

5^{ème} Forum Energie
AS4 Matériel roulant – 2 angles d'approche

Récupération de l'énergie de freinage

Prof. P. Barrade

Institut des Systèmes Industriels

HES-SO Valais-Wallis

Route du Rawyl 47, CP, 1950 Sion 2

+41 27 606 8750, philippe.barrade@hevs.ch

Sommaire

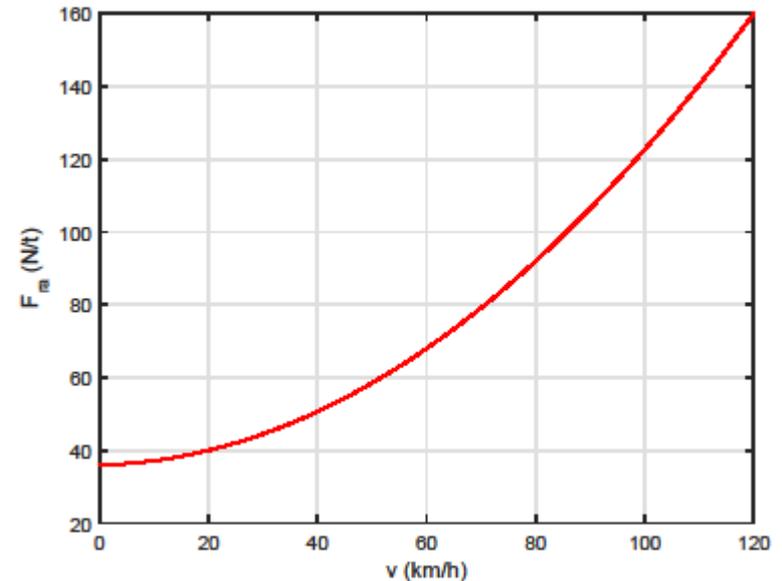
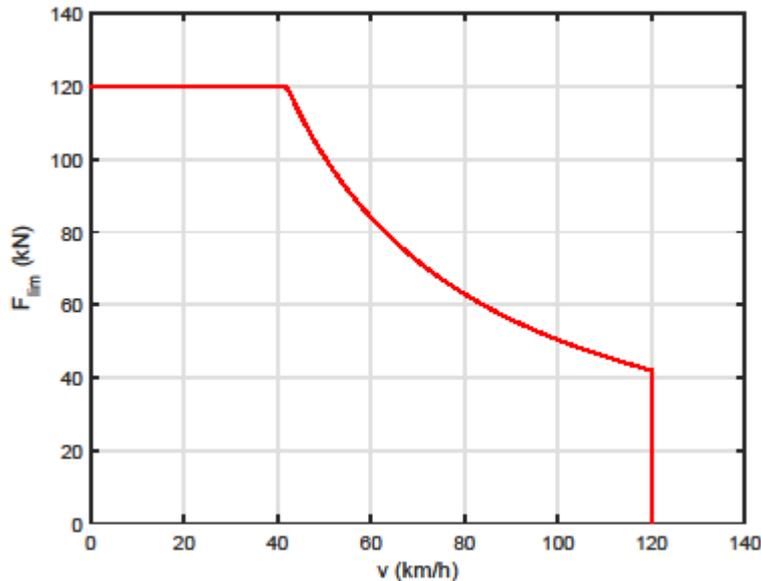
- Nature du projet présenté
- Description des outils développés
- Analyse des résultats obtenus
 - Accumulateurs nomades
 - Accumulateurs fixes
- Résultats comparatifs
- Conclusion et Perspectives

Nature du projet présenté

- Objectifs:
 - Alimentation de trains régionaux sous tension continue 1500V.
 - Identification du potentiel lié à l'intégration d'accumulateurs:
 - Accumulateurs nomades (ou embarqués).
 - Accumulateurs fixes (en parallèle de sous-stations).
 - Cas d'étude:
 - Réseau LEB (VD)
 - Cadences à la 1/2 heure, 1/4 heure, 10 minutes.
 - Indicateurs:
 - Bilans de puissance et d'énergie
- Moyens:
 - Développement d'un modèle de réseau incluant jusqu'à 7 trains, pour 5 sous-stations (24 km, différence de dénivelé approx. 200 m).
 - Résolution par simulation de modèles, avec/sans accumulateurs.
 - Post-processing et analyse comparative des résultats.

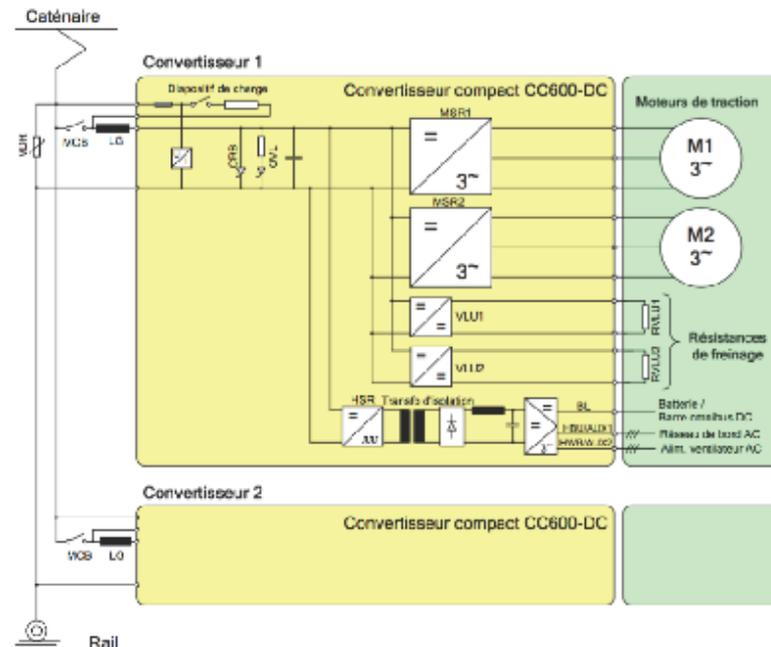
Description des outils développés

- Modélisation des motrices
 - Modèle mécanique
 - Prise en compte des masses, masses tournantes, accélérations max., efforts max., puissance électrique max., etc.



Description des outils développés

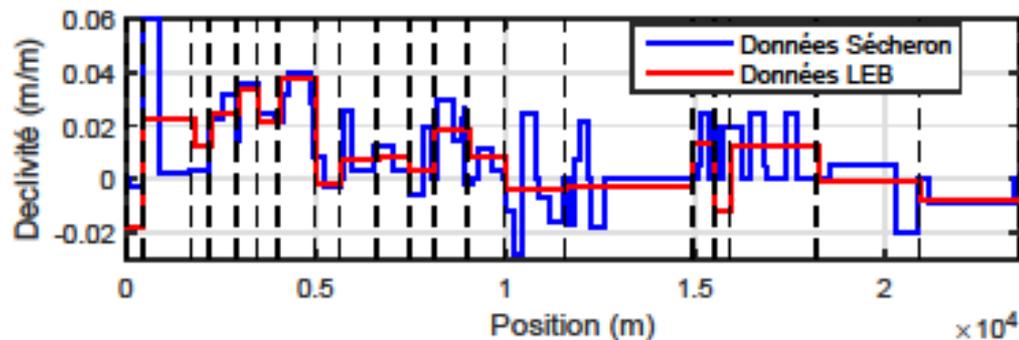
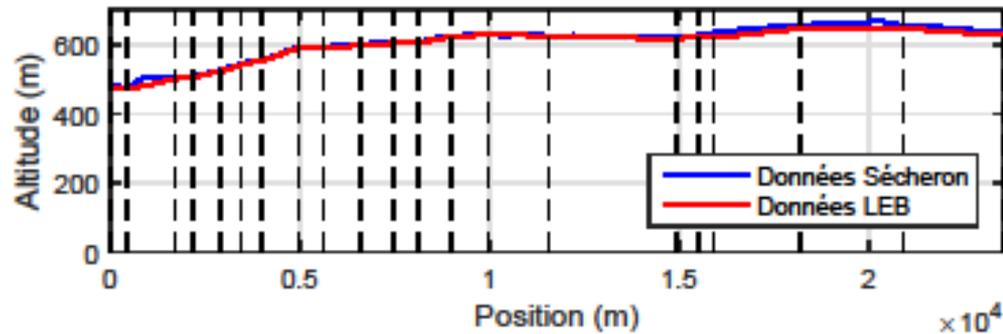
- Modélisation des motrices
 - Modèle électrique
 - Prise en compte de la consommation des auxiliaires
 - Prise en compte des stratégies de déclenchement freinage rhéostatique



Selon document «Convertisseur compact BORDLINE CC600-DC, Type FW D684 600kVA, manuel de service, ABB Switzerland, Doc N° 3BHS243795 D04, 26.06.2009

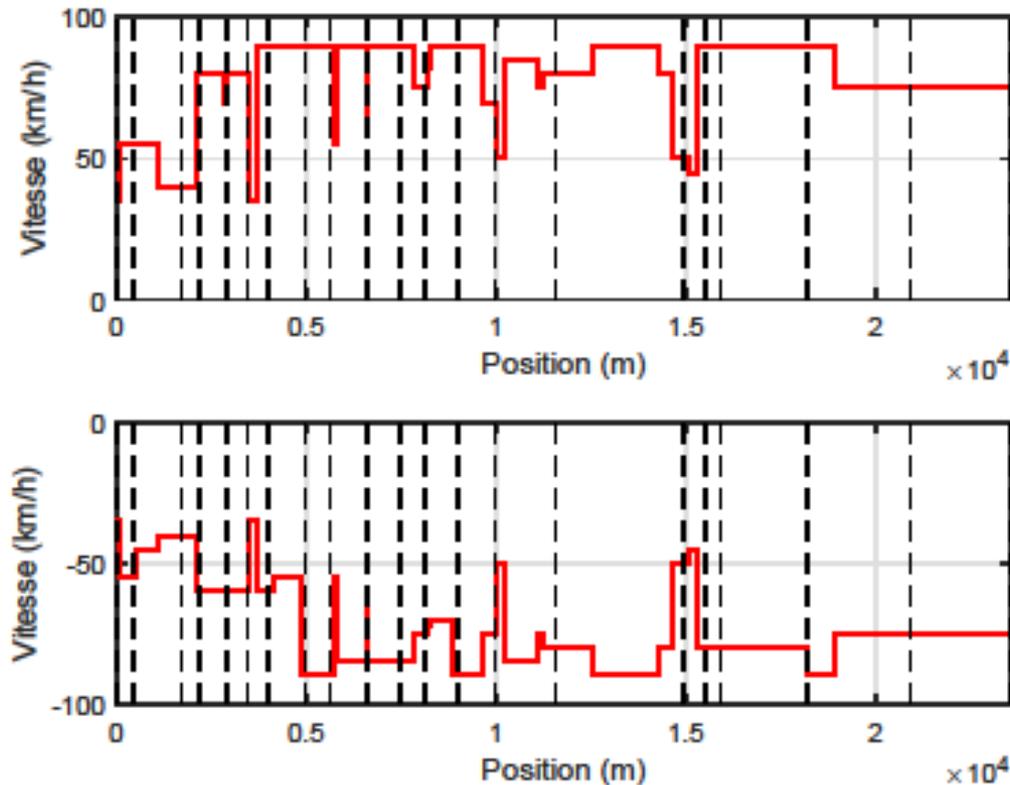
Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - De Lausanne-Flon à Bercher
 - Profils de déclivité et rayons de courbure



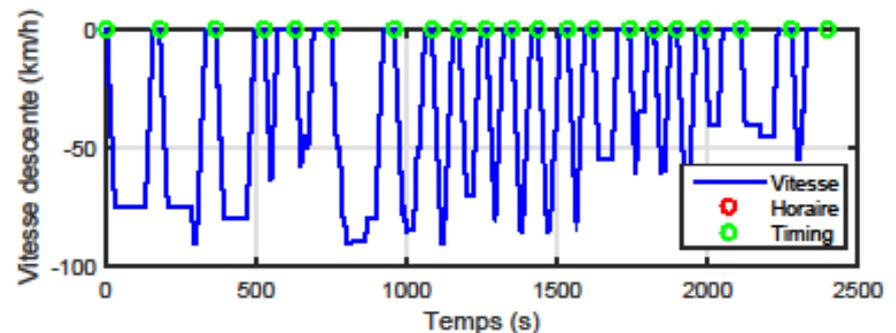
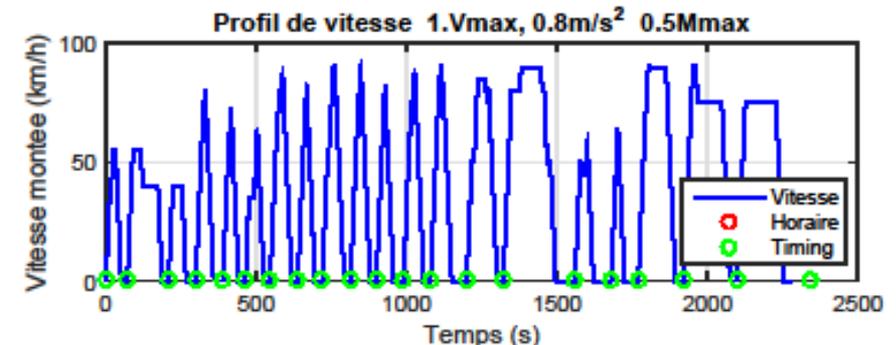
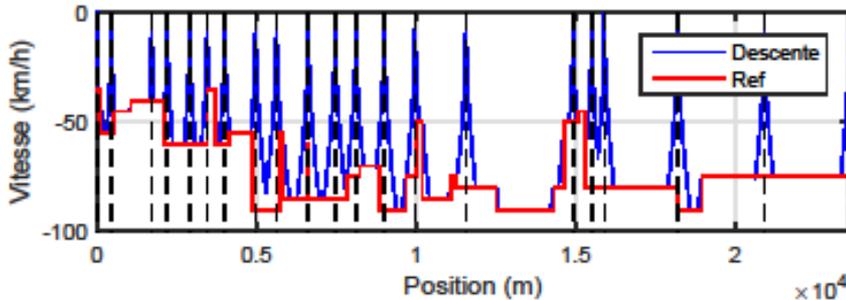
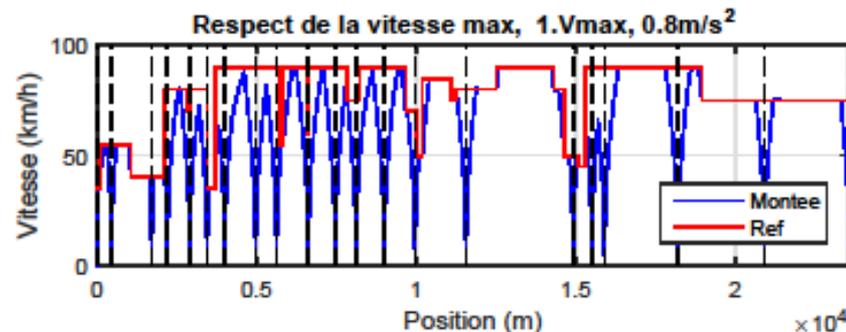
Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - De Lausanne-Flon à Bercher
 - Profils de vitesses maximales autorisées



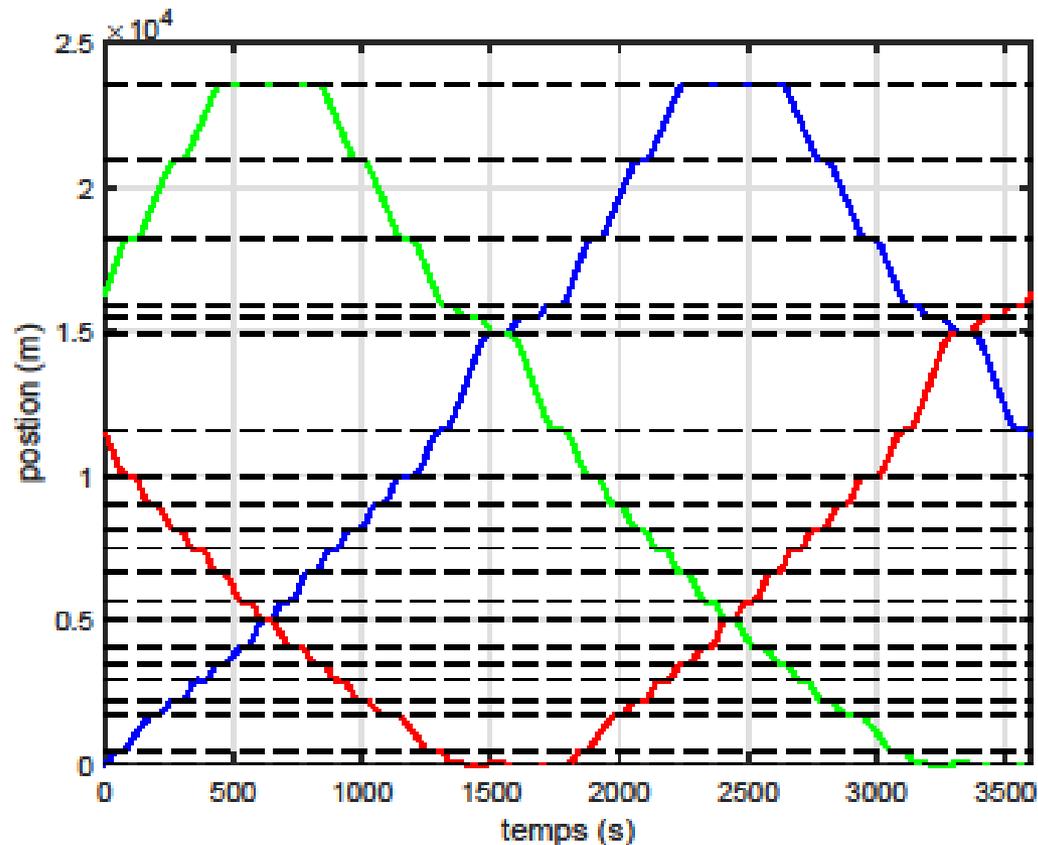
Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - De Lausanne-Flon à Bercher
 - Profils de vitesses maximales autorisées et prise en compte de l'horaire
 - Prise en compte des limitations pour les rames



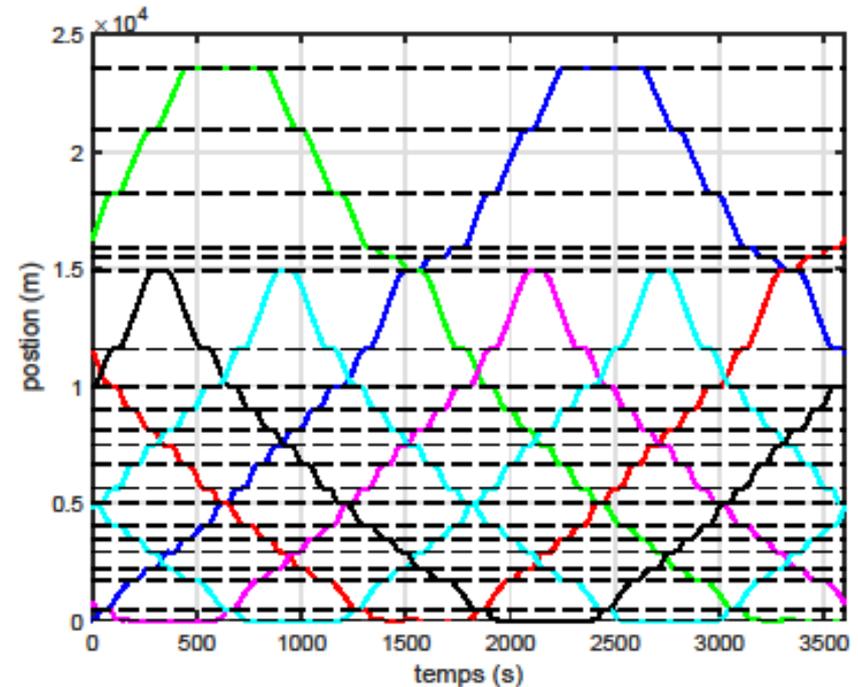
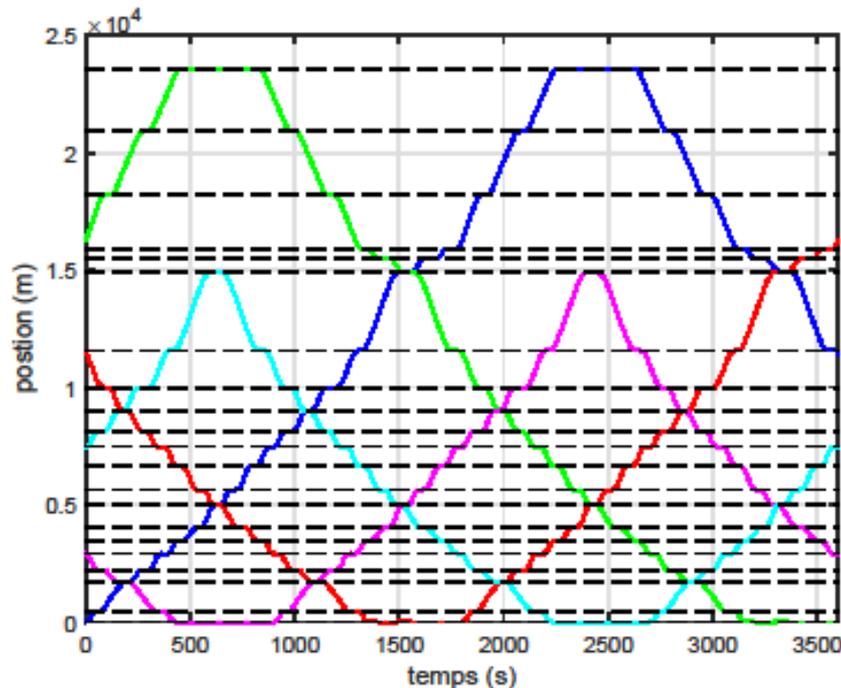
Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - Cadences à la ½ heure (3 trains Lausanne-Flon Bercher)



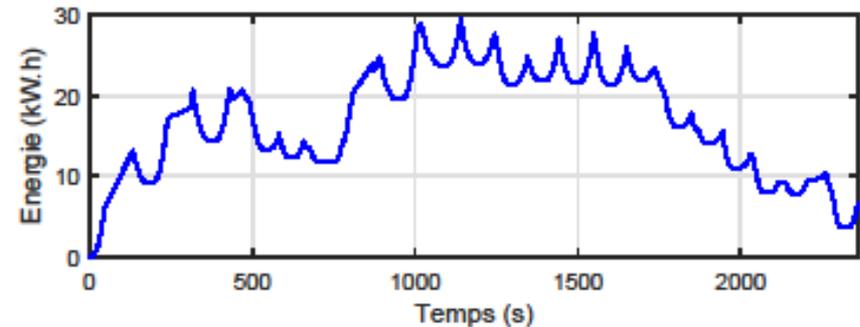
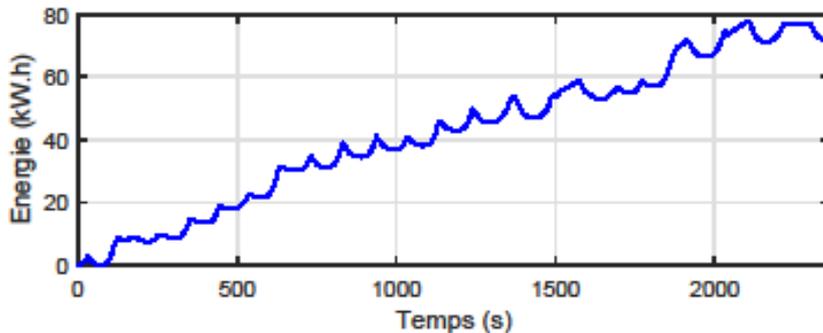
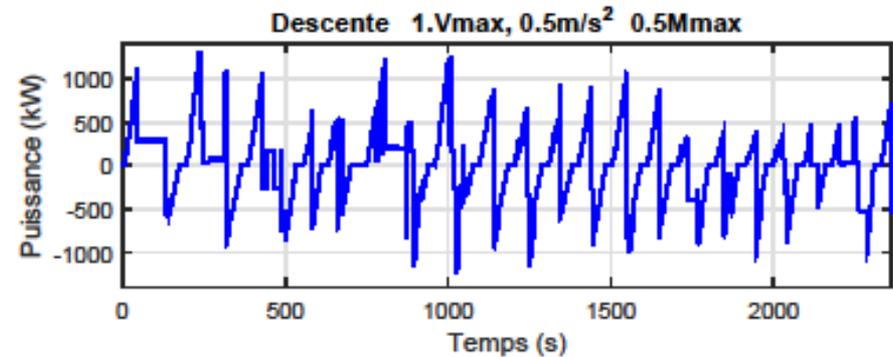
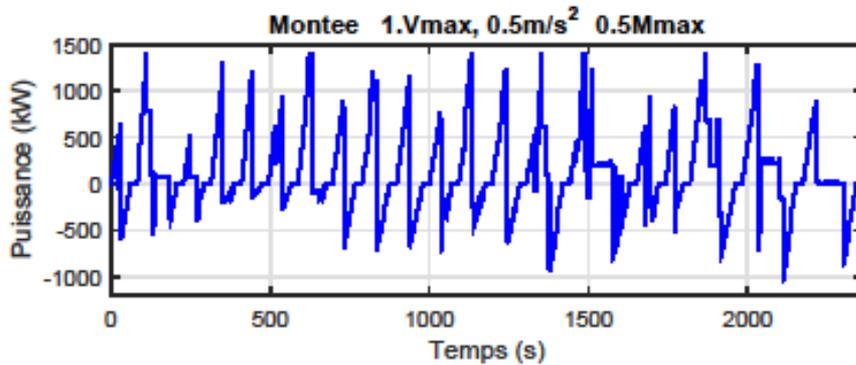
Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - Cadences au $\frac{1}{4}$ d'heure (3 trains Lausanne-Flon Bercher, 2 trains Lausanne-Flon Echallens)
 - Cadences 10 minutes (3 trains Lausanne-Flon Bercher, 4 trains Lausanne-Flon Echallens)



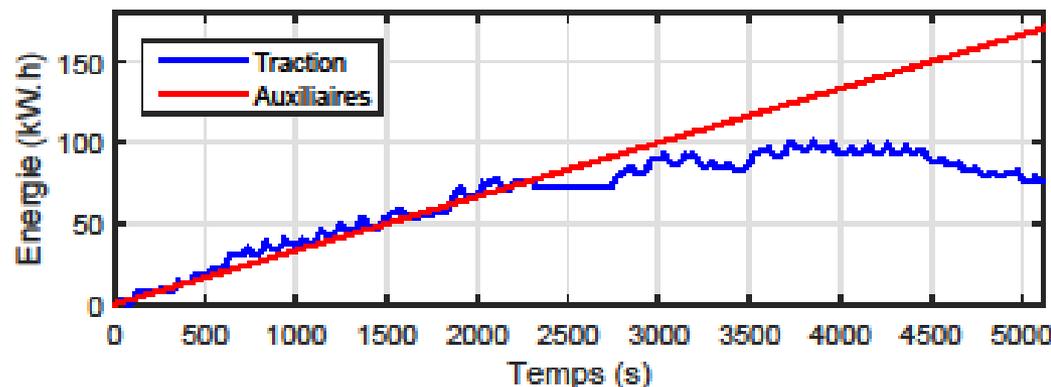
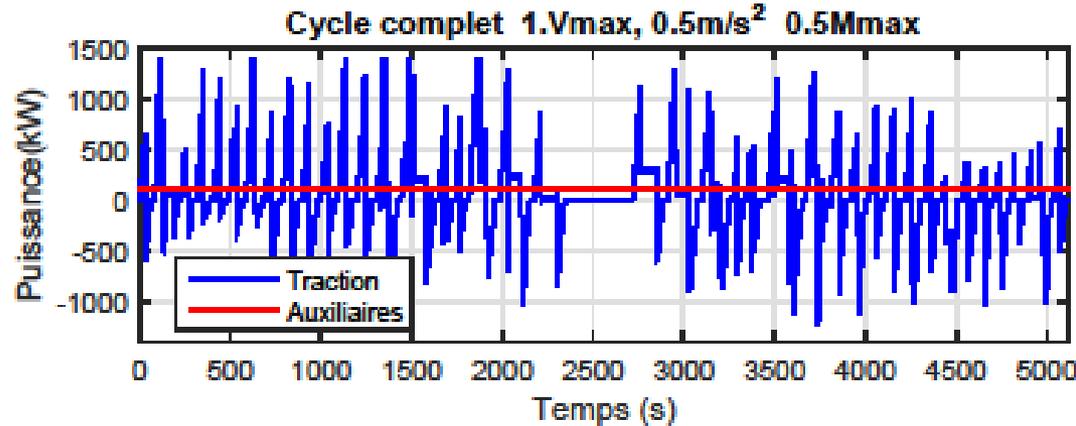
Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - Demande en puissance d'un train
 - Lausanne-Flon Bercher – Bercher Lausanne-Flon



Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - Demande en puissance d'un train
 - Lausanne-Flon Bercher – Bercher Lausanne-Flon



Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - Intégration de l'ensemble des trains sur le réseau
 - Intégration des 5 sous-stations d'alimentation
 - Intégration des accumulateurs (embarqués et fixes)

Toshiba SCiBTM Battery System
(20 kWh, 620 kg, 0,8 m³)

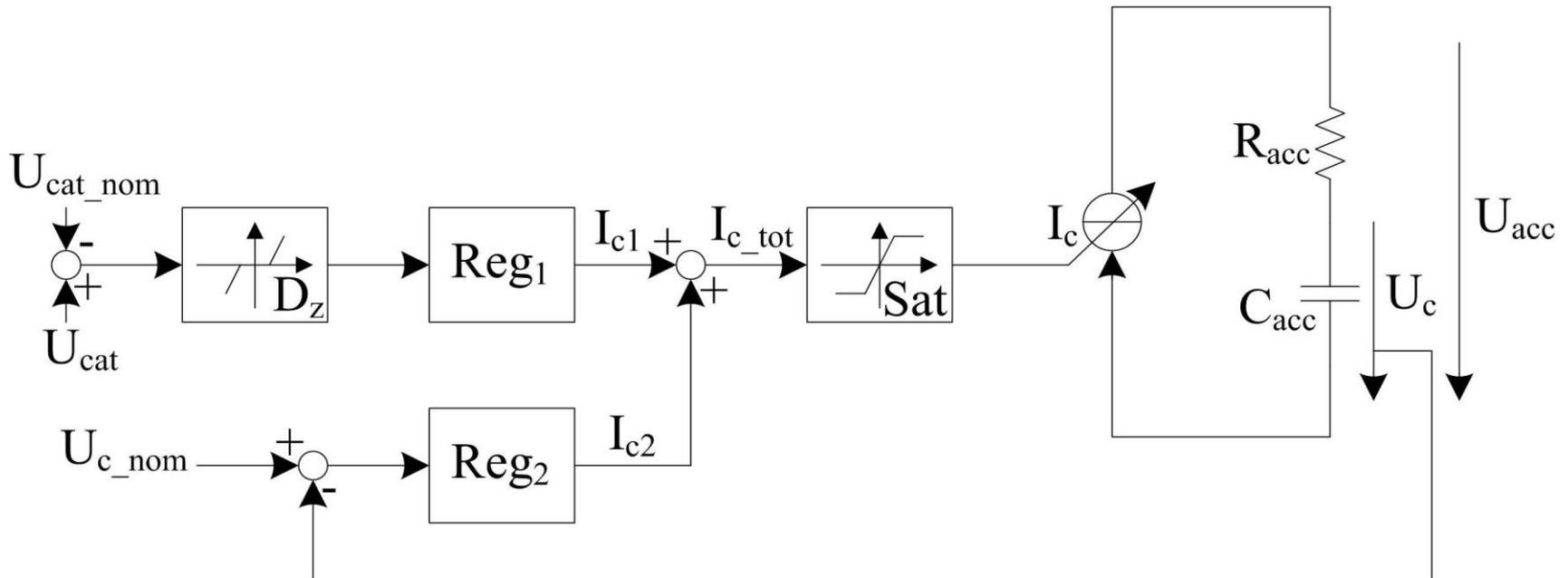


ABB ENVILINEm System
(jusqu'à 11,6 kWh, *power converters included*)



Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - Intégration de stratégies pour la gestion des accumulateurs

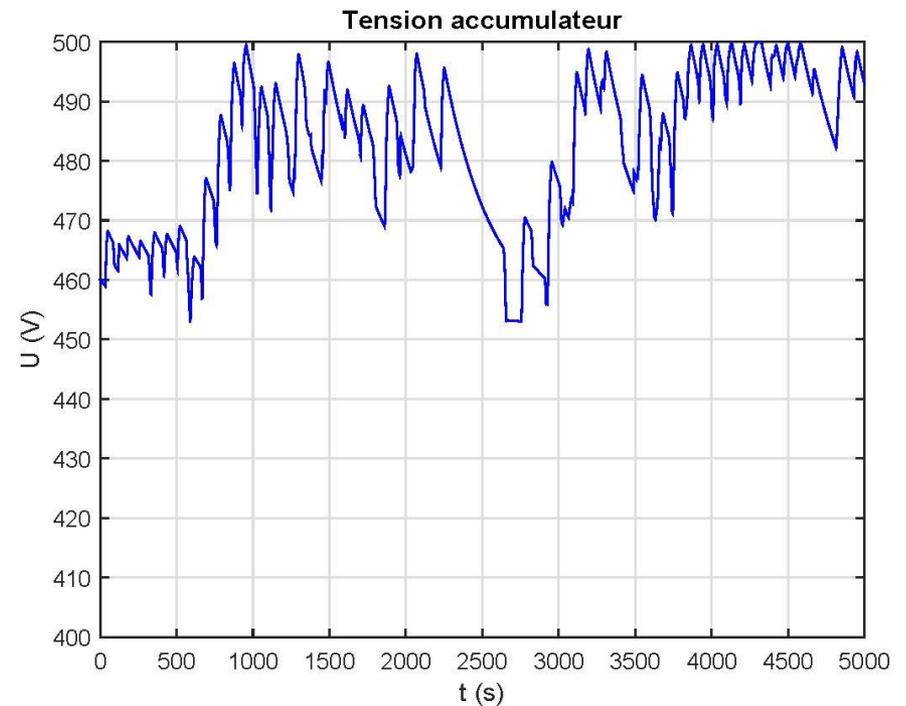
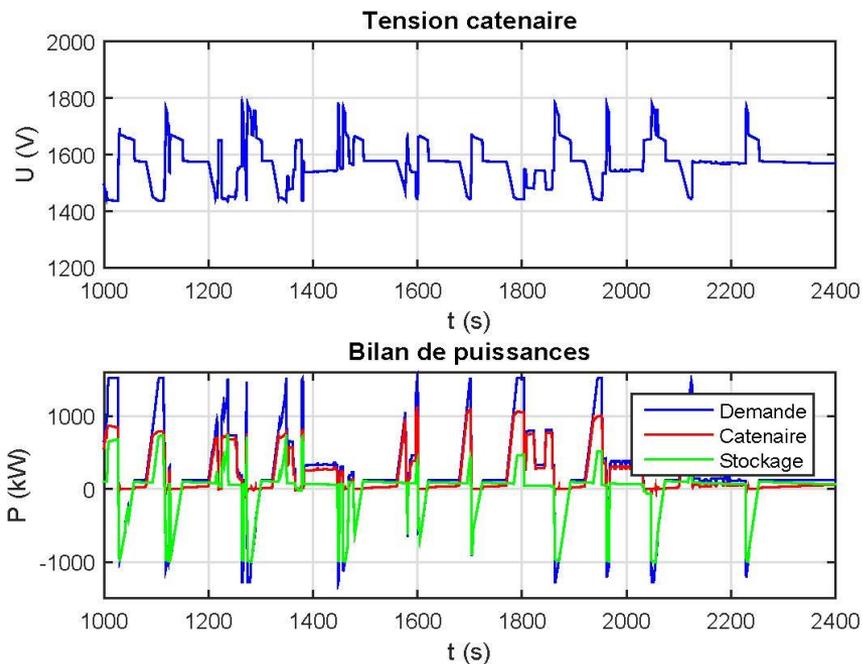


Description des outils développés

- Modélisation du réseau
 - Réseau LEB intégralement modélisé
 - Intégration de 7 véhicules (avec/sans stockage embarqué)
 - Intégration de 5 sous-stations d'alimentation
 - Intégration de 5 dispositifs de stockage fixe
 - En parallèle sur les sous-stations.
 - Placés indifféremment sur la ligne.

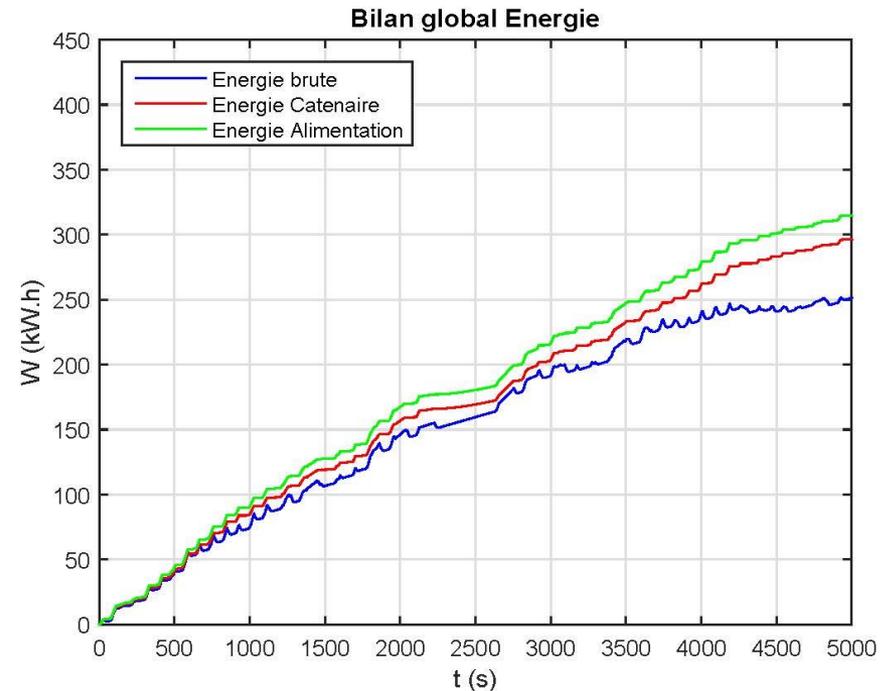
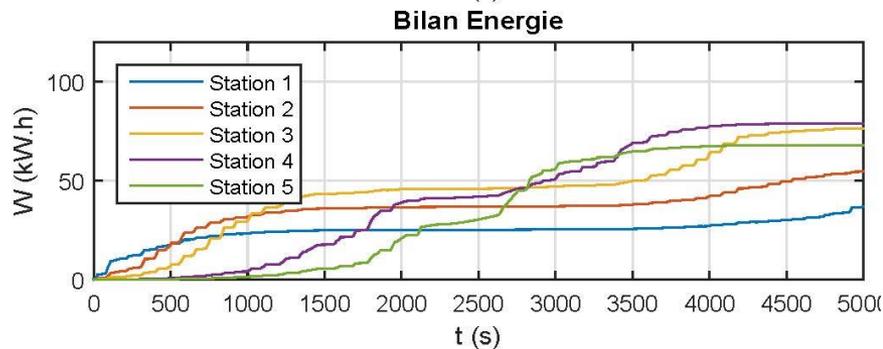
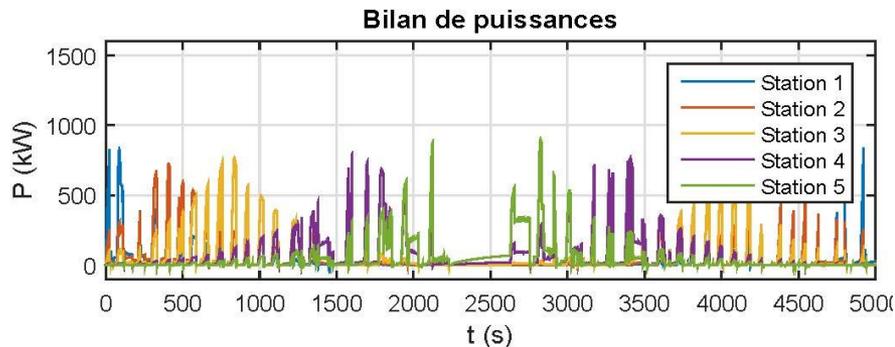
Description des outils développés

- Résultats types fournis:
 - Un train avec accumulateur embarqué



Description des outils développés

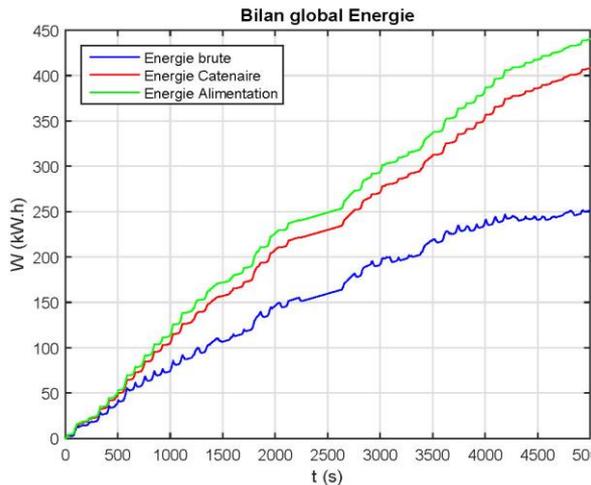
- Résultats types fournis:
 - Un train avec accumulateur embarqué
 - Sous-stations



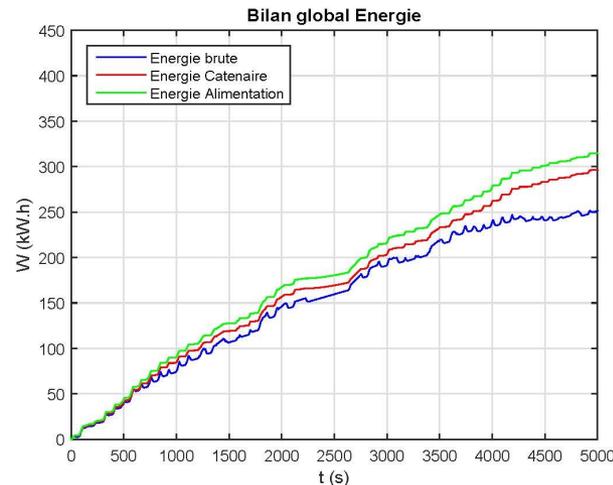
Description des outils développés

- Résultats types fournis:
 - Un train (sans acc., avec acc. nomades ou fixes)
 - Sous-stations

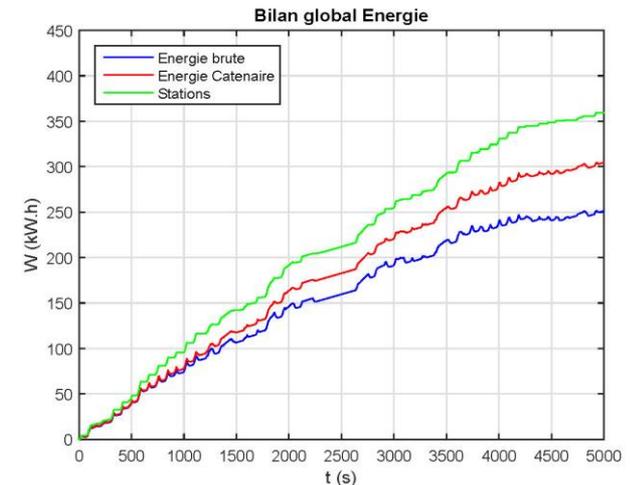
Sans acc.



Acc. nomade



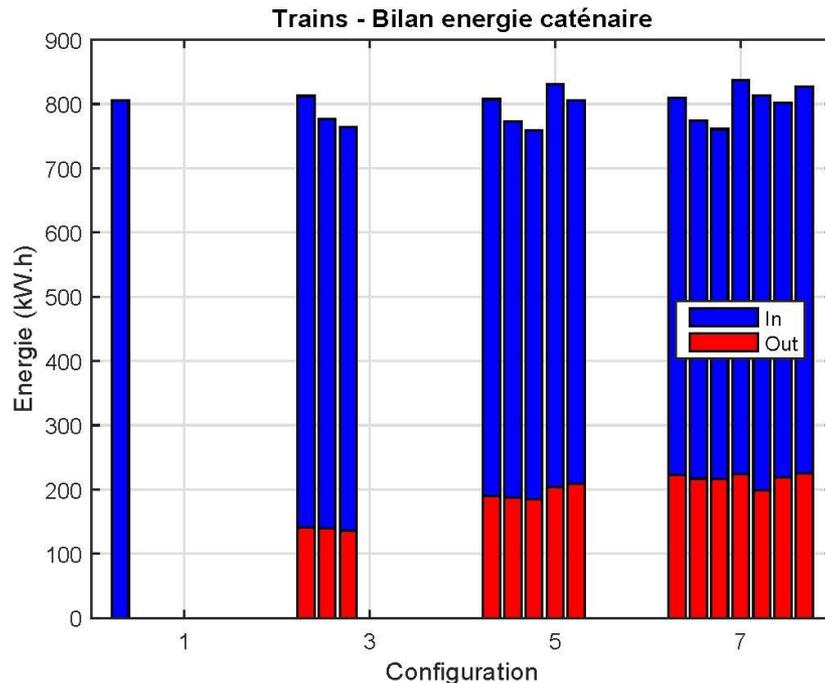
Acc. stat. 3



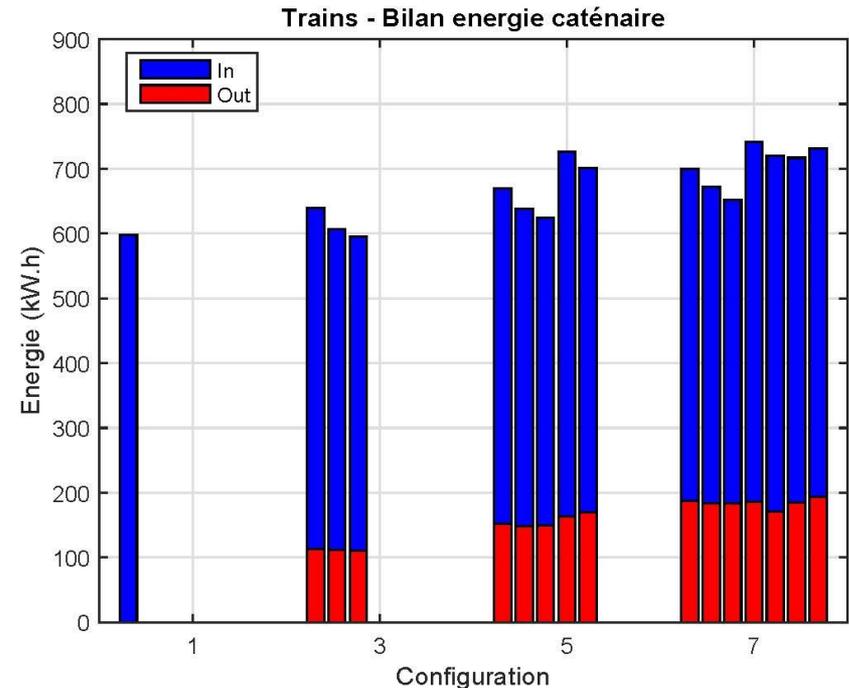
Analyse des résultats

- Accumulateurs nomades
 - Energie échangée à la caténaire par les trains

Sans acc.



Acc. nomade

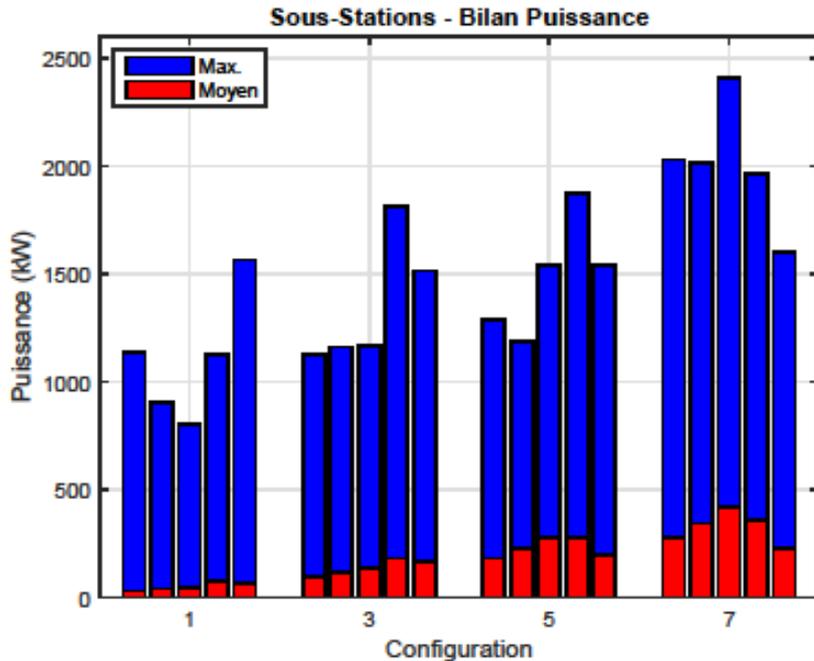


- La restitution d'énergie à la caténaire lors de freinage est une propriété qui est conservée (capacité énergétique de l'accumulateur limitée).

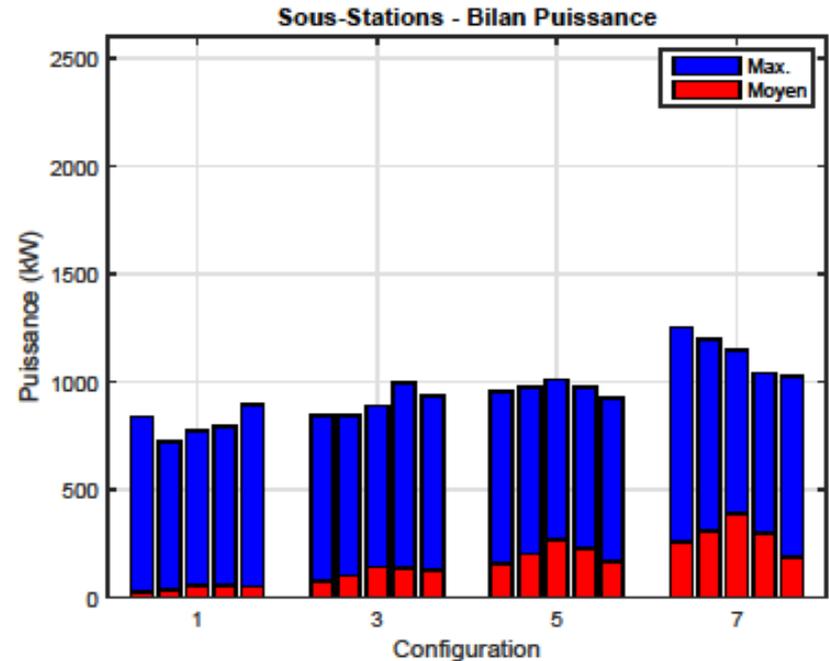
Analyse des résultats

- Accumulateurs nomades
 - Bilan de puissance des sous-stations

Sans acc.



Acc. nomade

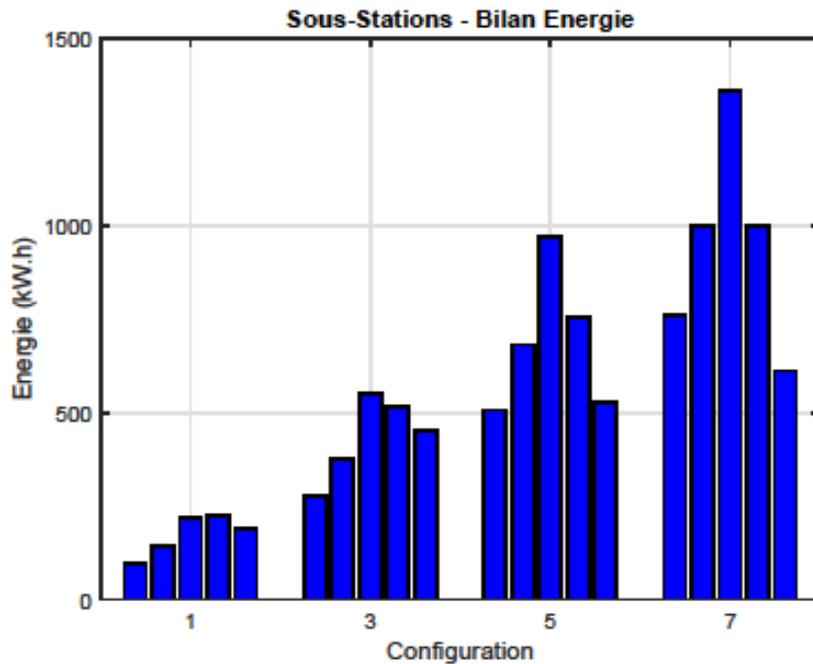


- L'apport majeur d'accumulateurs nomades est de limiter les puissances crêtes.

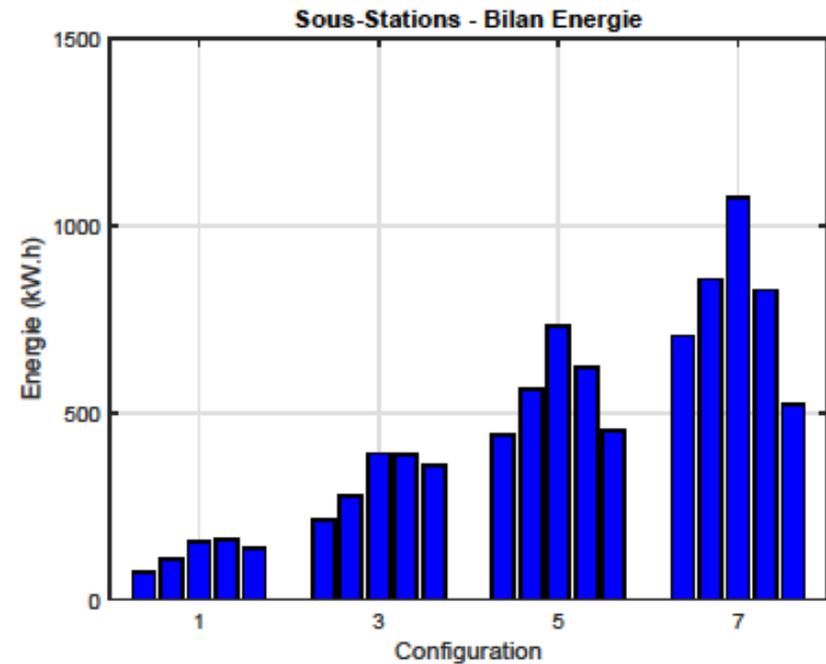
Analyse des résultats

- Accumulateurs nomades
 - Bilan d'énergie des sous-stations

Sans acc.



Acc. nomade



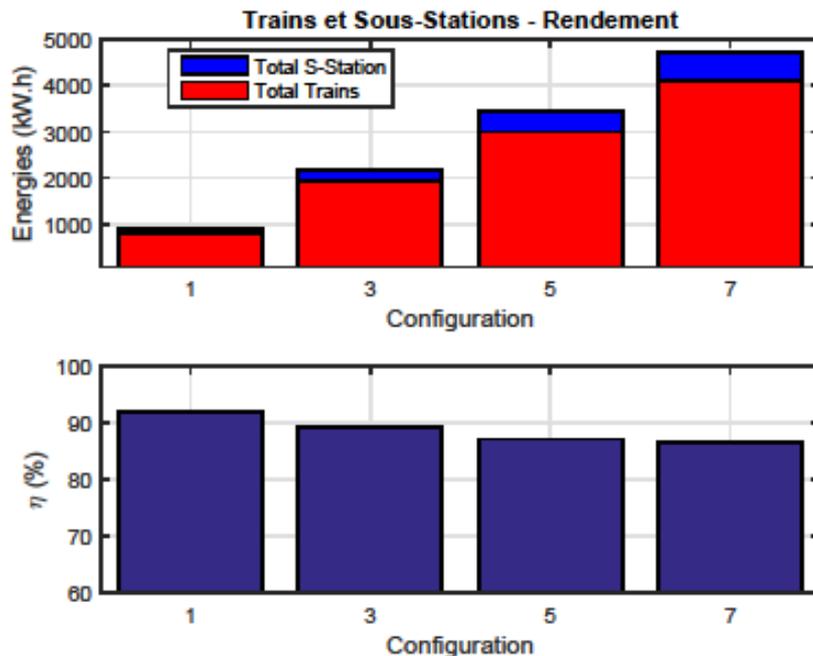
- Réduction des niveaux d'énergie fournie par les sous-stations.

Analyse des résultats

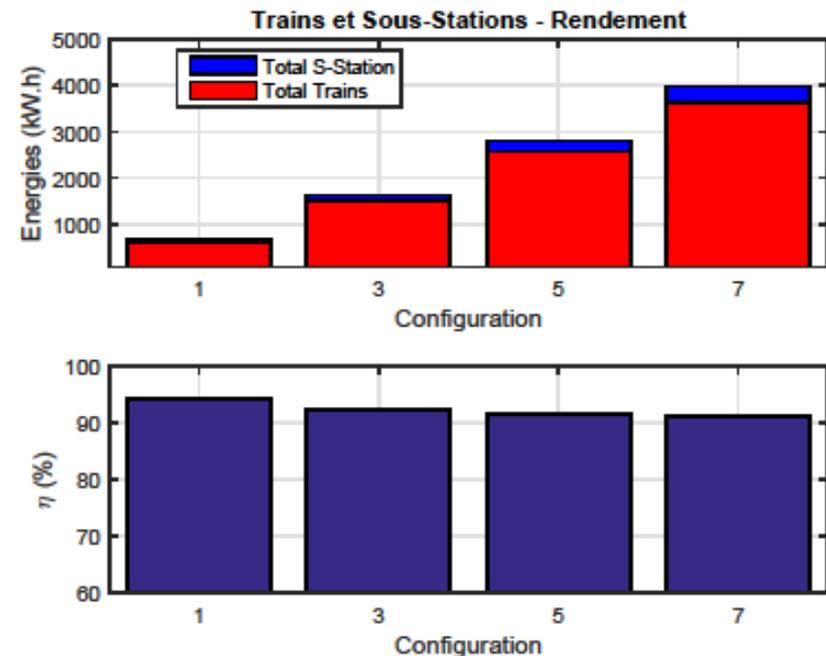
- Accumulateurs nomades

- Rendement global: rapport entre sommes des énergies achetées à la caténaire et somme des énergies introduites par les sous-stations.

Sans acc.



Acc. nomade

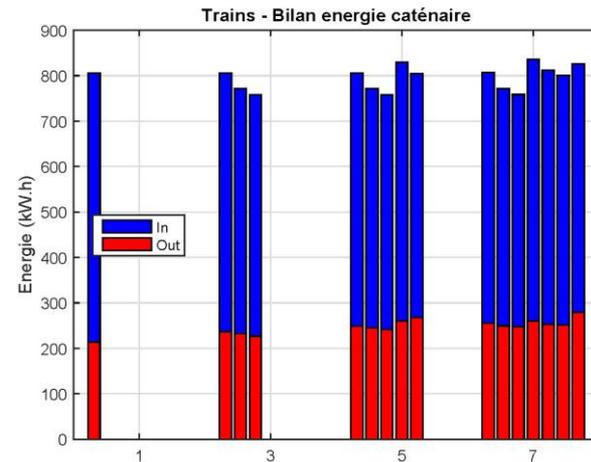
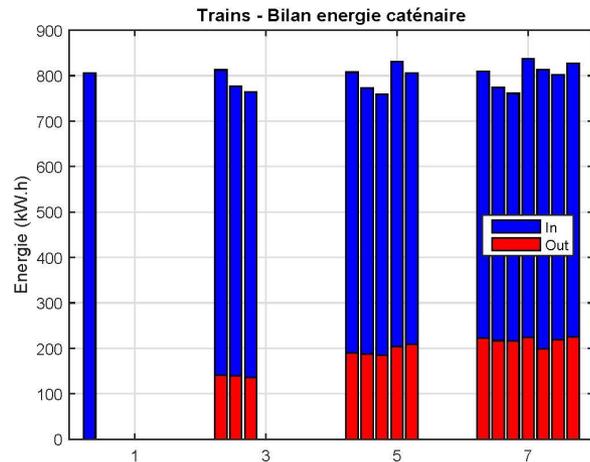


- Le rendement est perverti par les flux d'énergie réinjectée à la caténaire lors des freinages.

Analyse des résultats

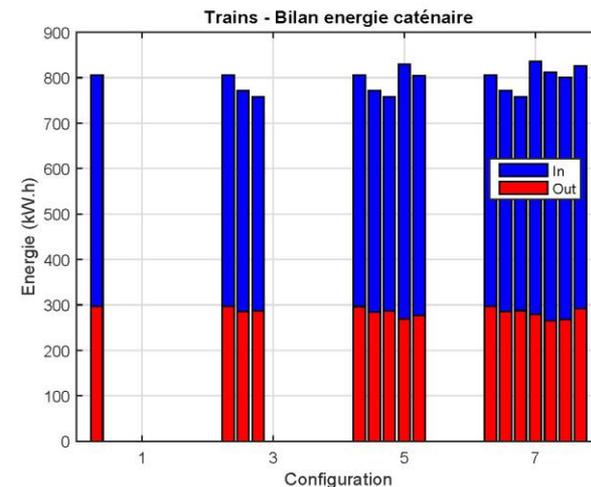
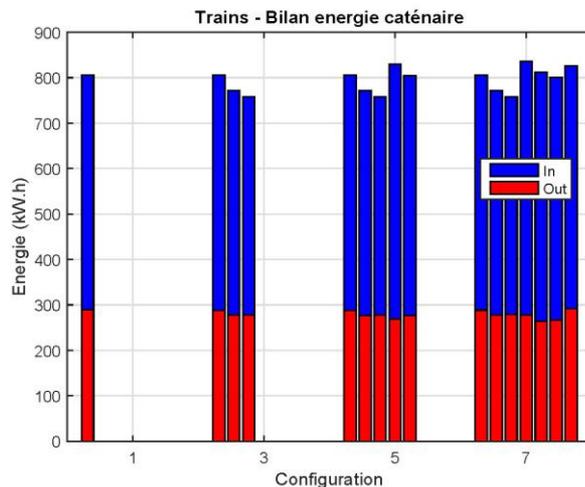
Accumulateurs fixes

- Energie échangée à la caténaire par les trains: réinjection augmentée par les acc. fixes



3

2.3.4

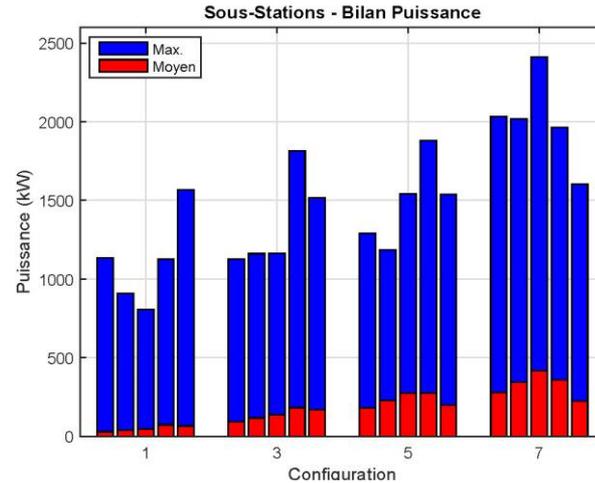
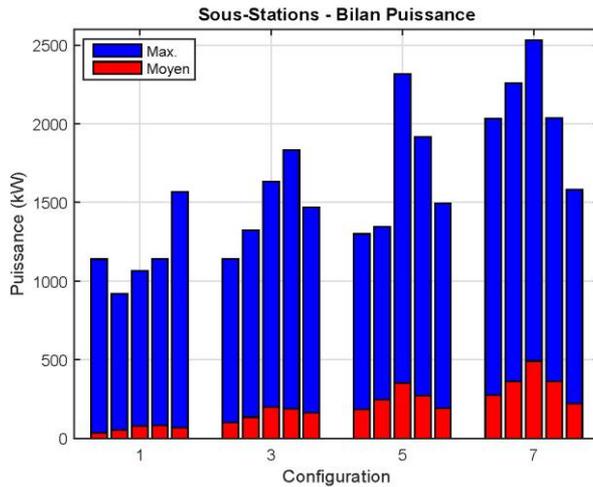


1.2.3.4.5

Analyse des résultats

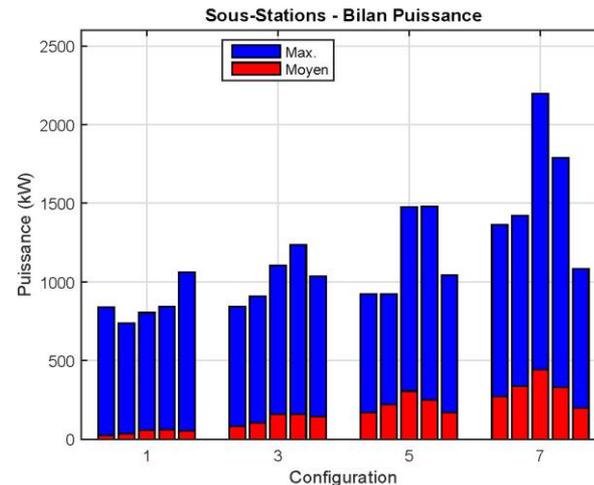
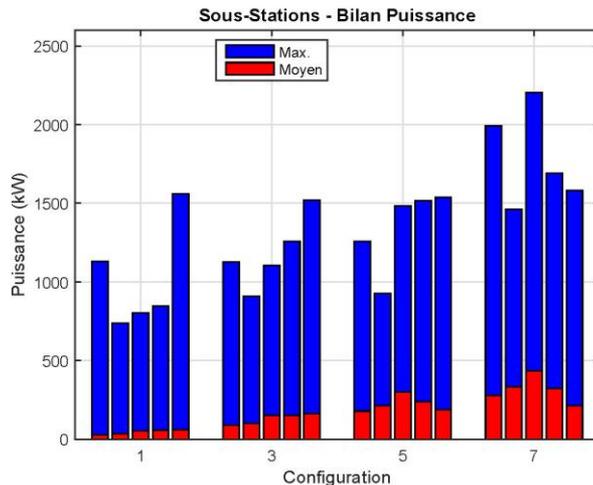
Accumulateurs fixes

– Bilan de puissance des sous-stations: valeurs crêtes réduites



3

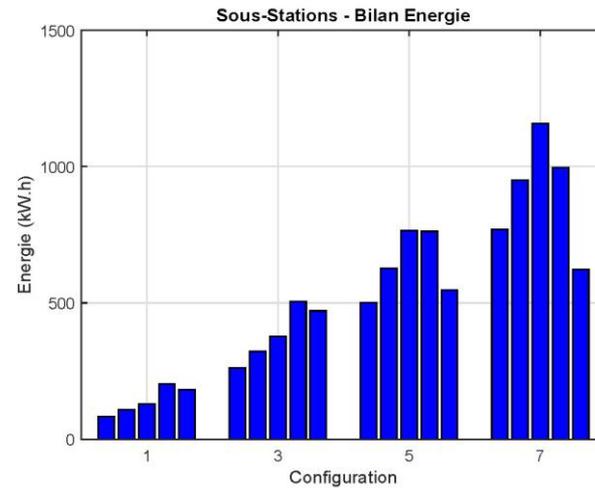
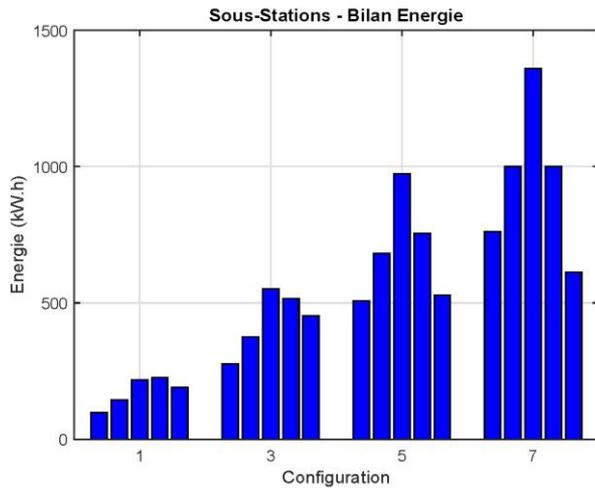
2.3.4



1.2.3.4.5

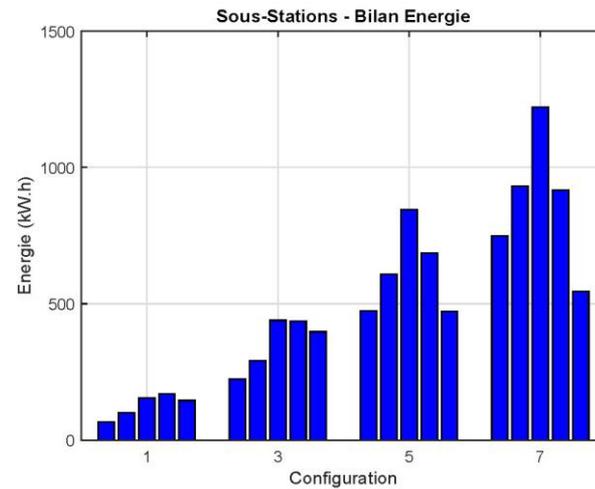
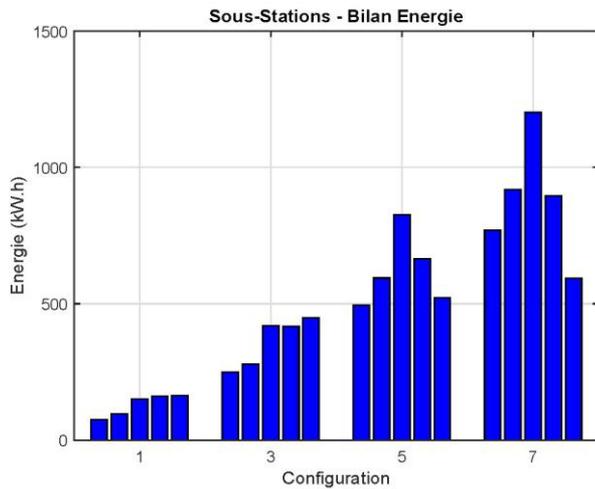
Analyse des résultats

- Accumulateurs fixes
 - Bilan d'énergie des sous-stations: en réduction



3

2.3.4

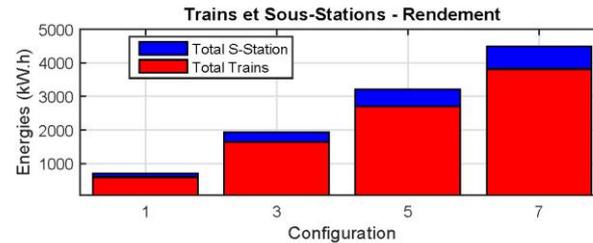
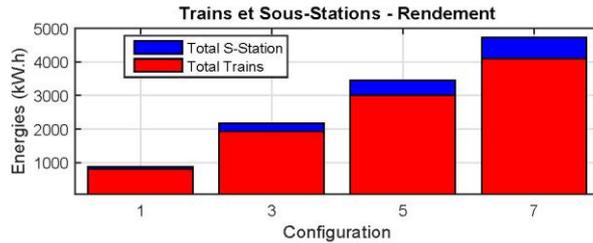


1.2.3.4.5

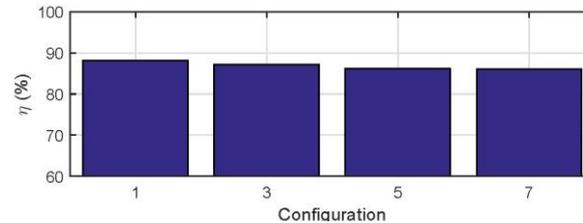
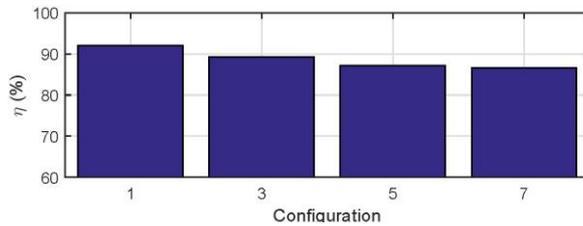
Analyse des résultats

- Accumulateurs fixes

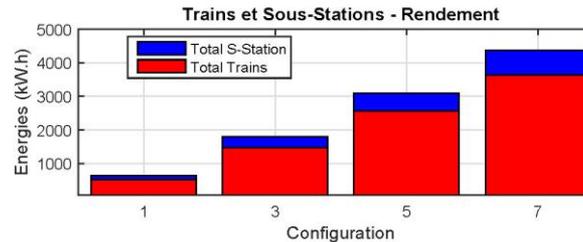
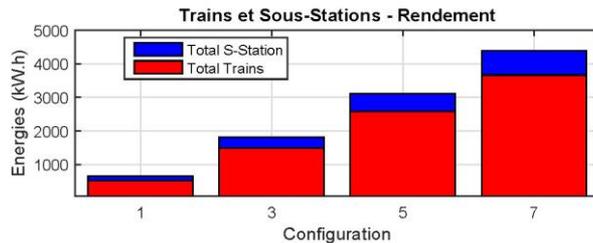
- Rendement global: dégradé par flux d'énergie plus complexes



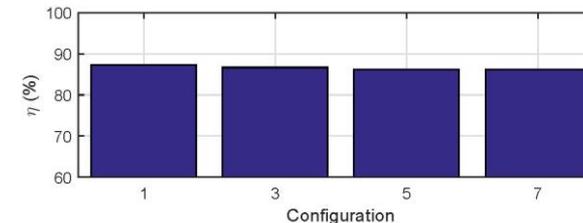
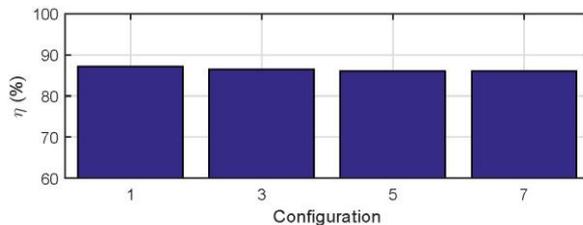
3



2.3.4

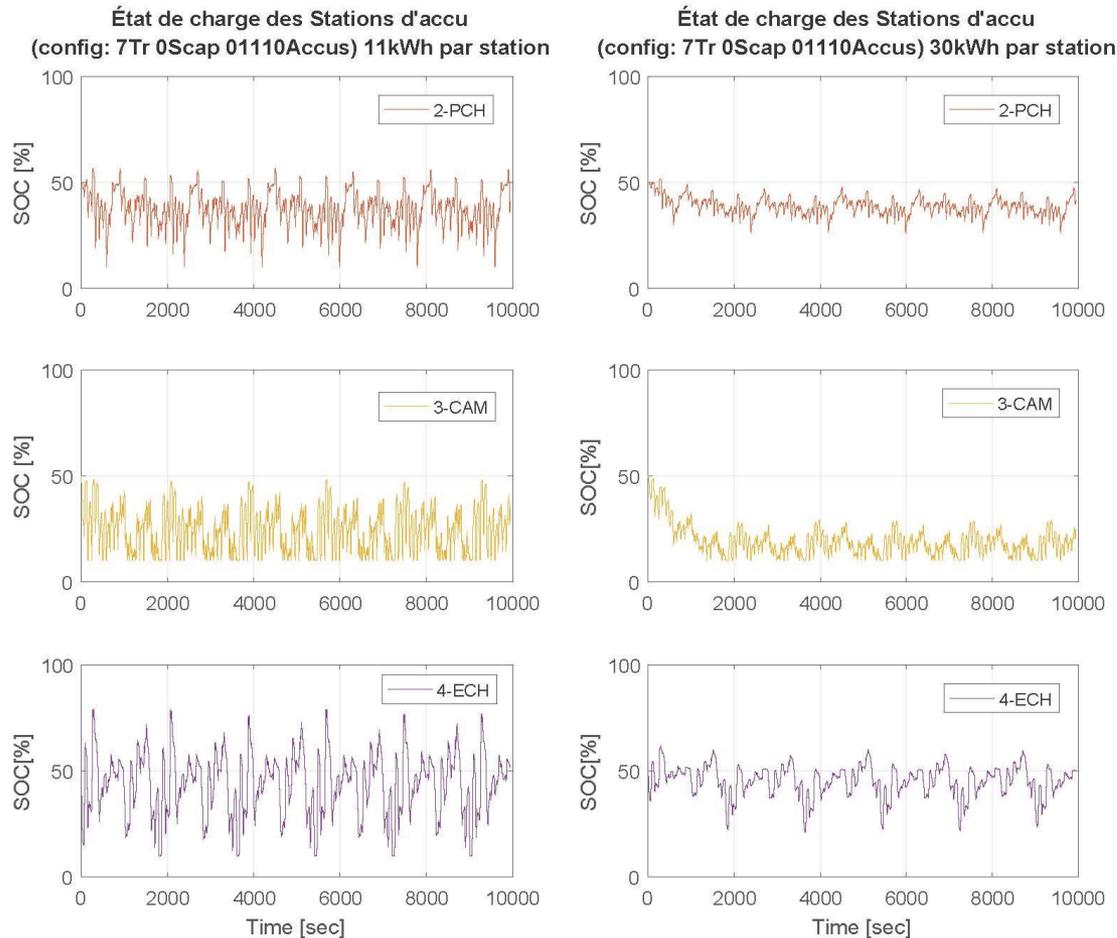


1.2.3.4.5



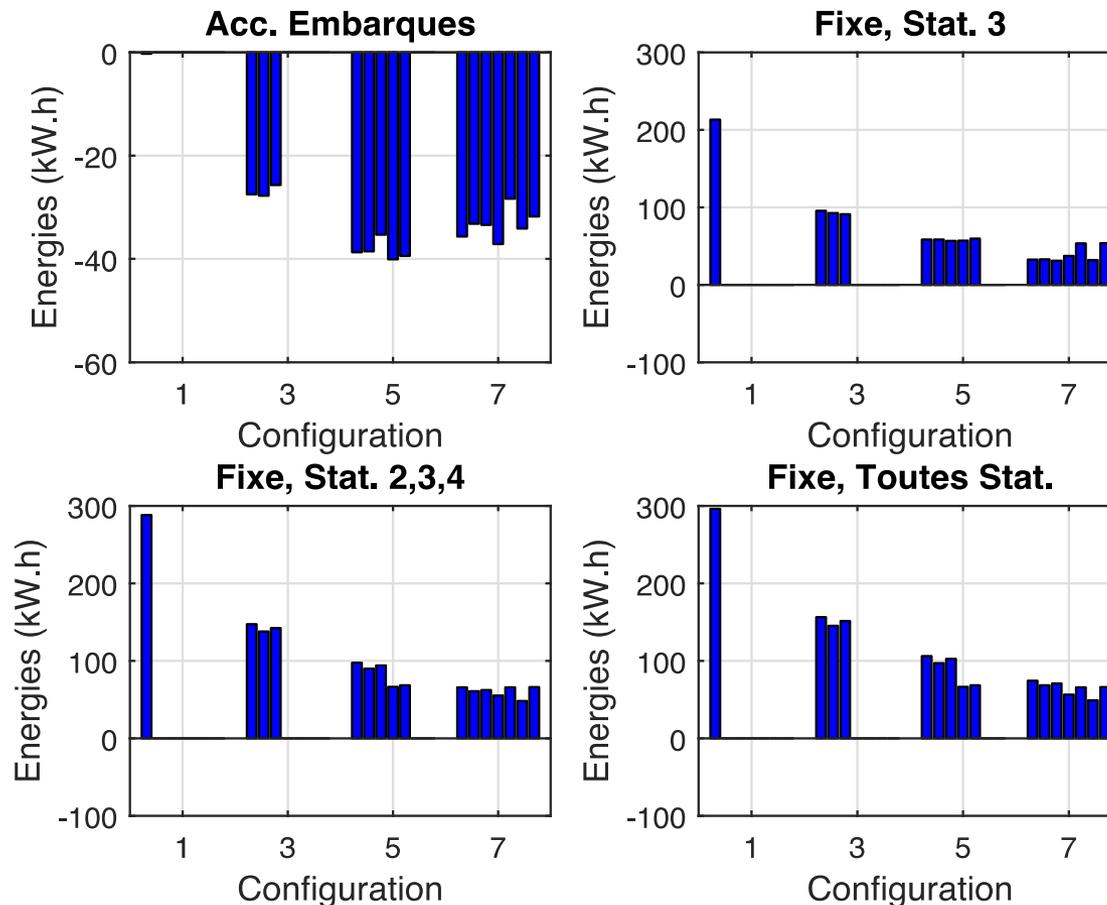
Analyse des résultats

- Accumulateurs fixes
 - Dimensionnement et stratégies: fortement liés!



Résultats comparatifs

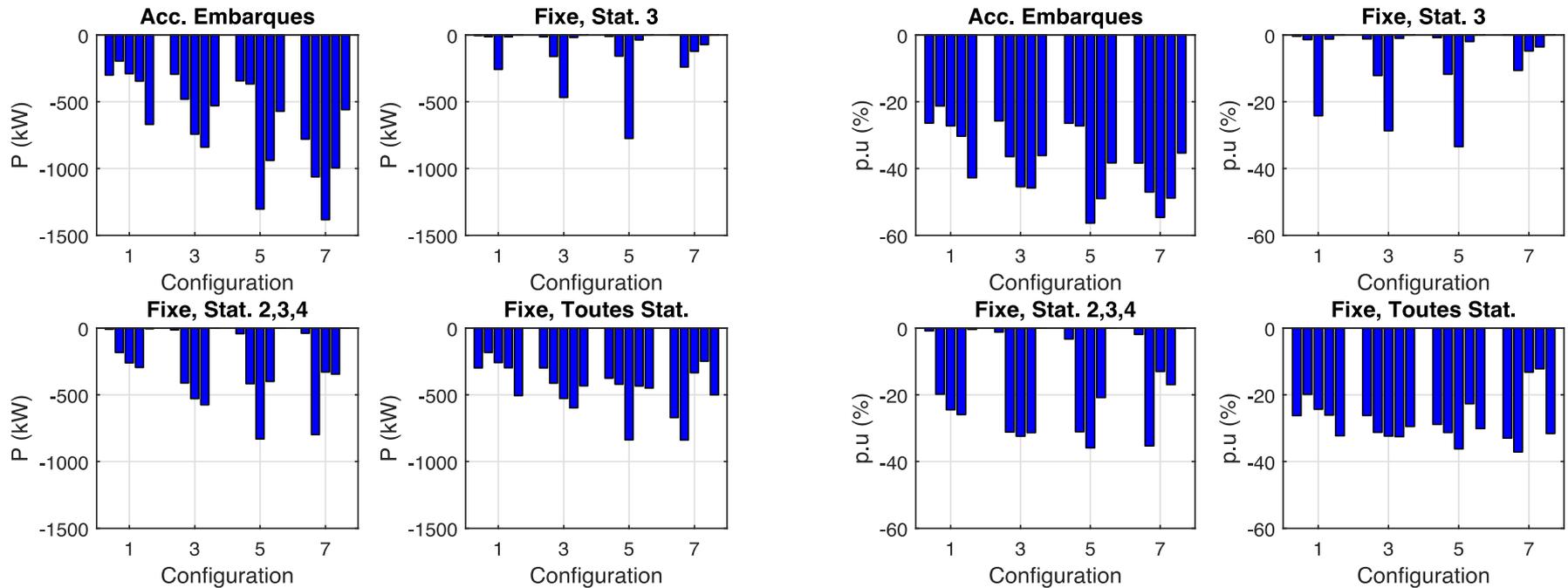
- Energie réinjectée par les trains à la caténaire - Référencé par rapport au cas sans accumulateur



- Energie réinjectée réduite pour les acc. nomades
- Energie réinjectée augmentée pour les acc. fixes, mais pondérée par le nombre de véhicules sur la ligne

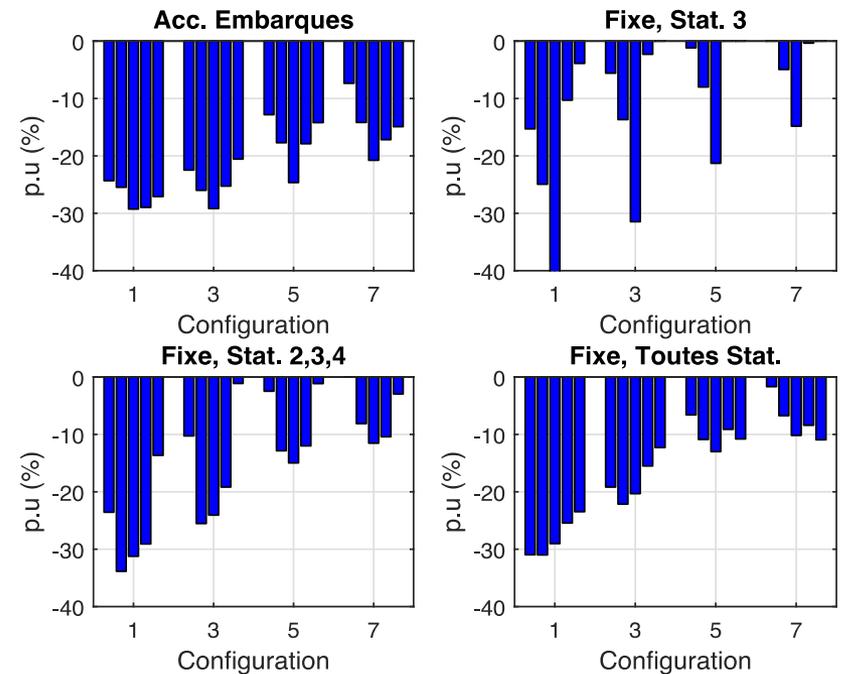
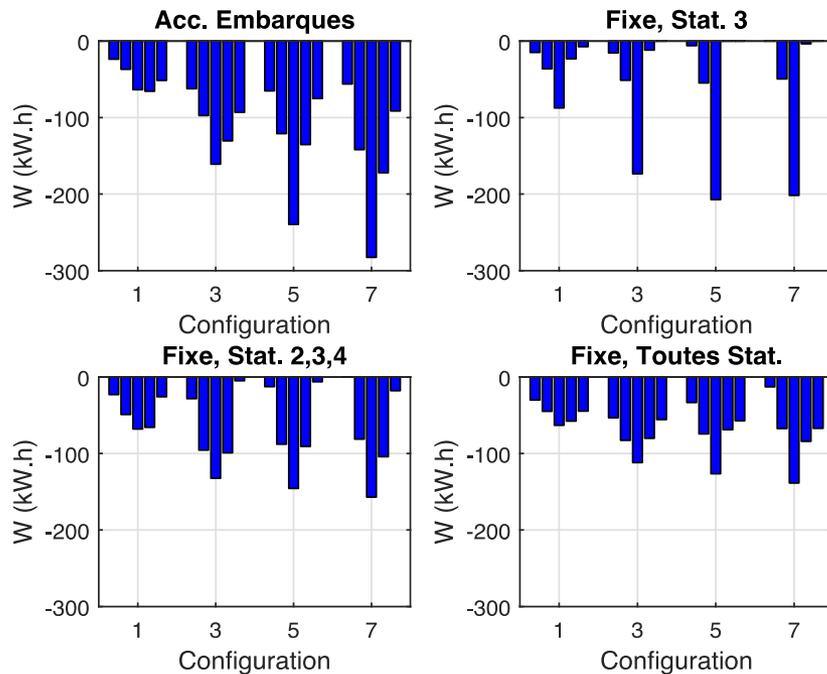
Résultats comparatifs

- Puissances maximales injectées par les sous-stations - Référencé par rapport au cas sans accumulateur
 - Acc. nomade: performances les plus élevées.



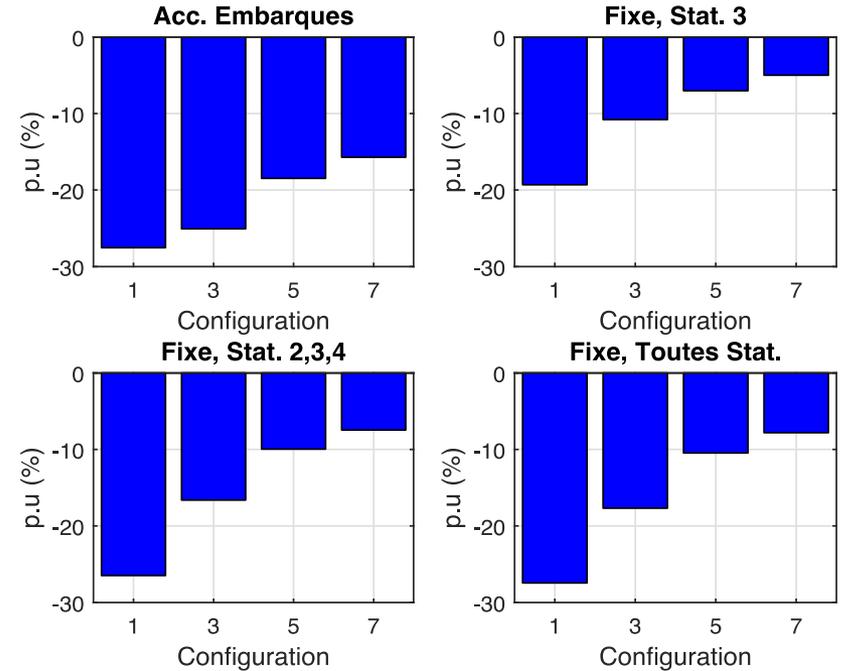
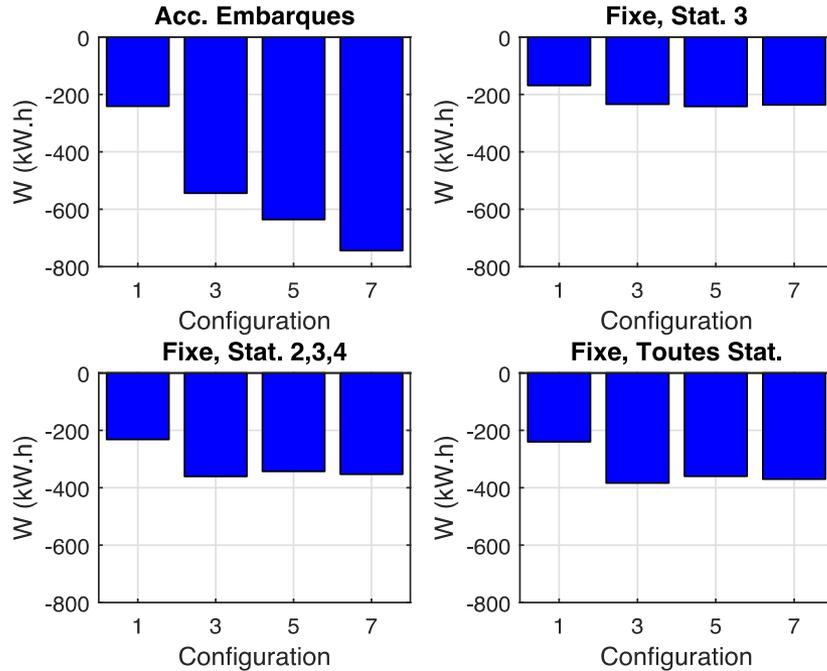
Résultats comparatifs

- Energies injectées par les sous-stations - Référencé par rapport au cas sans accumulateur
 - Acc. nomades: performances les plus élevées.



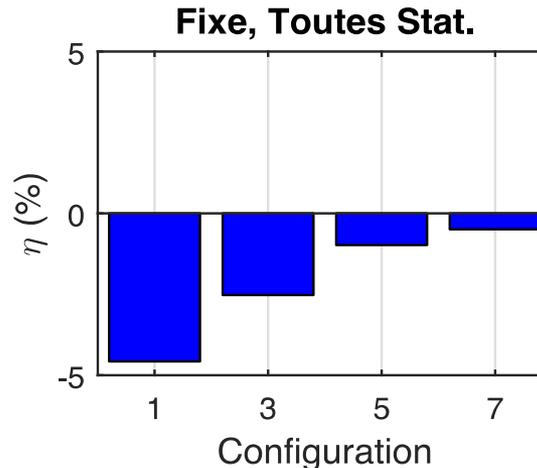
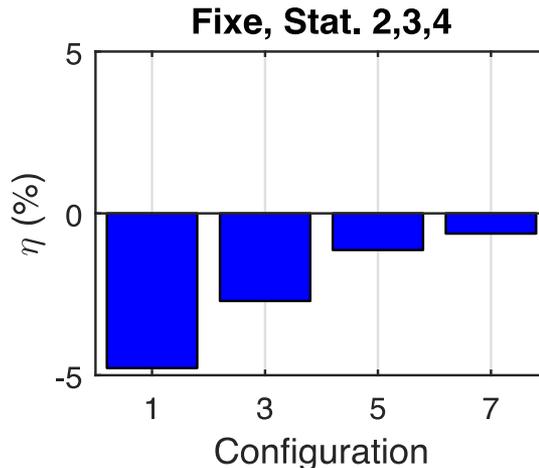
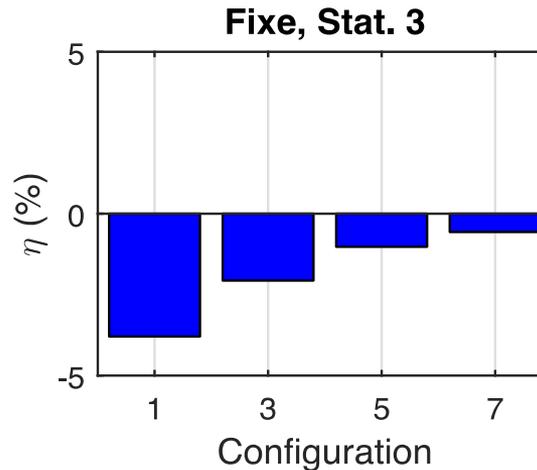
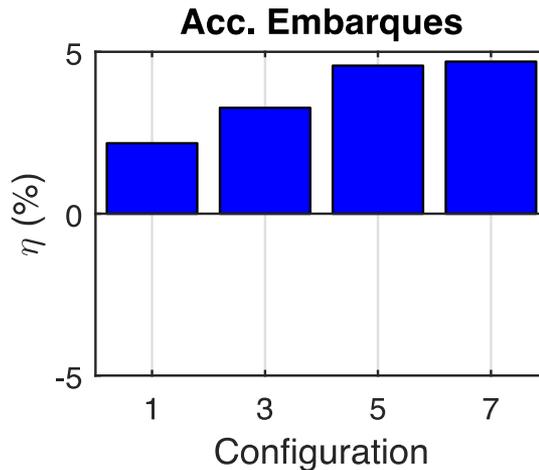
Résultats comparatifs

- Bilan total des énergies injectées par les sous-stations - Référencé par rapport au cas sans accumulateur



Résultats comparatifs

- Rendement global - Référencé par rapport au cas sans accumulateur



- L'insertion d'accumulateurs fixes induit des flux d'énergie complexes, donc une dégradation du rendement.

Conclusion

- Le réseau LEB a été modélisé puis simulé
 - 7 trains (avec/sans accumulateur), 5 sous-stations, 5 accumulateurs fixes
 - Simulateur pouvant être adapté à d'autres réseaux
- Prise en compte de la présence d'accumulateurs
 - Selon des indicateurs de bilans de puissance et d'énergie
 - Identification de rendements globaux
 - Selon accumulateurs du marché (informations catalogue)
 - Selon stratégies de gestion de l'état de charge données
- Résultats principaux
 - Dans tous les cas, la solution à accumulateurs embarqués donne les résultats les plus performants.
 - La solution à accumulateurs fixes
 - Résolution partielle des fluctuations de puissance
 - Effet et bénéfices pondérés par le nombre de trains présents sur la ligne
 - Gestion du rendement plus compliquée

Perspectives

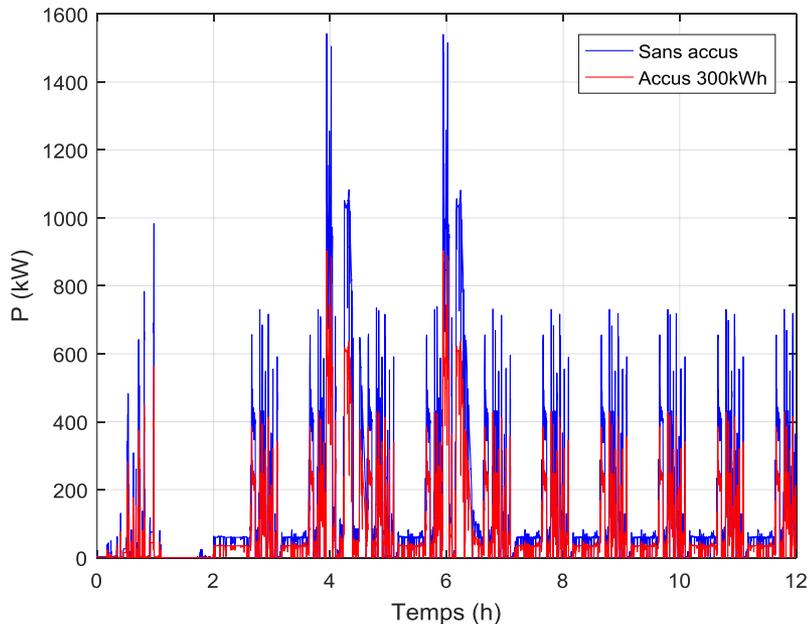
- Continuation de l'étude
 - Projet SETP205, N.074 «Etude préliminaire installation fixe d'accumulation d'énergie»
 - Réseau des Chemins de Fer du Jura (CJ)
 - Lignes «Le Noirmont – La Chaux-de-Fonds», «Le Noirmont – Glovelier», «Le Noirmont - Tavannes».
 - 7 sous-stations, 5 trains passagers, 3 trains marchandises
 - Focalisation sur le stockage fixe:
 - Réduction des puissances crêtes fournies par les sous-stations.
 - Maintien de tension en bout de ligne.

Perspectives

- Continuation de l'étude

- Projet SETP205, N.074 «Etude préliminaire installation fixe d'accumulation d'énergie»
- Résultats préliminaires: 300 kWh installé en sous-station «Scout»

Sous-station Scout
Puissances instantannées



Sous-station Scout
Puissances moyennes (fenêtres 15min)

