LES PELLES ÉLECTRIQUES GAGNENT EN EFFICACITÉ

Les machines de chantiers sont de plus en plus électrifiées. Les pelles mobiles destinées à une utilisation en centre-ville, lesquelles sont équipées de roues plutôt que de chenilles, en sont un exemple. Différents constructeurs prévoient actuellement de se lancer sur le marché avec des modèles électriques à batterie. Dans le cadre d'un projet pilote et de démonstration de l'OFEN, une équipe de développeurs a perfectionné une pelle mobile électrifiée de telle sorte qu'elle consomme 40% d'électricité en moins.



Utilisation de la pelle mobile diesel (à l'avant) et du prototype électrifié (à l'arrière) sur un terrain d'essai. Lors des essais de conduite, la consommation d'énergie a notamment été mesurée. Photo : rapport final de l'OFEN

Article spécialisé concernant les connaissances acquises lors d'un projet P+D dans le domaine de la mobilité soutenu financièrement par l'Office fédéral de l'énergie. L'article a été publié, entre autres, dans le magazine spécialisé Swiss Engineering RTS (édition juin 2026).

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Office fédéral de l'énergie OFEN

En 2014, des ingénieurs en mécanique et en électricité ingénieux de l'ETH Zurich ont conçu la première pelle au monde fonctionnant sur batterie. Ce projet a conduit, un an plus tard, à la création de la SUNCAR AG. Depuis lors, l'entreprise aide les fabricants d'engins et de machines de chantier à électrifier leurs machines et leurs véhicules. Cette entreprise spécialisée dans les technologies propres, dont le siège se trouve à Oberbüren (SG) et qui dispose d'un département de R&D à Schlieren (ZH), compte aujourd'hui 50 employés, dont 40 ingénieurs

Dans le cadre d'un projet de développement récent, les ingénieurs de SUNCAR se sont penchés sur l'électrification des pelles mobiles. Généralement, ces pelles entraînent leur système hydraulique à l'aide d'un moteur diesel. Au cours des dernières années, plusieurs constructeurs ont commercialisé des machines électrifiées équipées d'un moteur électrique à la place d'un moteur à combustion. Dans le cadre d'un projet P+D de l'Office fédéral de l'énergie, les ingénieurs de SUNCAR sont allés encore plus loin : grâce à des moteurs électriques supplémentaires et à une architecture de véhicule plus efficace, ils se sont efforcés de réduire encore davantage la consommation d'énergie des pelles mobiles et d'explorer les limites actuelles de l'électrification de ces machines.

Électrification du système hydraulique

À cette fin, les ingénieurs de SUNCAR ont collaboré avec la société allemande KTEG, laquelle entretient des liens techniques étroits avec le constructeur japonais Hitachi Construction Machinery. Une pelle sur pneus à moteur diesel de type Hitachi ZX150W a fait office de base. Les experts de SUNCAR ont alors repensé l'architecture électrique complète du véhicule, y compris le câblage, les logiciels et la gestion thermique, et l'ont mise en œuvre en collaboration avec la structure métallique préparée par KTEG. La pelle sur pneus, dont le niveau d'électrification qui en résulte est sans précédent dans cette catégorie de véhicules, ouvre de nouvelles perspectives sur le plan technique : ainsi, non seulement le moteur diesel a été remplacé par un moteur électrique, mais la propulsion (entraînement) est désormais également assurée par un moteur électrique. En outre, deux autres moteurs électriques ont été installés : l'un assure la rotation de la partie supérieure sur le châssis (mécanisme de pivotement), tandis que l'autre fait partie d'un système de levage électrohydraulique permettant de lever et d'abaisser la flèche à laquelle sont fixés la pelle ou d'autres outils de travail.



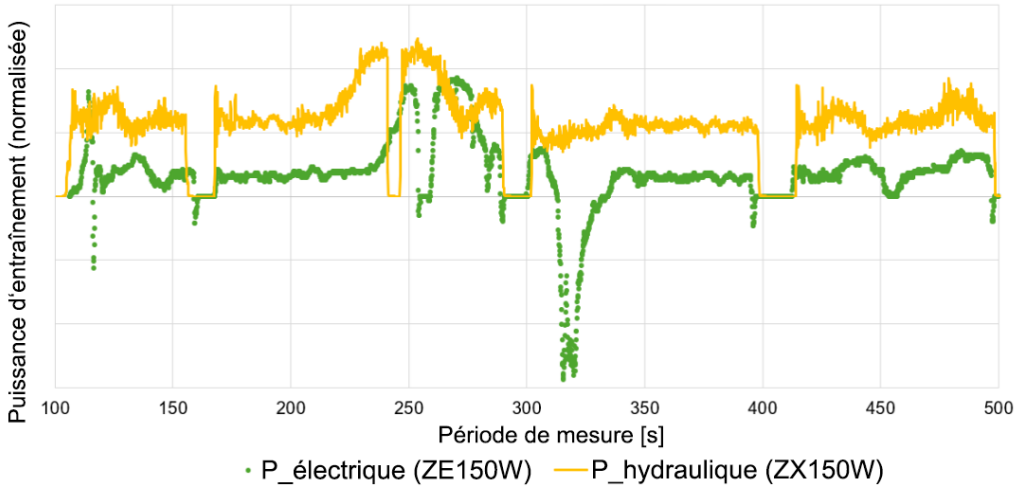
Derrière la cabine du conducteur se trouve la batterie, de 1,7 × 1 × 1 m, composée de trois blocs de batterie empilés : ils fournissent l'électricité aux composants électrifiés du véhicule. Illustration : rapport final de l'OFEN

C'est ainsi qu'est né le prototype d'une pelleteuse électrique, dans laquelle, outre le moteur diesel, des éléments fondamentaux du système hydraulique ont également été électri-

ÉLECTRIFICATION

Une pelle mobile conventionnelle est équipée d'un moteur diesel. Celui-ci fournit l'énergie mécanique pour le groupe hydraulique. Le groupe comprend plusieurs pompes qui acheminent l'huile hydraulique vers les différentes parties de la machine, assurant ainsi la propulsion du véhicule, la rotation de la partie supérieure et le mouvement des autres équipements (par ex. la benne). Le conducteur de la pelle contrôle les mouvements en régulant la pression de l'huile hydraulique à l'aide de valves.

Pour électrifier une pelle mobile, le moteur diesel est remplacé par un moteur électrique qui entraîne les pompes du groupe hydraulique. Dans le projet actuel, les ingénieurs sont allés plus loin en remplaçant des composants essentiels du système hydraulique par des systèmes électriques. Ainsi, la force n'est plus transmise par l'huile hydraulique, mais générée sur place par des moteurs électriques. Cette conception permet de réduire considérablement la consommation énergétique d'une pelle mobile, comme le montrent les résultats du projet R&D.



Puissance électrique (vert) et puissance hydraulique (jaune) des deux véhicules comparés lors d'un essai d'environ huit minutes. Le graphique montre plusieurs courtes phases de récupération et une phase longue. Chaque fois que la courbe verte descend dans la zone négative, de l'énergie électrique est restituée dans la batterie. Graphique : rapport final de l'OFEN

fiés. Cela permet d'obtenir une machine de chantier nettement plus économe en énergie : au cours d'une journée de travail type, le prototype consomme jusqu'à 40% d'énergie en moins qu'une pelleteuse électrique dont le moteur diesel a simplement été remplacé par un moteur électrique. « Ce gain d'efficacité met clairement en évidence le potentiel que recèle l'électrification des machines de chantier », déclare Rik Bättig, chef de projet chez SUNCAR. À titre de comparaison, cet ingénieur en mécanique qualifié fait référence aux moteurs à combustion interne. Dans ce domaine, les approches innovantes n'ont permis, au mieux, que des gains d'efficacité de quelques pour cent.

Récupération de l'énergie

La faible consommation de cette pelle mobile entièrement électrifiée est notamment due à la récupération d'énergie. La récupération d'énergie, par exemple lors des freinages, est plus facile avec des moteurs électriques qu'avec des systèmes hydrauliques. Les différents sous-systèmes du prototype permettent de réaliser des économies d'ampleur variable : elles sont supérieures à plus de 70% au niveau de l'entraînement. Pour le mécanisme de pivotement de la partie supérieure, ce chiffre atteint même 80%, et pour le système de levage, il se situe entre 50 et 80%. Sur une journée de travail de huit heures, le véhicule permet, selon un exemple de calcul (en supposant un tarif de 30 centimes/kWh pour l'électricité de chantier), d'économiser environ 165 kWh d'électricité, ce qui correspond à une économie d'environ 6'500 francs sur une année.

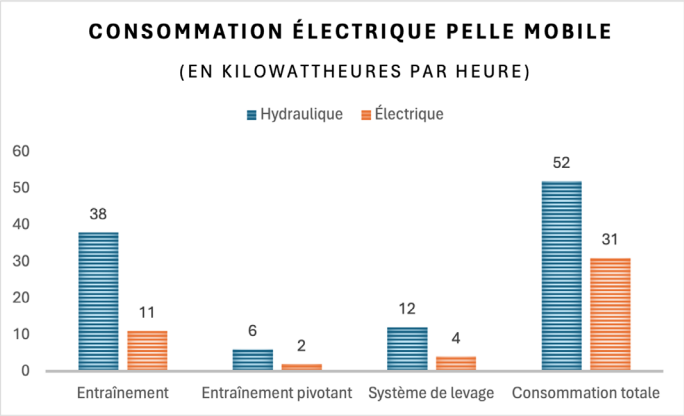
Les coûts d'exploitation réduits sont contrebalancés par des coûts de fabrication plus élevés pour la pelle mobile. Il n'exis-

UNE CHARGE POUR UNE JOURNÉE DE TRAVAIL COMPLÈTE

Le prototype de la pelle électrique est équipé d'une batterie de 300 kWh, installée derrière la cabine du conducteur. La batterie repose sur des amortisseurs afin de réduire les vibrations et les secousses. La pelle est équipée de quatre chargeurs sur secteur (voir photo à droite). Ils permettent une puissance de charge de 88 kW, ce qui permet de recharger la pelle en environ 3,5 heures sur un tableau électrique de chantier (CA). Si une infrastructure de recharge rapide en courant continu est disponible, une recharge rapide est possible en une heure (par ex. pendant une pause déjeuner). Cependant, la consommation électrique de la nouvelle pelle mobile est si faible qu'une charge de batterie devrait généralement suffire pour une journée complète. Dans ce cas, la recharge peut être réalisée la nuit avec une puissance plus faible.



Photo : Rapport final OFEN



Consommation d'énergie du prototype optimisé (rouge) comparée à celle d'une pelle dont seul le moteur diesel a été remplacé par un moteur électrique, sans modification du groupe hydraulique. Graphique : B. Vogel



La pelle électrique ZE150W dans le laboratoire d'essais de compatibilité électromagnétique (CEM). Photo : SUNCAR

te actuellement aucune analyse de rentabilité définitive pour un produit commercialisable. Le fait est que l'électrification a un effet positif sur le climat : Dans une analyse simplifiée du cycle de vie, incluant les processus de fabrication des composants et de la pelle, le prototype électrique génère environ 80% d'émissions de CO_2 en moins par rapport à une pelle fonctionnant au diesel.

Des composants développés en interne

L'électrification directe des systèmes hydrauliques sur les machines de chantier n'en est encore qu'à ses débuts. Les composants nécessaires à cet effet ne sont disponibles qu'en quantité limitée. Les fournisseurs ont développé une partie des composants nécessaires à la transformation de la pelle sur pneus Hitachi spécialement pour ce projet. « Notre projet a ainsi eu un impact dont pourront désormais profiter d'autres fabricants de machines qui souhaitent remplacer progressivement les systèmes hydrauliques des engins de chantier par des systèmes électriques », explique M. Bättig. Au final, le succès des pelles mobiles à haute efficacité énergétique ne dépend pas seulement de la technologie, mais aussi de leur acceptation : les moteurs électriques peuvent offrir une sensation de conduite légèrement différente par rapport aux commandes hydrauliques traditionnelles. Même si les moteurs électriques sont en principe plus performants, les conducteurs de pelles doivent parfois s'y habituer, comme l'ont montré plusieurs semaines d'essais du prototype sur des chantiers pilotes à Bâle et à Lucerne.

La demande en pelles hydrauliques fonctionnant sans diesel et silencieuses est particulièrement élevée sur les chantiers situés dans des zones résidentielles. Dans les pays scandinaves, il existe déjà aujourd'hui des dispositions légales relatives à la construction sans émissions. Rik Bättig estime que le prototype issu du projet P+D devrait être prêt pour la production en série d'ici un an. La prochaine étape consistera à mettre en production l'interface avec le système de commande Hitachi et l'intégration des nouveaux composants électriques. De plus, la pelleteuse électrique doit passer d'autres tests en conditions réelles et offrir un rapport coût-efficacité intéressant.

- Le **rapport final** du projet « Pelle mobile électrique à batterie, classe 15 tonnes – Expérimentation sur le marché de véhicules et machines électriques innovants » est disponible sur : https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=50646.
- Men Wirz (men.wirz@bfe.admin.ch) fournit des **informations** sur le projet au nom de l'OFEN.
- Vous trouverez plus d'**articles spécialisés** concernant les projets pilotes, de démonstration et les projets phares dans le domaine de la mobilité ici.

Auteur : Benedikt Vogel, sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie (OFEN)
Version : juin 2026