

Avis d'une administrée de Chavelot

Synthèse de la contribution

Le secteur aérien consomme en France chaque année 7,1 millions de tonnes de kérosène, mais ne représente que 5% des émissions de CO₂ du secteur des transports.

La production annoncée par le projet serait de 81 kt de kérosène par an ce qui représente environ 1% de la consommation annuelle du secteur aérien en France.

Dans cette contribution, je me concentrerai sur le process de la production d'hydrogène, de méthanol, puis de kérosène par la voie du méthanol-to-jet.

Mes propos seront étayés par différentes thèses, la publication d'un groupe de chercheurs de l'université de Hambourg, les conclusions du rapport diagnostic du SCoT des Vosges Centrales de 2021 et notamment l'objectif du scénario TEPOS, ainsi que les recommandations du SDAGE Rhin-Meuse entre autres.

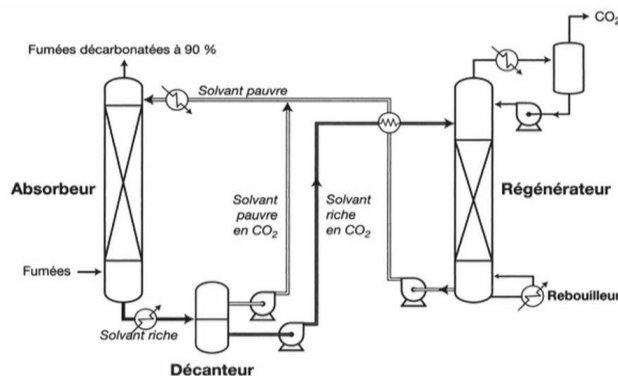
J'analyserai les consommations en eau et en électricité, et, formulerai des conclusions en rapport avec le territoire vosgien.

Ce document est une synthèse de l'étude que j'ai menée pour la compréhension globale du projet Ep'HyNE.

1. Les étapes du process

1.1. Le captage du CO₂ en post-combustion

Le principe repose sur l'utilisation d'une colonne d'absorption (absorbeur), permettant de séparer le CO₂ des autres constituants gazeux à l'aide d'un solvant chimique et une colonne de régénération (régénérateur), permettant à la fois la récupération du CO₂ gazeux et la régénération du solvant. La pureté des fumées influent sur les réactions chimiques avec les solvants les plus couramment utilisés : des amines.

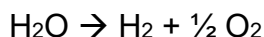


Dans les différentes publications scientifiques, je n'ai pas trouvé d'éléments chiffrés concernant les consommations énergétique et en eau. Je ne pourrai pas les intégrer aux calculs des rendements du process.

L'utilisation d'amines soulève des questionnements sur l'impact environnemental et les risques sanitaires liés à la dégradation des amines. Ce sujet sera traité dans un paragraphe spécifique.

Dans le cadre du projet Ep'HyNE, les fumées proviennent des chaudières de la papeterie Norske Skog Golbey NSK et de Green Valley Energie GVE.

1.2. L'électrolyse de l'eau

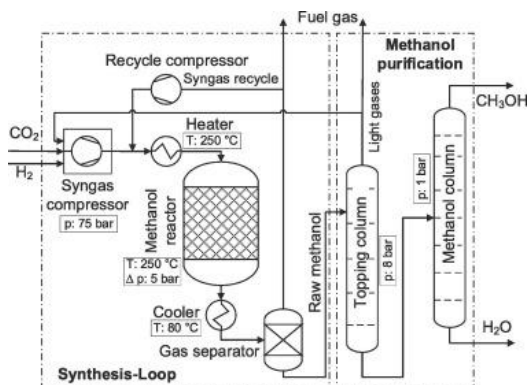
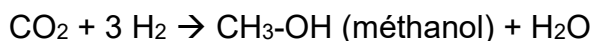


L'électrolyse de l'eau est un procédé électro-chimique qui consiste à faire passer un courant électrique entre deux électrodes (anode et cathode) plongeant dans un électrolyte (KOH). La molécule d'eau est alors décomposée en deux gaz hydrogène H_2 et oxygène O_2 . Ce procédé est énergivore.

	H_2O	H_2	O_2
masse par an	432 kt	48 kt	384 kt

1.3. La synthèse du méthanol

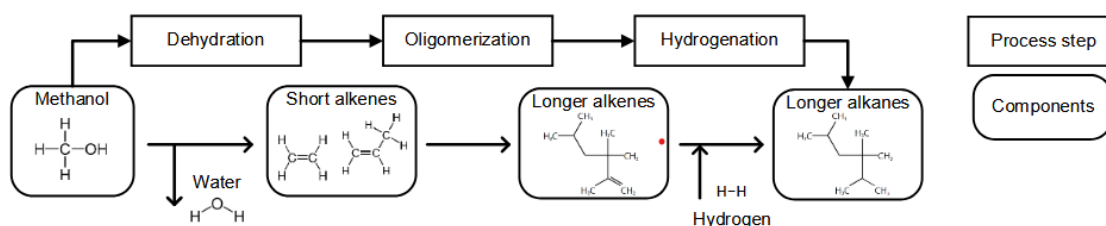
La synthèse du méthanol est généralement réalisée dans une plage de température et de pression de 200 à 300 °C et de 40 à 100 bars. Il se produit plusieurs réactions chimiques. La réaction est catalysée par des oxydes de cuivre CuO et de zinc ZnO et stabilisée avec des oxydes d'aluminium Al_2O_3 et de chrome Cr_2O_3 .

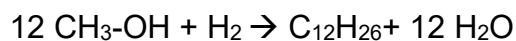


	CO_2	H_2	$\text{CH}_3\text{-OH}$	H_2O
masse par an	334 kt	45 kt	243 kt	136 kt

1.4. La synthèse des hydrocarbures

La synthèse du kérosène à partir du méthanol est complexe et passe par plusieurs étapes résumées ci-dessous. Sont regroupées sous le terme kérosène les alcènes ayant de 8 à 16 carbones. Lors des réactions chimiques sont aussi synthétisées des molécules de naphta et de diesel.

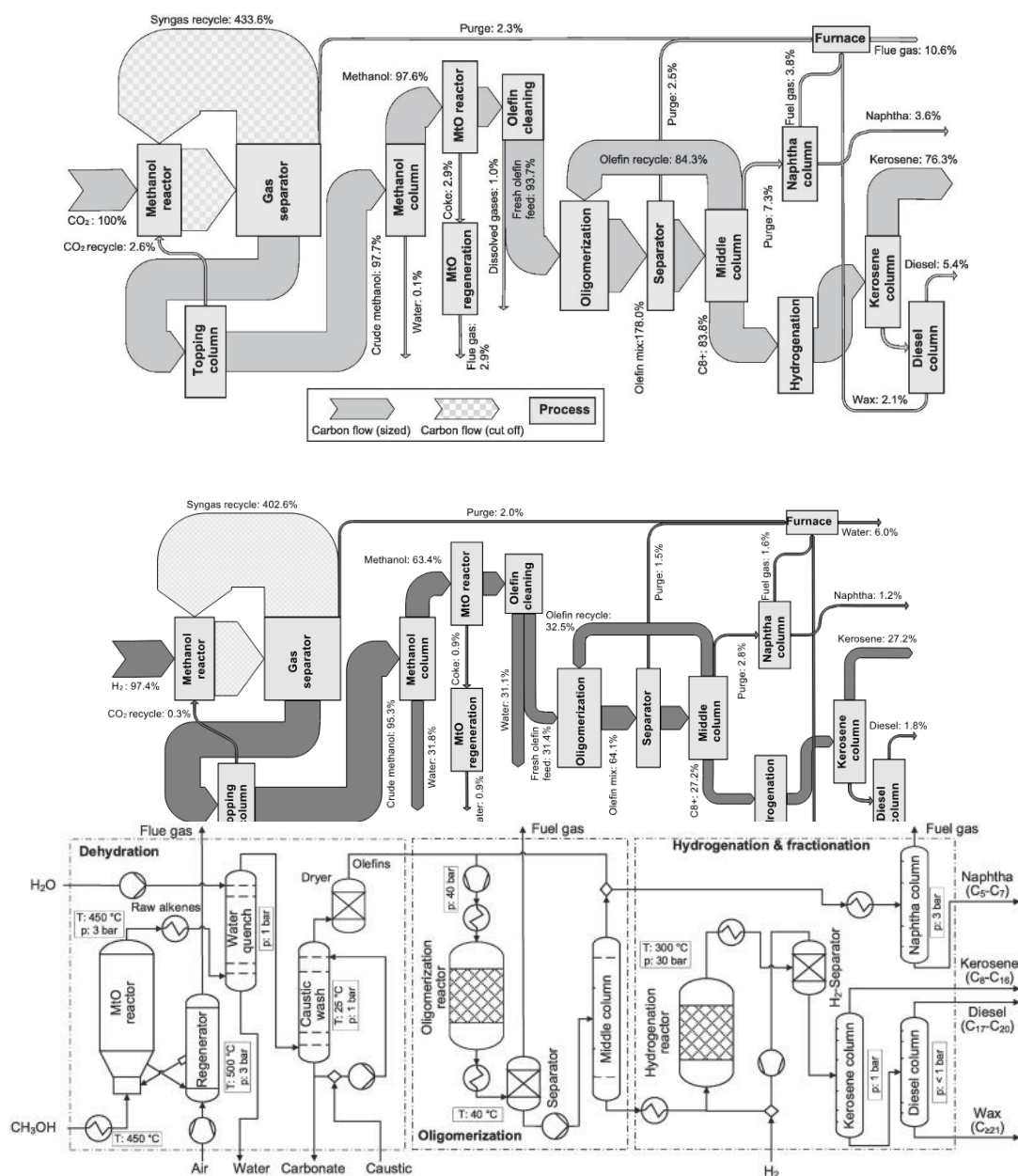




	CH ₃ -OH	H ₂	C ₁₂ H ₂₆	H ₂ O
masse par an	243 kt	1 kt	108 kt	136 kt

Conclusion : Les valeurs annoncées (334 kt de CO₂ et 48 kt de H₂) sont cohérentes au regard du process.

2. Les rendements du process pour la synthèse du kérosène



- CO₂ : rendement capture, synthèse 76,3%
- H₂ : rendement hydrolyse 80%, synthèse 27,2%

	CM	Moles	Masse kt	Masse kt réelle
--	----	-------	----------	-----------------

C ₁₂ H ₂₆	1	476.471	81	81
CO ₂	1,31	5.717.652	228	298
H ₂	4,59	6.194.118	12	57
H ₂ O	4,59	6.194.118	111	511

CM Coefficient multiplicateur corrigé en fonction des rendements

Masses molaires moléculaires:

C₁₂H₂₆ 170 g/mol, CO₂ 44 g/mol, H₂ 2 g/mol, H₂O 18 g/mol

Conclusion : Si on considère les différents rendements du process, pour produire 81kt de kérozène, il faudrait capter 298 kt de CO₂ des chaudières et prélever 511 kt d'eau (pour produire 57 kt de H₂). Auxquels s'ajouteraient 30 kt de CO₂ et 51 kt d'eau pour la synthèse des autres hydrocarbures.

3. La consommation d'eau et son impact environnemental local :

Equation bilan du process



	H ₂ O	CO ₂	H ₂	C ₁₂ H ₂₆	O ₂
Kt/an	108,6	265,6	1	85,5	289,6

Dans le dossier de la concertation préalable, vous annoncez le prélèvement d'eau de **180 m³/h** avec une consommation nette de **100 m³/h**. Ces données ont été complétées dans une réponse sur la durée du temps de travail, à savoir **8300** heures par an.

Ainsi ce sont 1.494.000 m³ d'eau qui seront prélevés dans le milieu naturel. Ce prélèvement est supérieur à la production annuelle de l'usine d'embouteillage d'eau minérale Nestlé Waters à Vittel (1,3 milliards de bouteilles par an).

Selon l'INSEE la consommation moyenne d'eau est de 100 litres par jour par personne, soit 36,5 m³. Le prélèvement d'eau correspond à la consommation de 40.931 personnes soit plus que la population d'Epinal (35.000 personnes).

Ce prélèvement viendra s'ajouter à tous les prélèvements industriels, agricoles et domestiques sur l'agglomération d'Epinal. Avec une différence notable : une consommation nette de 830.000 m³. La part d'eau transformée, en molécules d'hydrogène (que l'on retrouve dans les hydrocarbures) et en molécules d'oxygène (qui partent dans l'atmosphère) disparaît définitivement du territoire.

En conclusion : Ce sont presque **110.000 m³** d'eau qui disparaissent définitivement du territoire car ils se retrouvent dans les molécules des hydrocarbures produits. Soit l'équivalent de **45 piscines olympiques** !

Depuis plusieurs années, on observe une baisse notable des chutes de neige en hiver, et une augmentation des périodes de sécheresse en été. Le département est, tous les étés, placé en restriction hydrique, par arrêté préfectoral, avec obligation pour les habitants de respecter les heures d'arrosage et l'interdiction d'utiliser l'eau pour certains usages (ex le nettoyage des véhicules). Se priver pour produire du kérozène !

« La préfecture a décidé de placer les différents bassins (Moselle amont et Meurthe, Saône amont, Meuse amont) vosgiens à ce premier niveau d'alerte depuis ce lundi 2 juin jusqu'au 31 août 2025. »

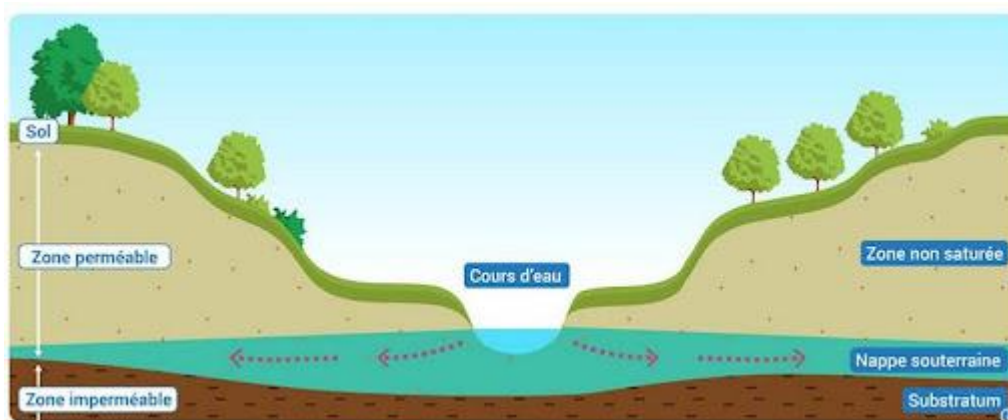
L'hydrologue Emma HAZIZA explique que seulement 10% de l'eau de pluie retourne dans la nappe (26% ruisselle et 64% repart dans l'atmosphère par évaporation et

évapotranspiration). Pour compenser la perte d'eau d'une nappe il faut dix fois plus d'eau de pluie.

« Sauf s'il coule dans un sol totalement étanche, un cours d'eau est en relation permanente avec la nappe alluviale qui imprègne les terrains sédimentaires situés au fond de sa vallée. En réalité, le cours d'eau et la nappe d'accompagnement constituent une seule masse d'eau qui s'écoule de l'amont vers l'aval, mais plus lentement quand l'eau se trouve dans la nappe alluviale.

En outre, le niveau du cours d'eau et celui de la nappe peuvent varier l'un par rapport à l'autre :

- Si le niveau de la nappe alluviale est situé au-dessus du niveau des eaux de surface, l'eau circule en direction du cours d'eau.
- Si le niveau de la nappe est situé en-dessous du niveau des eaux de surface, l'écoulement des eaux se fait en sens inverse, ce qui fait remonter le niveau de la nappe. »



Ainsi, le niveau d'eau dans la rivière influence le niveau d'eau dans sa nappe alluviale. L'assèchement des sols peut créer un désordre sur les constructions de surface. Ce phénomène nous l'avons observé sur le canal des Vosges : les périodes de chômage modifient la pression de l'eau sur les parois du canal et entraînent des glissements du terrain attenant.

Le village de Chavelot est construit sur la nappe alluviale de la Moselle. On dénombre un certain nombre de fontaines et de puits dans le village, en lien direct avec la nappe souterraine. Une baisse de la nappe pourrait déstabiliser les sols et tarir les sources.

Je ne peux que m'interroger sur l'incidence de ces prélèvements d'eau sur la stabilité des sols du village, la pérennité de la forêt et le tarissement de la source de la Fougère.

Conclusion : La Moselle est une rivière qui peut être traversée à gué en été. On ne peut pas résumer un prélèvement à un débit d'étiage, il faut aussi tenir compte de la hauteur d'eau. Le prélèvement supplémentaire en eau dans la nappe alluviale de la Moselle est en totale contradiction avec les 53 mesures pour l'eau du plan d'action pour une gestion résiliente, sobre et concertée de la ressource en eau (mars 2023), la mesure 21 du Plan National d'Adaptation Climatique du 10 mars 2025 et le SDAGE Rhin-Meuse.

Questions : Quelle quantité de polluants (Cu, Zn, Al et Cr) provenant de l'électrolyse, méthanol et hydrocarbures (dont des paraffines) se retrouveront dans les boues et l'eau d'une éventuelle station de traitement des effluents ? Ce point essentiel n'est pas abordé dans le dossier.

J'ai refait les calculs et je ne comprends pas comment vous aboutissez à une consommation nette de 100 m³/h. Pourriez-vous m'apporter une réponse ? Que deviennent ces 100 m³/h d'eau ?

4. La consommation électrique :

La consommation électrique des électrolyseurs industriels est généralement de 4,5 kWh/Nm³ d'hydrogène produit. L'alimentation minimale en eau d'un électrolyseur est de 0,8 L/Nm³ d'hydrogène produit. En pratique, la valeur réelle est proche de 1 L/Nm³.

La consommation électrique est donc de 4,5 kWh/L d'eau. Ainsi pour électrolyser les 511 kt d'eau, il faudra 2,3 TWh d'électricité.

Si on tient compte du document de synthèse du projet Ep'HyNE, la consommation énergétique totale du process se répartit en 7/8 ième pour l'électrolyse et 1/8 ième pour la synthèse. Ainsi la consommation totale s'élèvera à plus de 2,6 TWh d'électricité.

Selon le rapport de diagnostic du SCoT des Vosges Centrales, de mars 2021, la consommation toutes énergies confondues est de 5,5 TWh dont 1,8 TWh d'électricité (850GWh pour le tissu industriel).

Conclusion : 2,6 TWh d'électricité correspondent à la moitié de la consommation totale toutes énergies confondues de tout le territoire des Vosges Centrales et multiplierait par 2,4 la consommation électrique du territoire.

Toujours selon le rapport « On constate par ailleurs, que les Vosges Centrales ne disposent pas d'un potentiel susceptible de couvrir les besoins énergétiques du territoire s'il ne les réduit pas. L'objectif du scénario TEPOS pour 2050 est que 100% de ces besoins soient satisfaits par une électricité d'origine renouvelable. »

Il me semble qu'avec le projet Ep'HyNE nous soyons bien loin de la réduction de la consommation énergétique du territoire et encore plus loin de la promesse de l'autosuffisance énergétique. « Territoire à énergie positive à l'horizon 2050. »

Sachant que 1 m² de panneau photovoltaïque produit en moyenne 274 kWh par an, quelle surface faut-il prévoir pour compenser les 2,6 TWh ? Il faudrait installer 9,5 millions de m² de panneaux solaires soit 950 hectares. Ce qui représente près de 1,5 fois la surface de la commune de Chavelot (616 ha). Mais cela représente aussi un cinquième du parc photovoltaïque français (11,6 TWh) en 2025.

Conclusion : Si on extrapole, pour synthétiser 35% de kérozène à horizon 2050, il faudrait multiplier par 7 le parc photovoltaïque français, ou couvrir trois cinquièmes de la région Grand-Est.

Nous pourrions aussi imaginer produire cette énergie en brûlant du bois. Un m³ de bois vert produit 1760 kWh. La forêt vosgienne (310.000 ha, 1,8 % des forêts métropolitaines) représente 73 millions de m³ de bois sur pied. La production biologique annuelle moyenne d'une forêt est de 5,4 m³/ha. La forêt vosgienne pourrait produire 2,85 TWh d'électricité ce qui couvrirait les besoins du projet EP'HyNE.

Il est à noter que cette consommation de la ressource bois viendrait s'ajouter aux autres usages du bois (BO 50% - BI 25% - BE 25%) qui soutiennent l'économie locale. Au total ce serait 400% de la production biologique annuelle qui serait consommée et la forêt ne pourrait plus croître. Le projet EP'HyNE serait alors producteur de CO₂.

5. Les rejets atmosphériques

5.1. Les odeurs

La monoéthanolamine MEA est un composé toxique à l'odeur d'ammoniaque. Les hydrocarbures ont des odeurs. La station d'épuration si elle est mal gérée sera potentiellement émettrice d'odeurs de soufre. L'odeur d'hydrogène sulfuré (œuf pourri) est régulièrement observée à proximité de la papeterie NSK. Il y aura donc deux sources d'émission possible.

5.2. Les produits de dégradation des amines

La composition des fumées de la chaudière de la papeterie NSK est connue. L'arrêté préfectoral autorise des valeurs limites en $\text{NO}_x = 146 \text{ ppm}$, $\text{SO}_2 = 26 \text{ ppm}$. Celle de la chaudière GVE n'est pas encore connue.

Les amines peuvent réagir dans le processus ou dans l'atmosphère après l'émission pour former de nouvelles substances qui peuvent être plus nocives que l'amine mère elle-même. Les impuretés des gaz de combustion telles que les NO_x , le SO_2 , etc., peuvent réagir avec les amines formant des produits de dégradation, qui sont libérés dans l'atmosphère au niveau de l'évent de l'absorbeur. Ces produits sont des cancérogènes probables : nitramines, nitrosamines, formaldéhyde, acétaldéhyde et des composés organiques volatiles comme le benzène, le toluène...

L'éventuelle commission de suivie du site devra être vigilante et exiger que des analyses en continu soient effectuées en sortie de l'évent de l'absorbeur, pour un certain nombre de molécules chimiques à définir.

5.3. Les gaz produits à chaque étape du process

Ces gaz (méthane, éthylène, propène ...) représentent 13,4% du rendement carbone, ce qui n'est pas négligeable car ils représentent une émission de 14 kt dans l'atmosphère. La solution technique couramment mise en place dans l'industrie pétrolière est de les brûler grâce à une torchère.

Le projet se situant à proximité immédiate de la forêt communale de Chavelot, on peut se poser la question de la maîtrise du risque incendie.

6. Les nuisances sonores

La somme de toutes les émissions sonores liées aux entreprises implantées sur le site créera un bruit de fond permanent.

L'assemblage et la circulation des trains de transport du kérozène depuis la plateforme multimodale devrait ponctuellement générer du bruit surtout la nuit.

7. Le risque électromagnétique

Quel impact de la présence d'une ligne très haute tension sur la santé des riverains et sur la faune environnante ?

Conclusion

Produire du kérozène à partir du CO_2 est déraisonnable en termes de consommation énergétique biogénique ou renouvelable, de consommation d'eau. Se posera la question de la viabilité sur le long terme de cette industrie. Nous n'avons pas abordé la notion des coûts de production qui induiront une augmentation du prix des billets et une baisse d'attractivité des déplacements en avion.

Pour rappel, pour produire 2,7 millions de tonnes de e-SAF, nécessaire à l'autonomie de l'aviation française en 2050 il faudrait consommer :

- 100 TWh d'électricité par an, soit la production de 12 EPR
- 39 millions de mètres-cubes d'eau par an, un quart de la consommation industrielle actuelle ou de la consommation du sixième de la population

Tout ça pour économiser un tiers de 5% du CO₂ total émis par les transports !

Quant au calcul du bilan carbone, il s'avère compliqué car il faudrait tenir compte de la construction de la ligne haute tension, de la plateforme multimodale, du site VERSO Energie, du transport des hydrocarbures, du flux des employés... L'économie de 200.000 tonnes de CO₂ annuelle est à confirmer.

Pour compléter mes propos en remplaçant les véhicules thermiques (qui représentent la moitié des émissions de CO₂ du secteur du transport) par des véhicules électriques on éviterait 1.167.000 tonnes de CO₂ (cinq fois plus que le projet Ep'HyNE) tout en consommant la même quantité d'énergie électrique.

- Une voiture électrique consomme en moyenne 17 kWh/100 km et produit 100 g de CO₂/km
- Une voiture thermique produit en moyenne 220 g de CO₂/km
- 2,6 TWh d'électricité équivalent à 15,3 milliards de kms parcourus par des véhicules électriques
- 15,3 milliards de kms équivalent à 1,8 millions de tonnes de CO₂ économisés
- Bilan $(1.835 - (334 \times 2)) \times 10^3 = 1.167.000$ tonnes de CO₂ économisés

<https://theses.hal.science/tel-02955503/file/TH2019MahiMohammedRidha.pdf>

<https://tore.tuhh.de/entities/publication/f34ac963-f5c4-4178-a40a-75a724c89a15>

<https://www.innovation24.news/2023/06/09/electrolyse-principe-et-rendement/>

<https://mypower.engie.fr/conseils/panneaux-solaires/caracteristiques-panneaux-solaires/quelle-est-la-production-d-un-panneau-solaire-en-kwh-pour-1-m2.html>

<https://www.edf.fr/groupe-edf/comprendre/production/solaire/solaire-photovoltaïque-en-chiffres>

https://fibois-grandest.com/wp-content/uploads/2019/11/Etude_FB_-Insee_GE.pdf

<https://draaf.grand-est.agriculture.gouv.fr/memento-de-la-filiere-foret-bois-du-grand-est-a2524.html>

https://foret.ign.fr/IGD/fr/indicateurs/3.1_90,8

https://hautsdefrance-normandie.cnpf.fr/sites/socle/files/cnpf-old/133_t_20hd_1.pdf

<https://sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610211002232>

<https://agirpourlatransition.ademe.fr/particuliers/bureau/deplacements/calculer-emissions-carbone-trajets>