

# Technologies ERS et leur évaluation, situation européenne

**Bernard Jacob**  
**Université Gustave Eiffel**

## Technologies évaluées

### 8 technologies regroupées en 3 familles :

- **Conduction aérienne (caténares et pantographes)**  
**Siemens**
- **Conduction par le sol ou latérale**  
**Alstom, Elonroad, Elways/Evias + Honda**
- **Induction**  
**Electreon, WiPowerOne by KAIST/Olev, IPT  
Technology/Primove**

# Conduction aérienne (caténaïres)

## Siemens (Allemagne)



- Dérivée du ferroviaire, adaptée à la route
- Deux lignes de caténaïres et double pantographe par poids lourd (retour courant)
- Le pantographe se déploie automatiquement sous les caténaïres
- Testée sur site fermé (Gross Dollner), puis sur plusieurs sites sous trafic (Suède, Californie, Allemagne – 3 sites autoroutiers -)

## Alimentation par le sol (APS 1) – Alstom (France)



- Deux rails parallèles en acier intégrés dans une structure en isolant, fixée dans une saignée de 50 X 7 cm. Segments de 11 m, alimentés à la demande sous les véhicules.
- Patin articulé rétractable (20 cm) sous les véhicules pour collecter le courant. Permet un débattement latéral de 50 cm autour de la position médiane.
- Le rail n'est alimenté qu'à partir de 30 à 60 km/h (sécurité). L'adhérence (sec et mouillé) et la résilience aux conditions hivernales (sel) a été vérifiée.

## Conduction au sol (2) – Elonroad (Suède)



- Rail simple (acier et Al), avec segments d'1 m, polarités alternatives, alimenté à la demande.
- Au moins 3 patins légers sous les voitures, jusqu'à 6 à 8 pour les cars et PL (redondance et limitation des intensités).
- Solution avec rail en surface pour des applications en statique.
- Testé à Lund (Suède), jusqu'à 160 kW/bus à 40 km/h (300 kW attendus en 2023).

## Conduction au sol (3) – Elway/Evias (Suède)



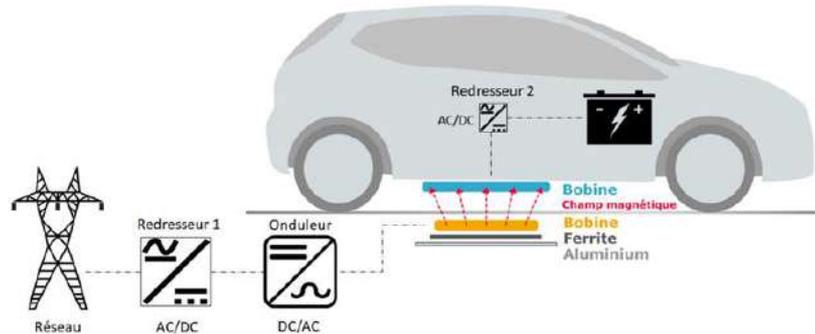
- Rail creux, à 2 faces conductrices intérieures, pour éviter les pertes de courant en présence de sel, et par sécurité. Segments jusqu'à 50 m.
- Un ergot, au bout d'un bras articulé, est inséré dans le rail.
- Rail drainé tous les 50 m. Système de chauffage antigel. Nettoyage régulier des drains.
- Testé à Arlanda (Suède), jusqu'à 200 kW/PL.

## Conduction latérale – Honda (Japon)



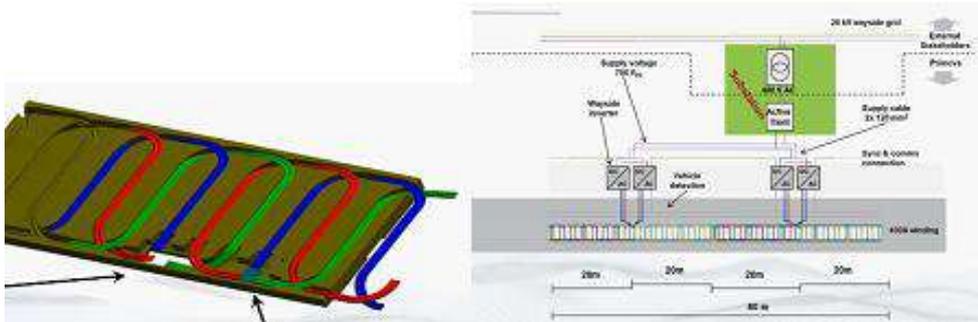
- Le courant est délivré par un double rail fixé dans le rail de sécurité.
- Un bras articulé est déployé sur le côté des véhicules, avec 2 roues conductrices.
- Testé sur une piste au Japon.
- **Solution non retenue: problèmes de sécurité, adaptée à la recharge rapide (450 kW) sur de courtes distances, surtout pour les voitures.**

# Induction (1) – WiPowerOne KAIST/Olev (Corée du Sud)



- **Induction: bobines émettrices en chaussée, réceptrices sous les véhicules, transfert de puissance sans contact par champs magnétique.**
- **Chaque bobine reçoit jusqu'à 75 kW. Débattement latéral :  $\pm 20$  cm**
- **Rendement de 85% si les bobines sont alignées.**
- **Testé à Dubai sur piste (60 m).**

## Induction (2) – IPT/Primove (Allemagne)



- Développé initialement par Bombardier, pour recharge statique de bus aux arrêts. Fonctionne en dynamique. Séries de spires enlacées. Segments de 20 m de long (bobines émettrices)
- Rendement jusqu'à 90%, 180 kW à 60 km/h si bobines alignées, mais chute vite en cas de décalage.
- Testé en chaussée béton (non armé), des questions sur la durabilité en chaussées bitumineuses.

## Induction (3) – Electreon (Israël)



- **Bobines émettrices en chaussée à 8 cm de profondeur, alimentées à la demande.**
- **Chaque bobine réceptrice peut recevoir 25 à 30 kW avec refroidissement passif (45 kW attendus avec refroidissement actif). 1 bobine par voiture, 4 à 7 par camion (200 kW)**
- **Rendement de 87% avec bobines alignées, chute à 70% si décalage de 20 cm.**
- **Testé en Israël, Suède, USA, projets en Allemagne, Italie...**

## Groupes d'acteurs évaluateurs

- SG1 - Pouvoirs publics et régulateurs : DGITM, DSR, ADEME...**
- SG2 - Constructeurs et exploitants routiers (concessionnaires) : ASFA, Routes de France et leurs adhérents**
- SG3 - Constructeurs de véhicules : Scania, Renault Trucks**
- SG4 - Transporteurs et chargeurs : FNTR, OTRE, TLF**
- SG5 - Energéticiens : EDF, Engie, Eiffage Energie Systèmes..**
- + SG transversal : organismes scientifiques et techniques, consultant : Université G. Eiffel, Cerema, CEA, Meta Consulting**

## Critères d'évaluation

### 63 critères regroupés en 13 familles :

A - Interopérabilité, domaine d'emploi, maturité technologique

B - Potentiel de décarbonation

C - Efficacité et rendement énergétique

D - Coûts : investissement, maintenance et exploitation

E - Intrusivité (infrastructure, environnement)

F - Intégrabilité dans les véhicules

G - Santé

H - Sécurité routière

I - Sureté

J - Durabilité et résilience

K - Risques technologiques et systémiques

L - Acceptabilité environnementale et sociale

M - Autres

## Règles d'évaluation

- Chaque groupe d'acteurs note chaque technologie, selon la grille de critères
- Deux informations par critère:
  1. Poids du critère, 0 (sans importance) à 4 (essentiel)
  2. Degré de satisfaction du critère, 0 (non satisfait), 1 (partiellement satisfait), 2 (largement satisfait), 3 (totalement satisfait)
    - ✓ + commentaires
- Analyse par scores pondérés, puis analyse manuelle approfondie

## Synthèse des résultats

### • **SG1 (Constructeurs et exploitants routiers)**

Réponses les plus détaillées et complètes

notes sur 10

Induction	Conduction au sol	Conduction aérienne
Electreon: 7.6 WiPowerOne: 7.2	Alstom: 6.8 Elonroad: 6.2 Elways/Evias: 5.5	Siemens: 6.0
Faible intrusivité après installation	Intrusivité moyenne	Nombreux problèmes: sécurité, durabilité, contraintes d'exploitation routière

### • **SG5 (Energéticiens)**

Conduction au sol	Conduction aérienne	Induction
8.0	6.5	4.0 to 5.0
Haut rendement, économie de matière, coût et déploiement	Bon rendement, mais infrastructure complexe, pas d'interopérabilité voitures	Pas assez mature Puissance insuffisante (camions) Faible rendement

# Conduction aérienne (Siemens)

## Pros

- Technologie la plus mature, profite de l'expérience ferroviaire
- Plusieurs démos sur routes
- Pas intrusive pour les chaussées

## Cons

- Incompatible avec voitures et VUL
- Sécurité: pylônes (véhicules et caténares si choc), déploiement accidentel de grue

## Cons (suite)

- Sécurité en cas d'accident grave: pas d'accès hélicoptère, difficile par le côté (murets de protection), mise en œuvre de grue de relevage de PL, usage de bennes (travaux)
- Durabilité et résilience: 100 fois plus de passages de pantographes/jour que sur voie ferrée, débattement vertical 10 fois plus important, risques face aux événements climatiques extrêmes (vent, glace...)
- Passage de ponts, trainée pantographes
- Acceptabilité visuelle?

# Conduction au sol (Alstom and Elonroad)

**Elways/Evias:** pas adaptée au trafic autoroutier (vitesse, débit)  
Risque en cas de manœuvre latérale rapide, problèmes de drainage

## Pros

- Alimentation tous véhicules
- Maturité moyenne (entre conduction aérienne et induction)
- Pas de verrous majeurs sur les critères essentiels
- Pratiquement pas de limite de puissance
- Le plus simple à installer
- Meilleur bilan matière (pas de matériau critique)

## Cons

- Manque de démos sur route et autoroute
- Matériel dédié à développer pour remplacement de couche de roulement sans démonter le rail
- Etudes complémentaires à mener sur la fiabilité mécanique à long terme, et en cas de chute d'objet ou substance conductrice

# Induction (Electreon, IPT/Primove)

## Pros

- Alimentation tous véhicules
- Pas d'intrusivité après installation
- Pas de contact mécanique entre les véhicules et l'infrastructure
- Exploitation routière "as usual"

## Cons

- Faible maturité, coût élevé
- Manque de puissance pour propulser et recharger les batteries de PL, chute de rendement rapide si décalage latéral
- Installation très intrusive (enlèvement de la couche de surface)
- Incertitudes sur la durabilité et résilience, surtout sur chaussées bitumineuses: intrusion d'eau, réfection de chaussée
- Le pire bilan matière (Cuivre x2-3)
- Incertitudes sur la santé des usagers (surtout à haute puissance)

## Recommandations finales

1. Induction réservée au milieu urbain, en statique pour recharge rapide (livraisons, bus, taxis, etc...), en attendant TRL 8 à 10 et meilleure efficacité énergétique démontrée par essais
2. Conduction au sol à rail creux réservé au réseau secondaire (faibles trafic et vitesse). Conduction latérale inappropriée.
3. Conduction au sol à rail plat affleurant = solution préférable compte tenu de l'état de l'art (interopérabilité, faible intrusivité en exploitation, faible impact sur la sécurité routière, haute efficacité énergétique et bon bilan matière, bonne durabilité...
4. ... mais requiert des essais à grande échelle sur route
5. Conduction aérienne peut répondre au besoin pour les PL mais exclusion des voitures et VUL, fortes contraintes d'exploitation. Réservée si les deux autres technologies ne répondent pas aux spécifications.

## Situation européenne

- **Suède:** mobilisation très importante, Trafikverket, VTI, université Lund, WSP, Scania, Volvo, accords décarbonation/climat avec l'Allemagne et la France, essais sur au moins 4 sites des 3 familles de technologies
- **Allemagne:** implication du ministère des transports et infras digitales, IKEM, BAST, Autobahn GmbH, Siemens, 3 sites d'essais par caténares sur autoroutes
- **Coopération de recherche COLLERS (SE, DE, +FR...)**
- **Italie:** Polimi, Brebemi..., réalisation d'un site d'essai à Brescia (induction)
- **Appel PIA4 en France...?**
- **Rapport PIARC (2018) et TF2.2 en cours**

# Merci de votre attention

**Bernard Jacob**  
**Université Gustave Eiffel**  
**Cité Descartes, Champs-sur-Marne**  
**Mail: [bernard.jacob@univ-eiffel.fr](mailto:bernard.jacob@univ-eiffel.fr)**