

All electric vs ouverture technologique

une analyse de la situation

Christian Bach

Chef du Laboratoire Sources d'Energie Chimiques et Systèmes pour Véhicules

Législation UE sur les émissions de CO₂ des poids lourds

Seules les émissions de réservoir à roue sont prises en compte

Catégories concernées:

"Tous" les véhicules motorisés lourds



Exemple de calcul pour une flotte de camions neufs: (dans l'UE)

Conso. moyenne: 32 l/100km

Charge utile moyenne: 12 t

Émiss. CO₂ moyenne : 70 g/tkm

Objectif 2025 (-15%): 60 g/tkm

2030 (-45%): 40 g/tkm

2035 (-65%): 25 g/tkm

2040 (-90%): 7 g/tkm



Sanction en cas de non-conformité:

- 4000 EUR par g/tkm (à partir de 2025)

- 6800 EUR par g/tkm (à partir de 2030)

Remarque:

Les camions à combustion H₂ sont considérés comme des véhicules zéro émission si les émissions de CO₂ sont <3 g/tkm.

L'introduction d'un facteur de correction du carbone (pour les biocarburants et les e-fuels) sera examinée en 2027.



D'où vient l'énergie renouvelable?

D'où vient l'énergie renouvelable?

De sources locales et étrangères

**Sources d'énergie
chimiques renouvelables**
- Hydrocarbures synthétiques
(méthane, kérosène, diesel, essence)



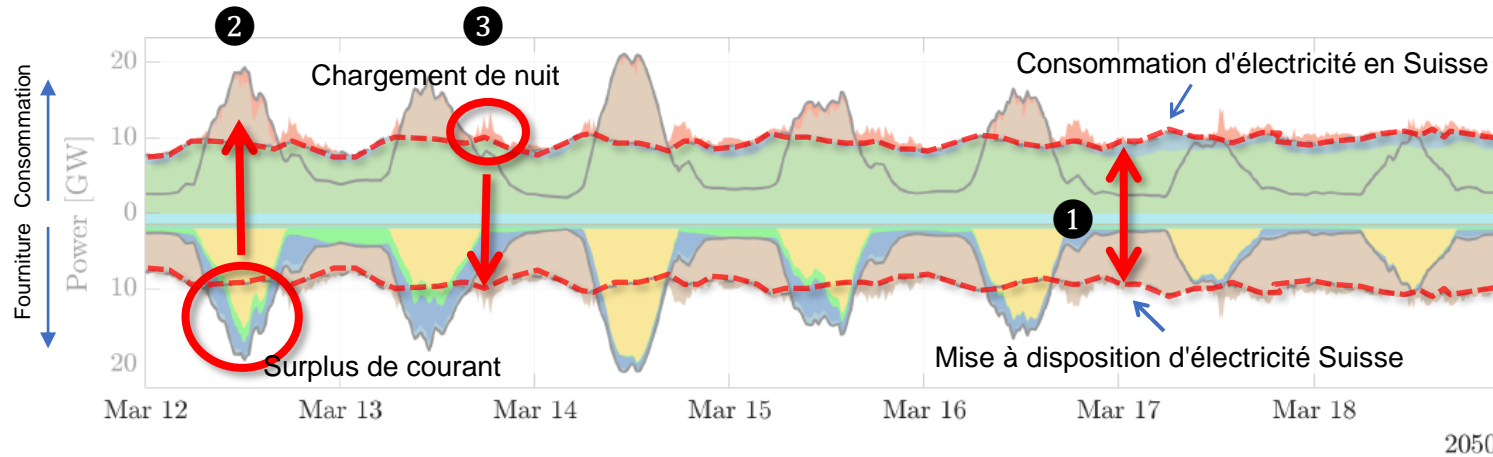
Énergie **électrique** renouvelable

- Hydroélectricité
- Photovoltaïque
- Énergie éolienne

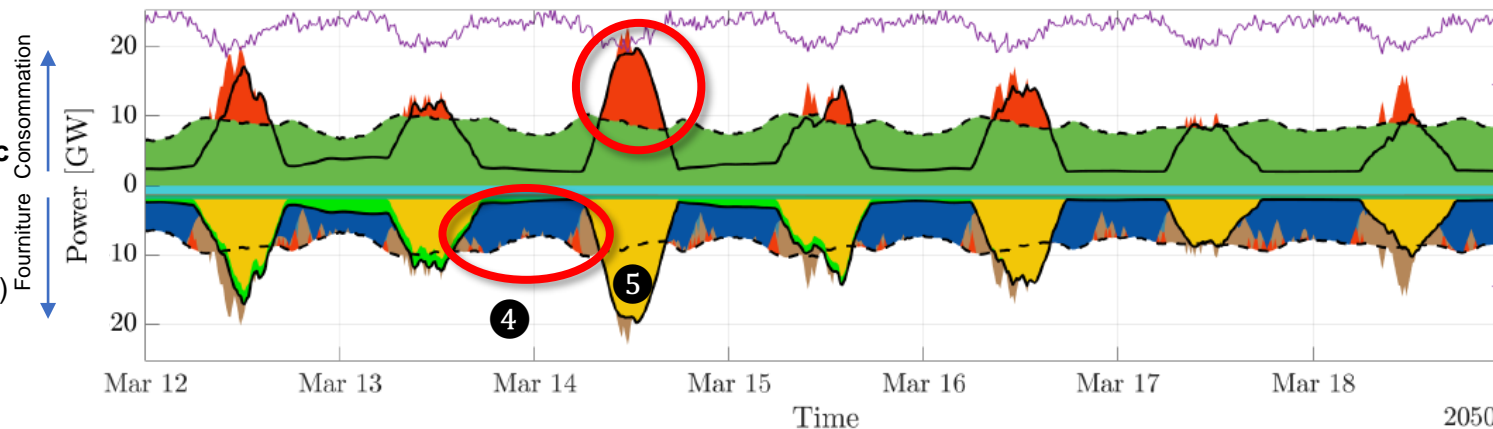
Énergie renouvelable locale

Changement de moteur ou transformation utile pour le système

Chargement
incontrôlé



Chargement
contrôlé en
combinaison avec
l'optimisation de
l'énergie
hydraulique
(valeurs idéalisées)



«Tournant de la propulsion» ☹️

- 1 La fourniture et la consommation d'électricité doivent être équilibrées à tout moment.
- 2 L'électricité excédentaire doit être exportée (représentée ici), transformée ou régulée.
- 3 La recharge nocturne peut augmenter le besoin en électricité importée (est potentiellement de l'électricité fossile).

«Transformation au service du système» 😊

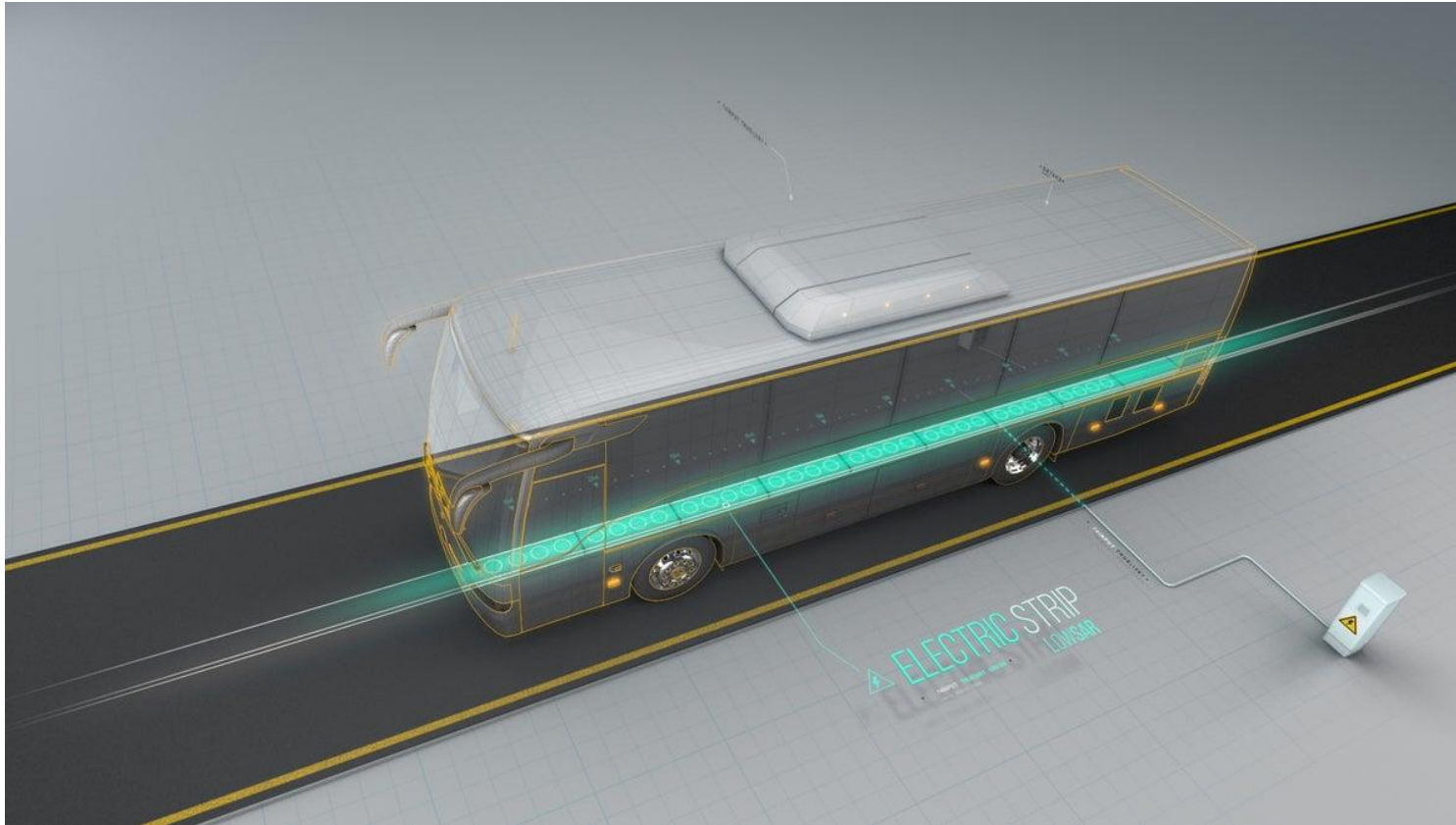
- 4 La nuit, l'électricité produite par les batteries des BEV peut être utilisée pour alimenter les ménages en électricité (et pour alimenter la voiture).
- 5 Charge des BEV pendant la journée.

Source:

Di Natale L. et al; The Potential of Vehicle-to-Grid to Support the Energy Transition: A Case Study on Switzerland; Energies (2022)

Perspective : chargement dynamique (pendant le trajet)

Charge pendant la journée, petites batteries



En collaboration avec Cablex et Cargo Sous Terrain, le chargement dynamique (pendant le trajet) doit être appliqué pour la première fois en Suisse dans le cadre d'un projet de démonstrateur.

D'où vient l'énergie renouvelable?

De sources locales et étrangères

Sources d'énergie **chimiques renouvelables**

- Hydrocarbures synthétiques
(méthane, kérosène, diesel, essence)



Énergie **électrique** renouvelable

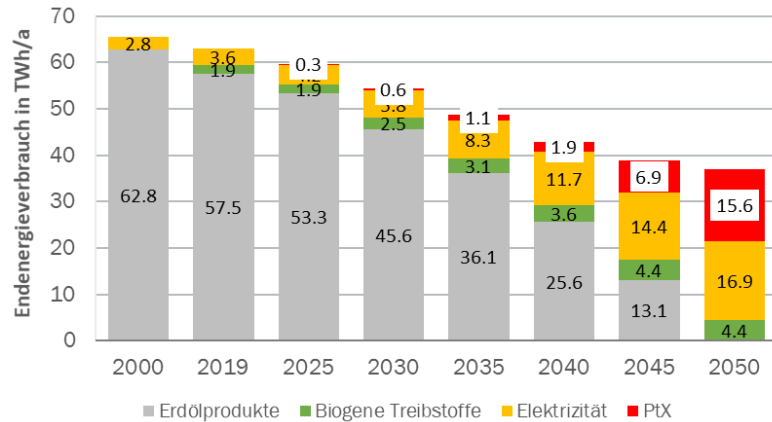
- Hydroélectricité
- Photovoltaïque
- Énergie éolienne

Décarbonation des transports et de l'industrie

Perspectives énergétiques 2050+ de l'OFEN

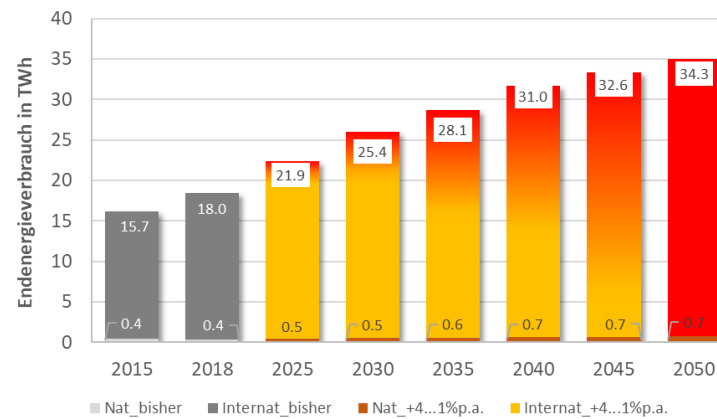
Trafic routier

Besoin en PtX : 16 TWh_{th}/a d'ici 2050



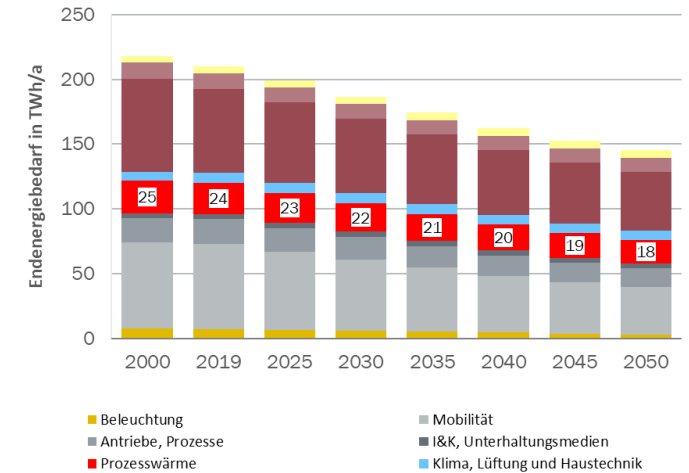
Trafic aérien de CH (national + international)

Besoin en PtX : >30 TWh_{th}/a d'ici 2050



Chaleur industrielle en CH

Besoin en PtX : 18 TWh_{th}/a d'ici 2050



Source : OFEN Perspectives énergétiques 2050+, scénario "ZERO Base".

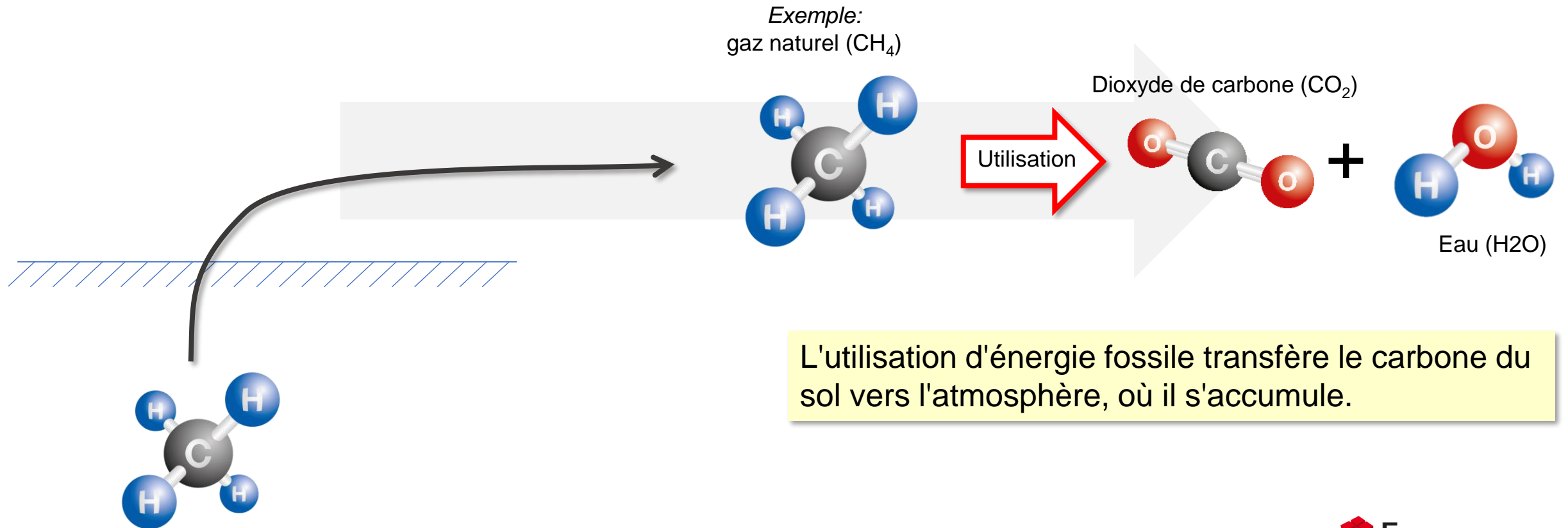
Source : Inventaire GES de l'OFEV ; à partir de 2020 : +4 ... 1%p.a.

Source : OFEN Perspectives énergétiques 2050+, scénario "ZERO Base".

Pour que les transports routiers et aériens et les processus industriels à haute température passent entièrement aux énergies renouvelables, il faut **20 TWh d'énergie électrique renouvelable** et **30 à 60 TWh de sources d'énergie chimique renouvelables** (colorées en rouge ci-dessus).

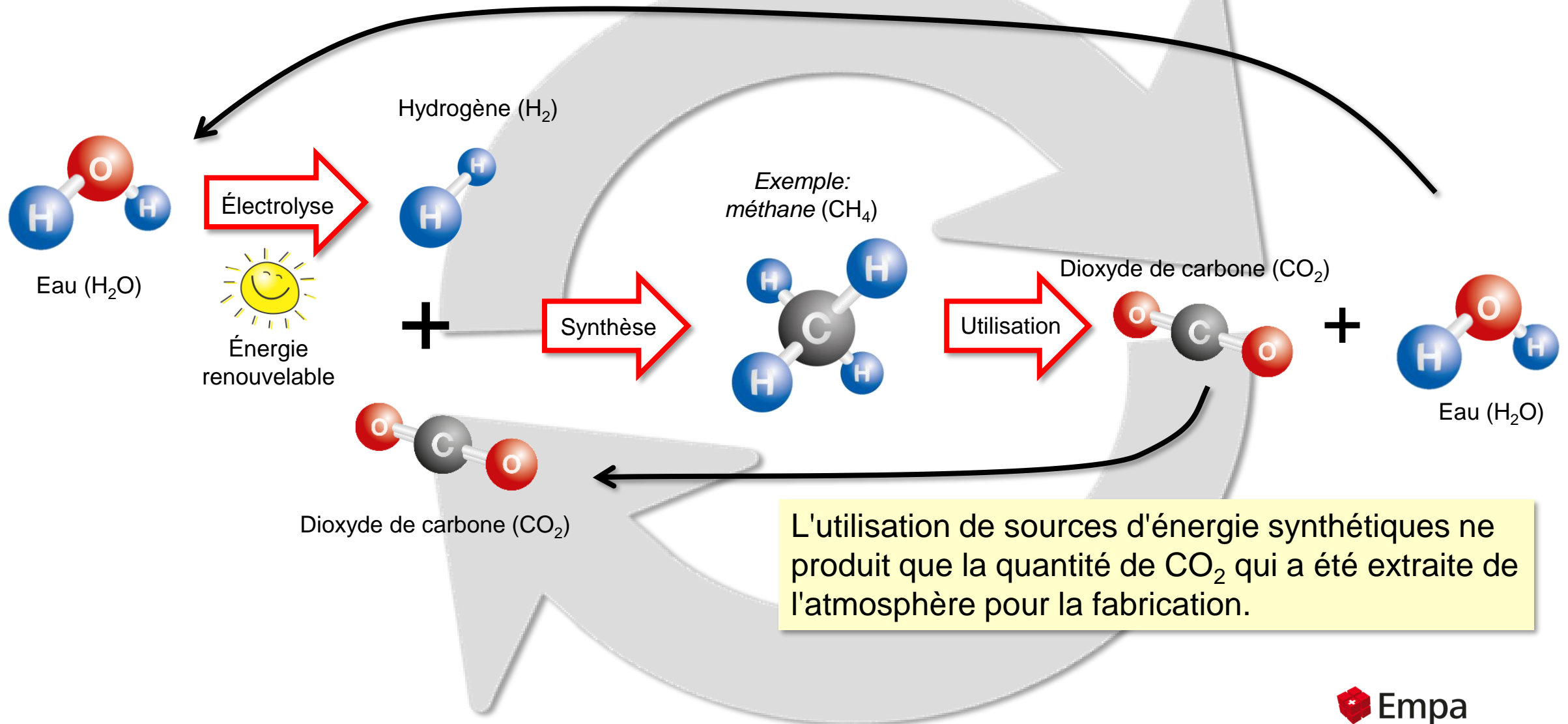
Que sont les énergies fossiles?

Sources d'énergie **fossiles** avec transfert linéaire de carbone dans l'atmosphère



Que sont les sources d'énergie synthétiques?

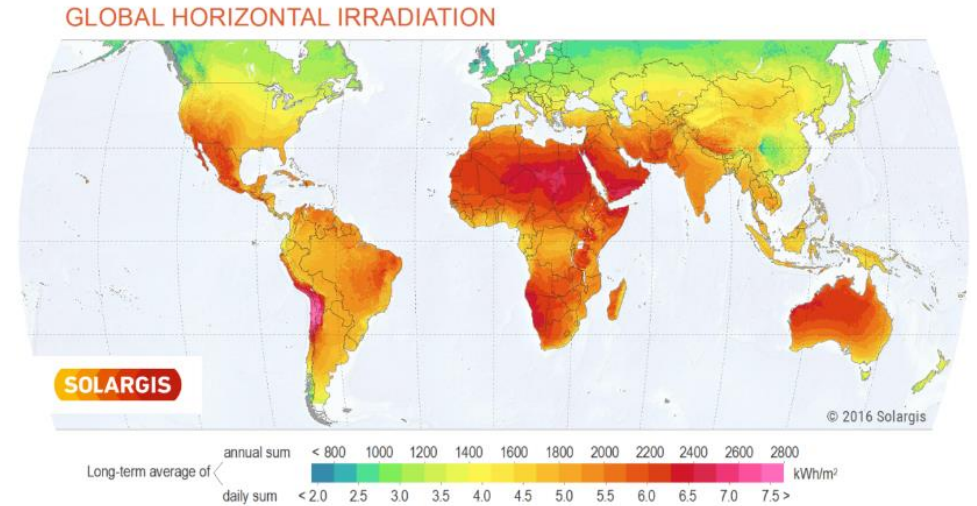
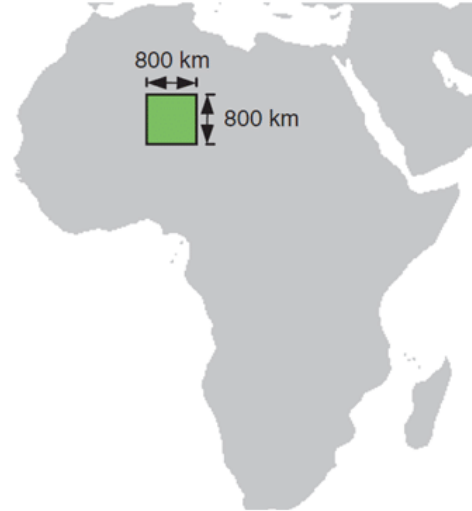
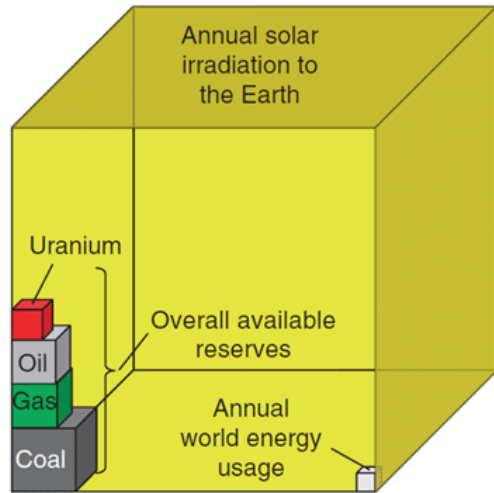
Sources d'énergie synthétiques avec utilisation circulaire du CO₂ (et de l'eau)



L'utilisation de sources d'énergie synthétiques ne produit que la quantité de CO₂ qui a été extraite de l'atmosphère pour la fabrication.

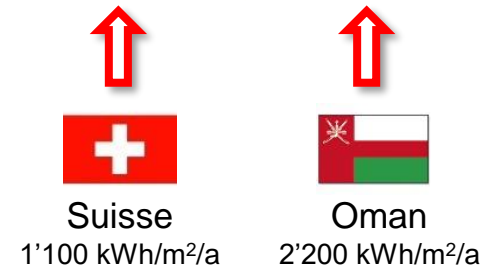
Que sont les sources d'énergie synthétiques?

Le monde n'a pas de problème d'énergie (mais un problème de CO₂)



Le soleil "envoie" chaque année beaucoup plus d'énergie (solaire) sur la terre que ce dont le monde n'aura jamais besoin.

Source: Burlafinger Klaus; Development of a High Irradiance Setup for Precisely Controlled Accelerated Photo-Degradation of Organic Solar Cells; Doktorarbeit Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (2020)



D'immenses surfaces inutilisées et un doublement de l'ensoleillement dans la ceinture solaire.

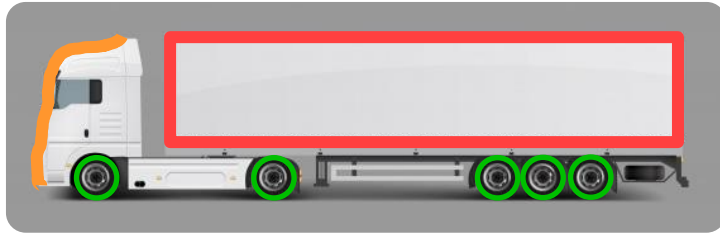
A high-angle, nighttime photograph of a severe traffic jam on a multi-lane road. Numerous cars of various colors are packed closely together, filling the frame. Their headlights are on, creating a bright, hazy glow that illuminates the wet pavement. In the lower right foreground, a large, multi-story bus is visible, partially cut off by the frame. The overall scene conveys a sense of congestion and urban traffic challenges.

Transformation de la flotte

Détermination de la consommation réelle des camions

Objectif: les émissions de CO₂ comme paramètre de disposition

Paramètres du véhicule

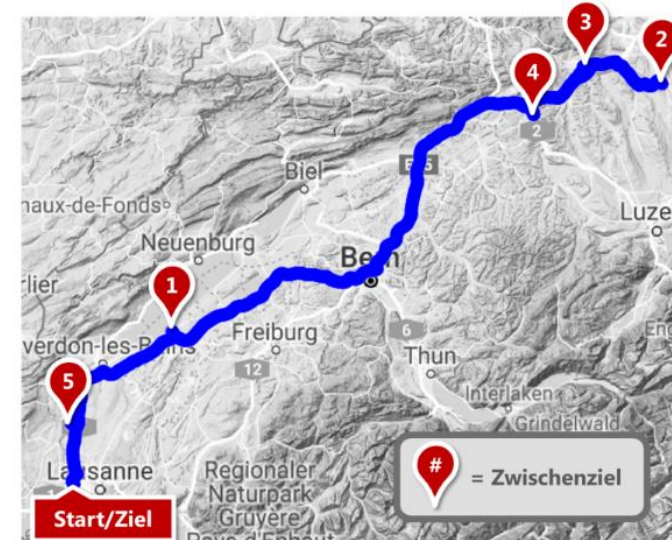


Les résistances suivantes doivent être surmontées par la force motrice pour accélérer un camion:

- Résistance à l'air F_L :
$$F_L = \frac{1}{2} \cdot c_w \cdot \rho \cdot A \cdot v^2$$
- Résistance au roulement F_R :
$$F_R = \mu \cdot m \cdot g$$
- Résistance à l'accélération F_B :
$$F_B = m \cdot \frac{dv}{dt}$$
- Résistance à la pente F_A :
$$F_A = m \cdot g \cdot \sin(\alpha)$$

c_w = coefficient de traînée; ρ = densité de l'air; A = zone frontale; v = vitesse; μ = coefficient de résistance au roulement; m = masse du véhicule; t = time; g = gravité; α = pente; M_{mot} = couple; i_G = rapport de démultiplication; i_D = rapport d'essieu; η = l'efficacité; r_{Rad} = Roue motrice à rayon

Informations sur l'itinéraire



Exploitation des données SIG

- Profil topographique
- La signalisation routière est utilisée pour calculer le profil de vitesse hypothétique

Détermination de la consommation réelle des camions

Calcul des émissions de CO₂ et du TCO en fonction de l'itinéraire et du véhicule individuel

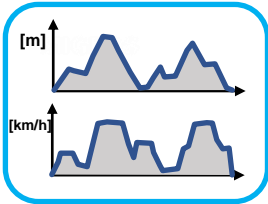
Paramètres du véhicule

Amortissement ▪
y compris les futurs modèles de prix



- **Système d'entraînement** (puissance max., rendement)
- **Source d'énergie** (pouvoir calorifique, émissions en amont)
- **Configuration du véhicule** (masse du véhicule, surface frontale, coefficients de résistance à l'air et au roulement, etc.)

Informations sur l'itinéraire



- **Données SIG** (segments de 10 à 30 m)
- **Profils d'altitude, de vitesse**
- **Conditions environnementales** (température, pression atmosphérique, ...)

Fret et manutention du fret

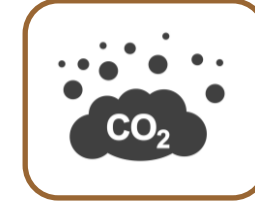
Possibilités chargement et remplissages en route



- **Charge utile** (nombre de palettes ou charge utile détaillée)
- **Lieux de déchargement**

Calcul des émissions de gaz à effet de serre

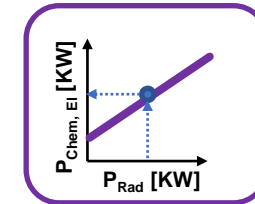
Calcul du TCO ▪
Amortissement/Intérêt
OPEX
Modèles de RPLP ▪



- **Calcul des émissions directes de gaz à effet de serre** (Tank/Battery-to-wheel)
- **Calcul des émissions de gaz à effet de serre en amont** (Well-to-Tank/Battery)

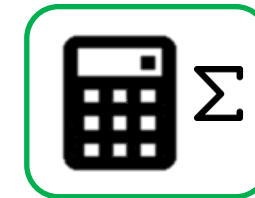
Calcul de la consommation réelle

Prix de l'énergie ▪
Prix des colonnes
Coûts énergétiques ▪
y compris les taxes



- **Conversion de la puissance des roues en puissance chimique ou électrique**
- **Récupération et niveau de charge de la batterie** (pour les propulsions hybrides et électriques)

Calcul de la distance parcourue



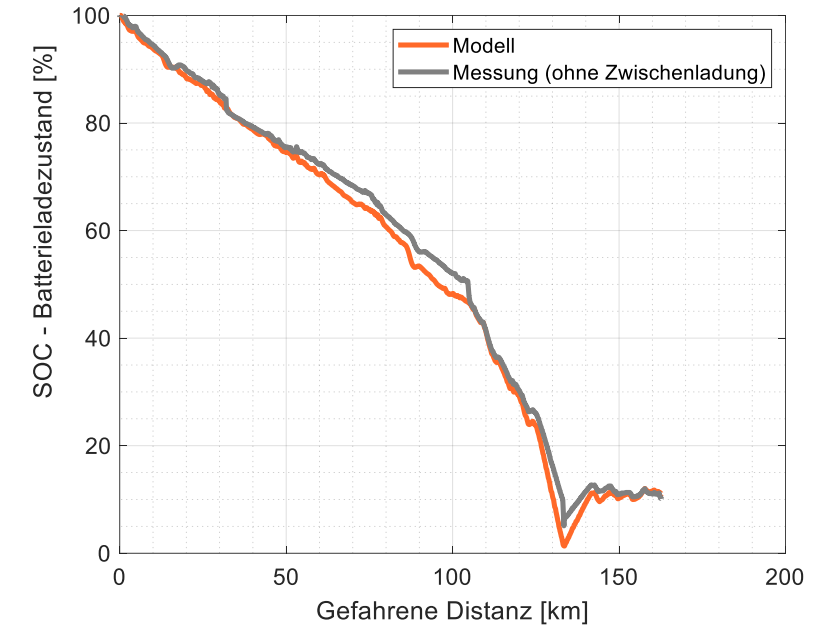
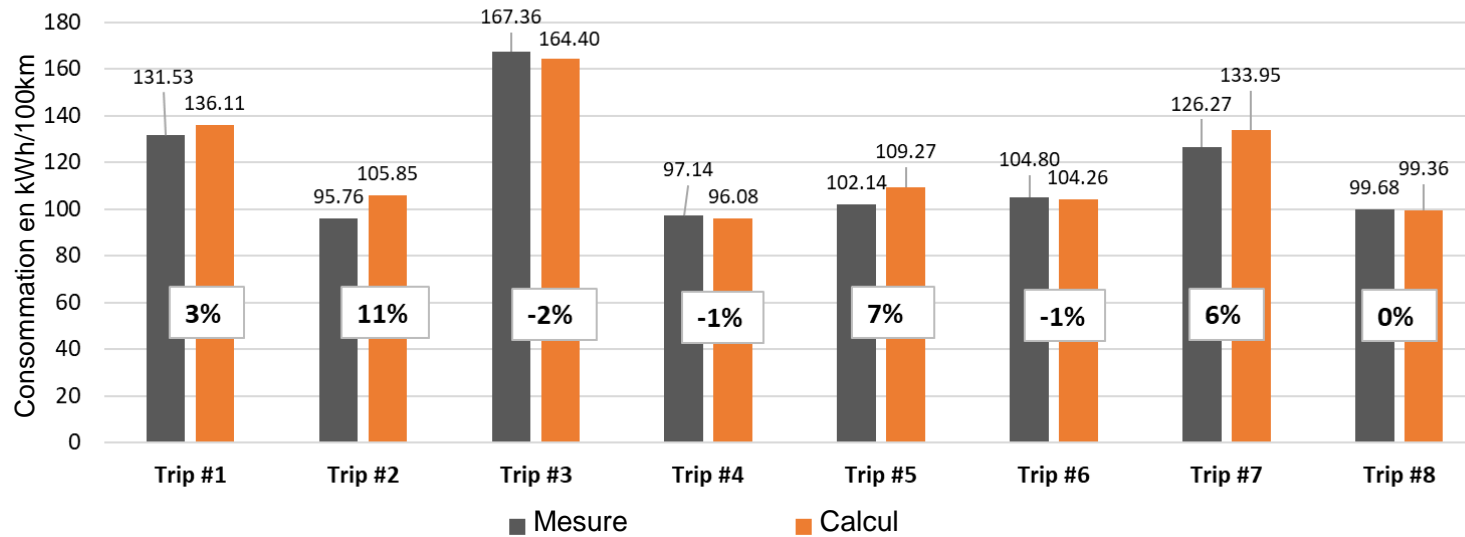
- **Puissance des roues par segment**
- **Puissance des équipements auxiliaires** (refroidissement, chauffage, etc.)



Détermination de la consommation réelle

Validation

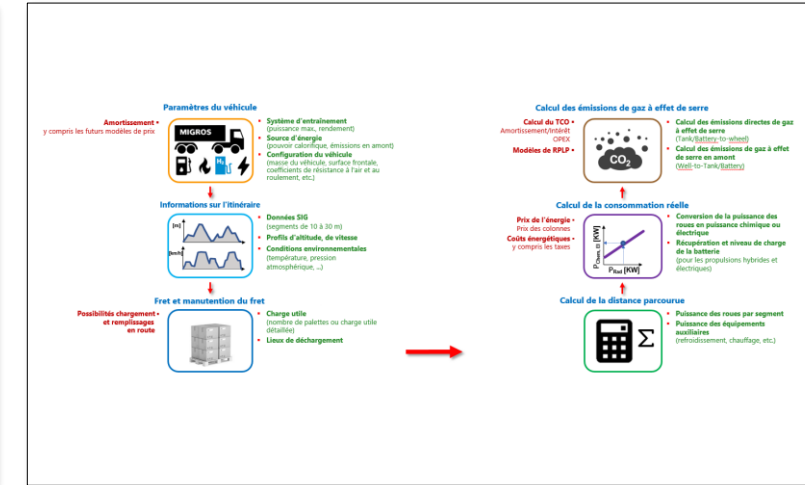
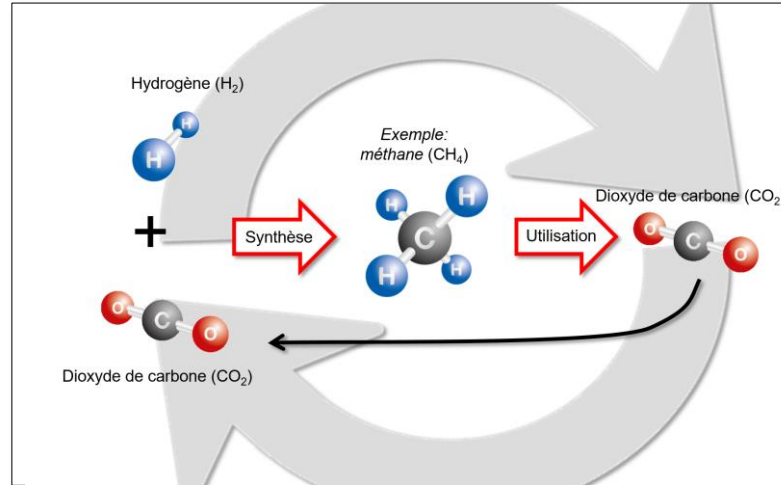
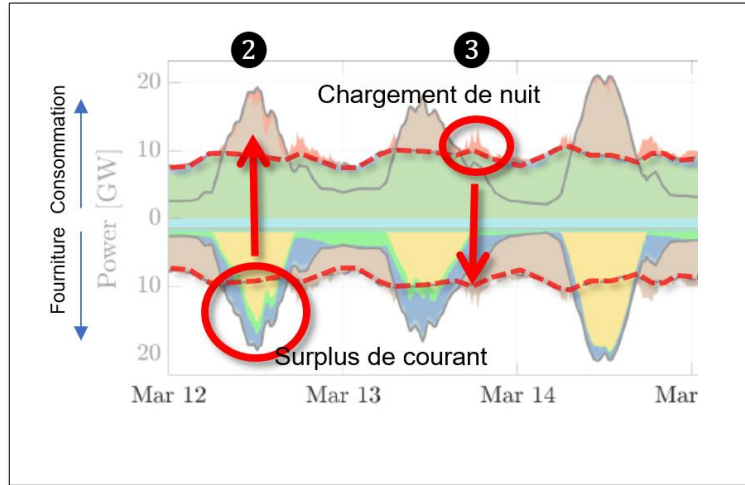
Mesure et calcul de la consommation sur des camions électriques sur différents itinéraires



- Les valeurs de consommation réelles varient de $\pm 30\%$ par véhicule pour différents trajets (raison pour laquelle les modèles de moyenne sont difficilement applicables), mais peuvent être déterminées avec une précision de $< \pm 10\%$ (souvent $< \pm 5\%$) grâce à la présente approche.
- L'approche est en cours de développement pour la mise au point de concepts de chargement et de ravitaillement.

Résumé

L'approche ouverte technologique offre plus de possibilités de protection du climat!



Nous devons le faire "correctement"! Un simple changement de propulsion peut ne pas permettre de réaliser d'importantes économies de CO_2 .

Si l'on parvient à coupler la consommation d'énergie avec la production d'énergie renouvelable, les voitures électriques peuvent permettre de réaliser d'importantes économies supplémentaires de CO_2 .

Les carburants synthétiques présentent une utilisation circulaire du CO_2 . Il est toutefois essentiel que l'hydrogène soit produit de manière renouvelable.

Les carburants synthétiques ne sont pas produits en Suisse et probablement pas non plus en Europe, mais dans la ceinture solaire. Il y a là d'énormes quantités d'énergie renouvelable non utilisée.

La transformation durable des flottes de véhicules est très exigeante.

Les concepts de transformation basés sur des logiciels permettent de minimiser les risques et les coûts et de maximiser la réduction des émissions de CO_2 .

Merci beaucoup pour votre attention!

Merci aux collègues : Dr Miriam Elser
Philippe Zimmermann
Dr Florian Kiefer

En cas de questions :
christian.bach@empa.ch

