000 t CO₂ eq.

S'agissant seulement d'estimations grossières, nous avons compté avec la moyenne de ces chiffres, soit **1'161'000 t CO₂eq** pour l'excavation et stabilisation, sans essayer d'élucider la cause de la différence des facteurs d'émission.

L'équipement technique

Le programme de l'équipement technique n'est pas encore connu en détail. Il s'agit d'estimer la masse et la composition des installations, ainsi que le facteur d'émission pour la production de tout ce matériel. A cela s'ajoutent les émissions du chantier d'installation.

Sans connaissance des détails de l'ouvrage il nous est impossible d'estimer l'émission de GES voire la consommation d'énergie pour la production des installations techniques. Notamment la fabrication des bobines niobium-étain est extrêmement complexe et l'établissement d'un bilan carbone même approximatif demande une étude approfondie.

Pour donner une idée de l'ampleur de l'ouvrage nous faisons une estimation très grossière.

La masse totale à refroidir à 2 K, appelée « cold mass » est bien documentée.⁵ Elle sera de 230'000 t. Nous estimons la masse du matériel tempérée au double de cette masse froide. Comme intensité carbone nous prenons l'intensité carbone d'acier neuf, uniformément pour tous les matériaux, soit 2,211 tCO₂eq/ t d'acier⁶. Il s'agit cependant probablement d'une sous-estimation énorme.

³ CERN : FCC-ee: The Lepton Collider Future Circular Collider Conceptual Design Report Volume 2 p 439 (<https://link.springer.com/content/pdf/10.1140/epjst/e2019-900045-4.pdf>)

⁴ Rafael Rodríguez, Fernando Pérez : Carbon foot print evaluation in tunneling construction using conventional methods, Tunnelling and Underground Space Technology Volume 108, February 2021, 103704.

⁵ CERN : FCC-hh: The Hadron Collider Future Circular Collider Conceptual Design Report Volume 3 p915, (<https://link.springer.com/content/pdf/10.1140/epjst/e2019-900087-0.pdf>)

⁶ ADEME Bilans GES : <https://bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/liste-element/categorie/267>

En résumé :

Libellé	valeur	remarque
Cold mass	230'000 t	Selon source mentionné
Masse tempérée	460'000 t	= 2 * cold mass (estimation)
Masse totale	690'000 t	
Facteur d'émission	2,211 tCO ₂ /t acier	Selon ADEME pour acier neuf 2018
Émission CO ₂ (arrondi)	1'500'000 t CO ₂ eq	= masse totale * facteur d'émission

Total des émissions du chantier de l'ouvrage

La somme des deux composantes des émissions de GES du au chantier, soit 1'161'000 plus 1'500'000 CO₂eq se chiffre donc à au moins **2'661'000 tonnes CO₂eq**, dont à peu près la moitié est due au creusement du tunnel et surtout à sa stabilisation par le béton armé. Cette estimation est extrêmement grossière et minimaliste. Son objectif est seulement d'illustrer le gigantisme de l'ouvrage.

Emission de GES pendant la phase d'exploitation

L'exploitation du FCC tombe dans une période de pénurie d'énergie européenne voire mondiale, dû surtout au renoncement à l'emploi d'énergie d'origine fossile. C'est une phase où il faut revoir les priorités. L'ajout d'un très gros consommateur comme le FCC nécessite forcément au renoncement d'autres consommations.

Les 3 types d'analyse de cycle de vie:

Selon Frischknecht et al.⁷ Il convient de distinguer entre 3 types d'analyse de cycle de vie :

- 1) l'approche par attribution : pour lequel l'emploi de facteurs d'émission comme on les trouve sur le site ECOINVENT ou ADEME est adéquate.
- 2) l'approche par conséquence : pour des projets de grande envergure, qui risquent de modifier les conditions de fourniture de l'énergie. Dans ce cas il faut considérer l'influence de l'ouvrage sur l'ensemble du réseau électrique. Il faut modéliser le système de production et distribution de l'électricité et étudier alors les émissions du GES causées par le projet.
- 3) l'approche décisionnelle qui s'applique à des choix de politique énergétique. Si l'installation demande une modification de la législation, il faut étudier l'impact dans le cadre de la modification de la loi ou de la réglementation.

Le FCC se situe clairement dans le type 2, voire type 3, du fait qu'il demande une législation particulière. Une estimation des émissions de GES générés par l'installation n'est donc pas possible avec l'approche par la méthode de facteurs d'émission. Nous ne disposons pas de modèles applicables pour estimer l'influence du FCC sur le réseau d'approvisionnement en électricité de la région. En absence d'un tel modèle, l'estimation des émissions de GES est donc impossible.

Dans un avenir lointain, on peut s'imaginer des conditions d'abondance d'énergie renouvelable. Dans ce cas, en effet, notre opposition contre cette installation se justifie moins (il reste néanmoins l'émission des gaz F).

Si l'estimation de l'ordre de grandeur des émissions de GES du au creusement du tunnel est encore possible, car il existent plusieurs projets similaires dans le monde (tunnels ferroviaires et autoroutiers), tel n'est pas le cas ni pour la fabrication des installations techniques, ni pour la phase d'exploitation de l'installation. Il s'agit de la plus grande installation de ce genre dans le monde. Avant de se lancer dans l'estimation de la quantité de GES émis, il faut se poser la question de savoir comment on produit l'énergie électrique nécessaire pour la réalisation de ces deux éléments du projet.

On peut émettre de vagues hypothèses : l'installation de gigantesques champs de récolte de nouvelles énergies renouvelables (photovoltaïques ou éoliennes), exploitation géothermique de grande profondeur, etc. La nouvelle nomenclature

⁷ Rolf Frischknecht & Matthias Stucki « Scope-dependent modelling of electricity supply in life cycle assessments » Int J Life Cycle Assess, https://www.researchgate.net/publication/225744339_Scope-dependent_modelling_of_electricity_supply_in_life_cycle_assessments

européenne permet même la construction de nouvelles centrales nucléaires ou à gaz, pour autant qu'on attribue au projet ce degré de priorité nécessaire. Dans tous ces cas de figure l'énergie produite manquera pour la consommation de première nécessité dans la population.

Mis à part de l'émission des GES par la production de l'électricité il y a encore une émission directe sur place (scope 1) composée de CO₂ et des gaz réfrigérants. En 2020 l'émission du CERN était de 98'997 tCO₂eq.⁸ Une valeur plus typique est de 2018 : 192'100 t CO₂eq.⁹ Nous pensons que ces émissions doubleront avec la FCC à 384'200 t CO₂eq.

Faute de mieux, et pour montrer l'ordre de grandeur, nous appliquons la méthode de l'approche par attribution, en utilisant le facteur d'émission de l'UE de 229 gCO₂/kWh, car le CERN est alimenté par le réseau européen^{10 11 12}. En version finale, en 2065, le FCC consommera 4000GWh /an^{13 14}. Il en résulte une émission annuelle de 922'800 tCO₂/an. A cela s'ajoute l'émission directe sur place ce qui donne 1'307'000 t CO₂eq/an

Résumé et discussion

Nous estimons l'émission de GES due au **chantier** à au moins **2'661'000 tonnes CO₂eq** ce qui correspond presque deux fois à l'émission annuelle due aux fossiles du canton de Genève (en 2020, gaz, mazout, carburant, sans aéroport 1'395'000 tonnes de CO₂)¹⁵. Pour compenser cette émission de CO₂ il faudrait alors renoncer à tout chauffage par gaz et mazout et à l'ensemble des déplacements motorisés non électrique pendant deux ans.

Pendant la **phase d'exploitation** de l'installation il est impossible de articuler l'émission de GES car le facteur d'émission de GES pour l'électricité dans l'avenir est inconnu. Pour fixer les idées, en appliquant les facteurs d'émission pour l'électricité de l'UE, on peut articuler le chiffre de **1'307'000 tCO₂/an**. Ce chiffre correspond 93 % des émissions en CO₂ du canton de Genève en 2020

⁸ <https://hse.cern/fr/rapport-environnement-2019-2020/emissions>

⁹ <https://hse.cern/fr/rapport-environnement-2017-2018/emissions>

¹⁰ <https://home.cern/fr/science/engineering/powering-cern>

¹¹ <https://www.eea.europa.eu/ims/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>

¹² Le réseau français a une intensité carbone beaucoup plus faible que celui de l'UE car leur mix contient beaucoup de courant d'origine nucléaire (source <https://www.statista.com/statistics/1190067/carbon-intensity-outlook-of-france/#statisticContainer>).

¹³ https://www.noe21.org/_files/ugd/ffb10e_c4d14b859b88413f9c3b79610afebbcc.pdf

¹⁴ FCC-hh: The Hadron Collider Future Circular Collider Conceptual Design Report Volume 3 <https://link.springer.com/content/pdf/10.1140/epjst/e2019-900087-0.pdf> p. 993

¹⁵ OCSTAT, https://statistique.ge.ch/infographies/08/08_02/info_energie_2020.pdf

Pendant cette phase, le problème n'est pas l'émission des GES, mais la fourniture de l'électricité : 4000 GWh/an correspond à une puissance de 460 MW en permanence. C'est la puissance d'une petite centrale nucléaire (Pour comparaison : Beznau I et Beznau II 365 produisent MW chacune), ou le double du projet photovoltaïque de 5 km² à Grengiols (VS)¹⁶.

¹⁶ « work » 3 septembre 2022. <https://www.workzeitung.ch/2022/09/hier-entsteht-grengiols-solar/>