

Zeitschrift: Technique agricole Suisse

Herausgeber: Technique agricole Suisse

Band: 82 (2020)

Heft: 11

Artikel: Vraies alternatives ou naïveté?

Autor: Hunger, Ruedi

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1085451>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 05.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>



Quel sera l'avenir de l'essence et du diesel ? Le RigiTrac « SKE 50 » à l'électricité est en route. Photo: Knüsel

Vraies alternatives ou naïveté ?

Depuis des décennies, les moteurs à combustion constituent des fournisseurs fiables d'énergie d'entraînement, pour les machines agricoles également. Les effets indésirables, du diesel en particulier, appellent à chercher d'autres systèmes d'entraînement. L'optimisme, c'est bien, mais gare aux faux espoirs !

Ruedi Hunger

Dès les débuts de la mécanisation de l'agriculture, l'on cherchait le système d'entraînement idoine. Le moteur à combustion s'est ensuite imposé pour des décennies. Cependant, ce type de moteur a pour caractéristique que l'énergie cinétique passe inéluctablement par la production de chaleur, dont une grande partie est inutilisée et s'échappe dans la nature.

Le diesel: bouc émissaire

Le moteur diesel est actuellement la technologie prédominante des véhicules et des machines agricoles mobiles. Il se distingue par la formation d'un mélange interne au-

to-explosif. Le moteur diesel, le plus efficace des moteurs à combustion actuels, se caractérise par ses performances élevées. Afin de réduire la pollution engendrée par la combustion, les constructeurs ont « pris des mesures internes et externes ». A l'intérieur du moteur, ils ont optimisé la chambre de combustion, adapté de manière ciblée le processus d'injection et la recirculation des gaz d'échappement (EGR). Les systèmes de post-traitement des gaz d'échappement font partie des développements apportés à l'extérieur des moteurs. Ils consistent en des catalyseurs d'oxydation diesel (DOC), des filtres à particules diesel (FAP) et de la « selective catalytic reduc-

tion » ou catalyseur SCR. Le tableau 1 récapitule les éléments apportés à l'intérieur et à l'extérieur des moteurs.

Evaluation des objectifs atteints

En dépit de toutes les critiques, la réduction des émissions réalisée au cours des vingt dernières années doit être reconnue. Par exemple, un tracteur (70 kW) de l'an 2000 émet le même volume de particules (1,25 g/kWh) que 92 tracteurs de puissance équivalente construits en 2020 (Landis, Agroscope). Toutefois, la part de suies de diesel émises par l'agriculture continue d'augmenter proportionnellement, car les autres catégories de véhi-

cles réduisent leurs émissions de leur côté, parfois même plus rapidement. En effet, la consommation de carburant des voitures a continuellement baissé au cours des dernières années, ce qui n'est malheureusement pas le cas des tracteurs.

Moteurs Otto

La majorité des petites machines sont équipées de moteurs à essence (Otto), caractérisés par la constitution externe d'un mélange suivi d'une inflammation. Ces

Au contraire des combustibles fossiles, les biocarburants doivent prouver leur production durable et la réduction effective des émissions de gaz à effet de serre.

moteurs émettent des gaz d'échappement moins chargés en polluants, telle la suie, que les moteurs diesel. Dès lors, le post-traitement des gaz d'échappement avec un catalyseur à trois voies y est plus simple. Les moteurs Otto sont installés maintenant dans les engins mobiles et



Les carburants à l'huile de colza sont aussi fiables que le diesel, mais bien plus efficaces pour la préservation du climat, du sol et des eaux. Photo: TFZ

servent de prototypes pour l'utilisation de méthane ou d'autres carburants. On le fait lorsque le diesel ne convient que partiellement, voire pas du tout.

Recherche d'alternatives

Tout d'abord quels sont les motifs de la recherche de motorisations alternatives et pourquoi en avons-nous besoin ? Une réponse simple et rapide : les débats actuels sur le climat. Pour préciser une peu cette déclaration générale, il convient de se référer aux émissions de CO₂. La réduction

de ces émissions dans le secteur des transports (véhicules agricoles compris) nécessite cependant plusieurs années pour les constructeurs. Les nouvelles technologies, et donc les nouveaux modèles, ont besoin de temps de développement et doivent satisfaire à tous égards aux besoins exigeants de la pratique quotidienne.

Le gaz, l'hydrogène, les hybrides électriques (plug-in-hybrid¹) et les moteurs électriques constituent de possibles solutions identifiées. Lorsque l'on parle d'entraînements alternatifs, les importants efforts de mise en place des infrastructures nécessaires sous forme de bornes de recharge et autres réservoirs de carburants de remplacement sont souvent oubliés. Pour ces derniers, en particulier, une infrastructure d'approvisionnement complète dans les zones rurales devrait être mise en place. A l'heure actuelle, on imagine par exemple mal la création d'une « station-service » pour l'hydrogène à la ferme. Des investissements privés plus conséquents qu'un simple réservoir de diesel seront un jour probablement inévitables.

Porteurs d'espoir : les moteurs à gaz
 Les experts soulignent sans cesse que l'agriculture est prédestinée à la production et l'utilisation de gaz. Aujourd'hui, on utilise principalement le gaz naturel comprimé qui s'obtient à partir de méthane provenant de sources renouvelables. Il s'agit de gaz de synthèse produit par électrolyse. Lorsque ce gaz naturel comprimé est refroidi à une température

Tableau 1: Perfectionnement à l'intérieur et à l'extérieur du moteur

DOC Catalyseur d'oxydation diesel	Sa tâche principale est l'oxydation du monoxyde de carbone et des hydrocarbures en dioxyde de carbone et en eau. En outre, les composants des particules volatiles s'oxydent dans le DOC et le rapport entre le dioxyde et le monoxyde d'azote augmente.
FAP Filtre à particules diesel	Sa tâche principale consiste à séparer les particules du flux de gaz d'échappement. Plus la quantité de particules de suie et de cendres est importante, plus la résistance au flux dans le filtre augmente. Une régénération active s'avère donc nécessaire à intervalles réguliers.
SCR Réduction catalytique sélective	Dans le système de post-traitement des gaz d'échappement (SCR), les oxydes d'azote sont réduits au moyen d'ammoniac (NH ₃) en azote inoffensif et en eau. L'ammoniac provient de la solution urée-eau (AdBlue®) introduite dans le flux de gaz d'échappement. Le taux de particules reste élevé.
EGR Recirculation des gaz d'échappement (mesure interne)	L'effet de réduction des NOx provient principalement du processus de combustion plus lent et des températures maximales plus basses qui en résultent. Les gaz d'échappement recyclés ont une teneur en oxygène plus faible et ne participent plus activement au processus de combustion.

Tableau 2: Différents types de gaz pour la combustion dans les moteurs

LPG: (acronyme du terme anglais <i>liquefied petroleum gas</i> , en français GPL , gaz de pétrole liquéfié)	Mélange de butane et de propane et donc un sous-produit de la production de pétrole et de gaz naturel.	Lors de sa combustion, il dégage environ 15% moins de CO ₂ que l'essence, mais n'est pourtant pas une alternative écologique à l'essence et au diesel.
LNG: (acronyme du terme anglais <i>liquefied natural gas</i> , ou GNL en français.)	Le gaz naturel est liquéfié par refroidissement à -162 °C. Après compression, son volume correspond à 1/600 du volume original.	La compression en gaz naturel liquéfié nécessite de grandes quantités d'énergie et libère jusqu'à 15% de dioxyde de carbone.
Bio-LNG: bio-méthane liquéfié	Avec le gaz liquéfié issu de la production biologique, les économies de CO ₂ atteignent 90% par rapport au gaz naturel fossile. Le bio-méthane est donc incontournable.	Le bio-méthane liquéfié est produit à l'échelle régionale dans des installations de biogaz. Les transports sont courts et, chimiquement, le bio-méthane liquéfié est identique au bio-méthane fossile.
Hydrogène H₂: carburant des moteurs à hydrogène	Souvent appelé le carburant de l'avenir. Condition préalable : utilisation d'énergie renouvelable lors de sa production. Aucun polluant n'est généré lors de la combustion, car il ne reste que de la vapeur d'eau.	L'H ₂ est également utilisé pour la production d'électricité avec une pile à combustible. Dans tous les cas, la production de H ₂ doit passer par de l'électricité durable, faute de quoi le bilan global n'est pas vraiment respectueux de l'environnement.

inférieure, à -162 degrés, il se liquéfie et est appelé gaz naturel liquéfié. Le processus de liquéfaction nécessite environ 15% de la teneur énergétique du méthane. En principe, la densité du gaz naturel comprimé et liquéfié est beaucoup plus faible que celle du diesel. Le pouvoir calorifique (MJ/kg) est légèrement plus élevé. A l'inverse, le pouvoir calorifique par litre se réduit d'environ 5,5 fois pour le gaz naturel comprimé et de moitié pour le gaz naturel liquéfié par rapport au diesel. Les projets de moteurs à gaz de tracteurs concrétisés jusqu'à aujourd'hui ont prouvé leur faisabilité, mais pas davantage. New Holland en a d'ailleurs fait la démonstration avec son « T6-Methane Power ». Le tableau 2 donne un aperçu des différents types de gaz.

Actuelle: la mobilité à l'hydrogène
L'hydrogène est 14 fois plus léger que l'air et s'évapore rapidement. Après liquéfaction à basse température (-250 degrés), l'hydrogène se stocke dans des réservoirs isolés thermiquement. Une condition préalable à l'utilisation judicieuse de l'hydrogène en tant qu'énergie d' entraînement est l'utilisation d'électricité issue de sources renouvelables.

- Techniquement, l'hydrogène peut être utilisé comme carburant pour les véhicules équipés de moteurs à combustion. Cependant, le rendement d'un moteur à combustion alimenté à l'hydrogène reste inférieur à celui d'une pile à combustible. Comme l'hydrogène ne contient pas de carbone, un

moteur à combustion interne ne produit que de l'oxyde d'azote et quelques traces d'autres gaz polluants provenant des huiles utilisées pour la lubrification du moteur et contenant du carbone.

- L'utilisation de l'hydrogène dans des piles à combustible constitue une forme particulière d' entraînement électrique. La différence essentielle est que l'électricité n'alimente pas une batterie pour être ensuite transférée progressivement de la batterie au moteur, mais que la pile à combustible génère l'électricité lors du déplacement du véhicule. Contrairement au moteur à combustion, aucune énergie n'est perdue par dégagement de chaleur dans ce processus.

La fourniture d'énergie électrique au moyen d'hydrogène et de piles à combustible n'est pas encore à l'ordre du jour dans l'agriculture. Pour les travaux sur le terrain, une durée de travail ininterrompue d'au moins dix heures doit être garantie en général. A l'heure actuelle, le réseau de stations-service n'est pas approprié pour l'agriculture. Une station de

remplissage d'hydrogène nécessite un investissement avoisinant un million de francs. La Suisse n'en comptait que trois au début du mois d'octobre 2020. Mais le développement se poursuit rapidement et, d'ici la fin de l'année, sept stations-service devraient être ouvertes sur

Un véhicule à pile à combustible (FCEV) est obligatoirement un véhicule électrique car il est toujours entraîné par un moteur électrique.

l'axe allant du lac de Constance au lac Léman (y compris la station-service de recherche de l'Empa qui ravitailler une cinquantaine de clients). Ce qui est donc faisable pour les camions (et les voitures) sur l'axe est-ouest n'est cependant pas envisageable pour l'agriculture pendant un certain temps encore en raison de l'absence d'un approvisionnement

décentralisé avec des « stations-service » à la ferme. Même si New Holland a déjà présenté un premier tracteur à hydrogène lors d'Agritechnica 2011, celui-ci est maintenant devenu un « Methane Power Tractor » qui sera produit en série dès 2020-2021. Sur le plan de l'exploitation pure,



Les concepts à gaz naturel comprimé ne se limitent pas au tracteur. Photo: Idd

la propulsion à hydrogène est la plus propre qui soit. Cependant, cela doit être relativisé dans le bilan écologique en considérant la production d'hydrogène et la construction de piles à combustible. La propulsion à l'hydrogène n'atteint un bilan écologique réellement équilibré que si le processus de production devient plus efficace sur le plan énergétique et que l'électricité utilisée provient exclusivement de sources renouvelables.

Le futur: l'eau

Jules Verne disait déjà en 1870: « L'eau est le charbon de l'avenir. L'eau décomposée par l'électricité constitue l'énergie de demain. La séparation des composants de l'eau, l'hydrogène et l'oxygène, assurera l'approvisionnement énergétique de la Terre dans un avenir proche » (citation H2energy/Coop). Cent cinquante ans plus tard, l'on constate que l'exploitation de cette source énergétique ne s'est pas dé-

veloppée aussi vite que Jules Verne ne l'avait imaginé. Pourtant, de nombreux signes montrent que cet objectif subsiste après maintes circonvolutions.

Une pile à combustible transforme un élément porteur d'énergie chimique, servant de « combustible », en énergie électrique. Contrairement à une batterie, cet élément n'est pas disponible en fixe, mais apporté de l'extérieur en cours de fonctionnement. Dans la recherche de

Tableau 3: Concepts d'entraînement alternatifs et niveau de développement

« Methan Power Traktor », moteur à gaz (prêt pour la pratique)		
	New Holland « Methan Power » Le New Holland « T6 Methan Power » délivre la même puissance que son homologue diesel, soit 132 kW/180 ch et un couple de 740 Nm. Le premier tracteur de ce type au monde prêt pour la production en série. Début de la production prévu en 2020 ou 2021.	Le tracteur au méthane NH « T6 » permet à la ferme du futur qui possède sa propre installation de biogaz d'avoir une chaîne de production presque neutre en CO ₂ . Grâce à son moteur à gaz, ce tracteur produit 99% moins de particules, 10% moins d'émissions de CO ₂ et 80% d'émissions totales en moins qu'un moteur diesel comparable.
Tracteur électrique à batteries (prototype à l'essai)		
	Tracteur électrique Fendt « e100 Vario » Selon Fendt, malgré sa première présentation en 2017, le tracteur électrique se trouve toujours « en phase de projet stratégique traitant de l'électrification des machines agricoles ». Nombreux essais pratiques en cours dans l'agriculture, le secteur communal et l'entretien hivernal.	Tracteur électrique délivrant une puissance d'entraînement de 50 kW. La source d'énergie est une batterie Li-ion de 650 V d'une capacité de 100 kWh. En conditions réelles de fonctionnement, l'alimentation électrique assure jusqu'à cinq heures d'autonomie. La batterie peut fournir une brève puissance d'appoint atteignant 150 kW pour l'entraînement des appareils. Si une énergie renouvelable est disponible, l'exploitation peut être neutre en CO ₂ .
Prototype autonome à batteries (pas prêt pour la pratique)		
	Concept futuriste e-tracteurs John Deere Depuis 20 ans, l'industrie des tracteurs traite de l'électrification des machines agricoles. Lorsqu'on lui demande quand les agriculteurs pourront commencer à utiliser les premiers tracteurs électriques de série, Peter Bickel, du Centre de recherche JD, répond: « Cela prendra encore un certain temps ». Selon JD, le prototype n'est en aucun cas mûr pour une production en série.	Actuellement, les fabricants de batteries sont très sollicités, car les batteries actuelles n'assurent pas suffisamment d'autonomie. Par exemple, un tracteur de 185 kW (250 ch) a besoin d'une capacité de batterie de plus d'un MWh pour fonctionner dix heures à 50% de sa capacité. Même si de telles batteries étaient disponibles, elles seraient beaucoup trop chères pour les agriculteurs (P. Bickel, JD).
Tracteur hybride diesel-électrique (concept)		
	« Concept Steyr » Etude de tracteur hybride sans entraînement mécanique ni composants hydrauliques dans la chaîne cinématique. L'hydraulique du tracteur et la prise de force fonctionnent à l'électricité. Connexions de 700 V et 48 V disponibles pour les appareils électriques. Présenté à Agritechnica 2019. Développement et production en série sont encore inconnus.	Entraînement électrique hybride modulaire, avec moteur diesel FPT, générateur et plusieurs moteurs électriques. La propulsion est assurée par quatre moteurs électriques individuels par roue, pouvant être alimentés par le générateur ou par une batterie de 60 kWh. Récupération et stockage de l'énergie en descente.
Prototype autonome électrique à batterie avec cellules photovoltaïques (stade inconnu)		
	Etude conceptuelle du tracteur Kubota « X » L'entraînement électrique de ce concept de tracteur tire son énergie d'une combinaison de batteries Li-ion et de cellules photovoltaïques. Que ce tracteur à chenilles autonome soit un jour produit en série ou qu'il reste un simple concept est encore inconnu.	Tracteur électrique autonome à énergie solaire. Ce tracteur entièrement autonome fonctionne sur la base de données environnementales et météorologiques. Il sélectionne automatiquement la meilleure option.

concepts de conduite performants et à faibles émissions de CO₂, les véhicules produisant l'électricité nécessaire à la propulsion au moyen de piles à combustible à hydrogène constituent un choix judicieux. D'ailleurs, le premier véhicule de ce type au monde a été présenté en 1959 déjà. Il s'agissait d'un tracteur du fabricant américain « Allis-Chalmers ». Cependant, ce prototype unique n'a servi qu'à des démonstrations. En 2011, soit une cinquantaine d'années plus tard, New Holland a présenté le concept de tracteur NH2TM, « le tracteur le plus propre du monde ». Equipé d'un réservoir d'hydrogène et d'une pile à combustible, ce tracteur produit de l'électricité pour la propulsion électrique. Comme le dit le dictin : « Une hirondelle ne fait pas le printemps ». Ce concept est précieux, mais il faudra des années pour sa mise en œuvre à large échelle. C'est pourquoi ce prototype à hydrogène a été « muté » en un tracteur à méthane prêt à être utilisé aujourd'hui.

Rendement des piles à combustible

Les piles à combustible alimentées à l'hydrogène atteignent un rendement d'environ 80%, alors que celui d'un véhicule équipé d'une telle pile diminue à environ 50%. En incluant la production d'hydrogène, le rendement baisse encore à un peu moins de 30%. Dans un véhicule électrique à batteries, si la production

d'électricité est incluse dans le bilan, le rendement n'est que légèrement supérieur à celui d'un véhicule équipé d'une pile à combustible à hydrogène. Un aspect positif est qu'un système d'entraînement à pile à combustible offre un rendement largement plus élevé qu'un moteur à combustion. L'autonomie d'un véhicule à pile à combustible est comparable à celle d'un véhicule diesel ou à essence classique.

Coûts élevés

Actuellement, deux facteurs contrecurrent le succès global de la technologie des piles à combustible : les coûts de fabrication élevés des piles Stack²⁾ et le bilan environnemental encore peu satisfaisant de la production d'hydrogène comme combustible (en utilisant de l'électricité non durable). Le méthane ou le méthanol peuvent également s'utiliser, mais seul l'hydrogène ne provoque aucune émission de CO₂. Il convient aussi de noter qu'une pile à combustible ne peut pas se dispenser de platine (sert de catalyseur). Une expansion rapide de la propulsion à l'hydrogène entraînerait donc une augmentation considérable de la demande de ce métal précieux.

E-tracteurs : ça tarde !

Les moteurs à combustion convertissent l'énergie des carburants, liée chimiquement, en énergie mécanique. En revanche, dans les entraînements élec-

triques, l'énergie électrique se transforme directement en énergie mécanique. Selon sa technologie de production, l'électricité engendre des niveaux variables d'émissions de gaz à effet de serre. Son utilisation ne produit ensuite aucun gaz localement. Les machines électriques fonctionnent silencieusement et génèrent bien moins de chaleur que les moteurs à combustion. Les génératrices permettent de fournir de l'énergie électrique pour des outils accessoires ou des fonctions supplémentaires tout en maintenant les systèmes d'entraînement classiques. Jusqu'à présent, les concepts hybrides n'étaient que rarement disponibles pour les machines agricoles.

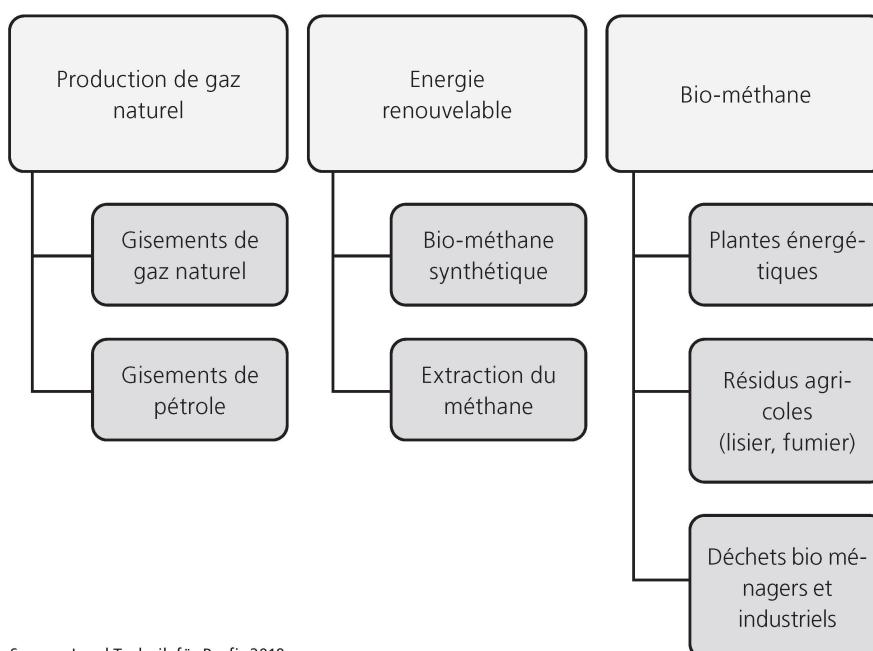
En modes moteur et générateur

Outre la meilleure efficacité des entraînements électriques, leur fonctionnement est possible dans les deux sens, comme moteur (consommateur d'énergie) et comme générateur (producteur d'énergie). En pratique, cela signifie que le véhicule est conduit en mode moteur et freiné en mode générateur. Ce mode de fonctionnement permet de récupérer une partie de l'énergie cinétique. Il faut alors disposer d'un dispositif de stockage approprié. Les entraînements électriques assurent un fonctionnement local sans émissions et peu bruyant. Aujourd'hui, des véhicules et des appareils électriques d'une puissance allant jusqu'à 100 kW sont déjà utilisés pour les travaux à la ferme. Les moteurs électriques se commandent facilement, ont un rendement élevé et nécessitent peu d'entretien. L'énergie solaire peut être utilisée sur les machines électriques.

Conclusion

Le moteur diesel est sous pression. Il donne une image négative des véhicules et machines qui en sont équipés. De nombreuses solutions existent, mais à des stades de développement très différents. Dans les prochaines décennies, le moteur diesel sera probablement remplacé, au moins partiellement, par des systèmes d'entraînement alternatifs. Mais, dans toute cette affaire, il serait naïf de croire que le moteur diesel pourrait être remplacé à large échelle par d'autres systèmes d'entraînement du jour au lendemain. ■

Conditions de l'utilisation du gaz comme carburant



Source: Land.Technik für Profis 2019

1) Plug-in-hybrid, véhicule à entraînement hybride, dont les batteries peuvent être rechargées sur le réseau électrique (Wikipedia).
2) Stack : cellules branchées en série formant ensemble une pile à combustible.