

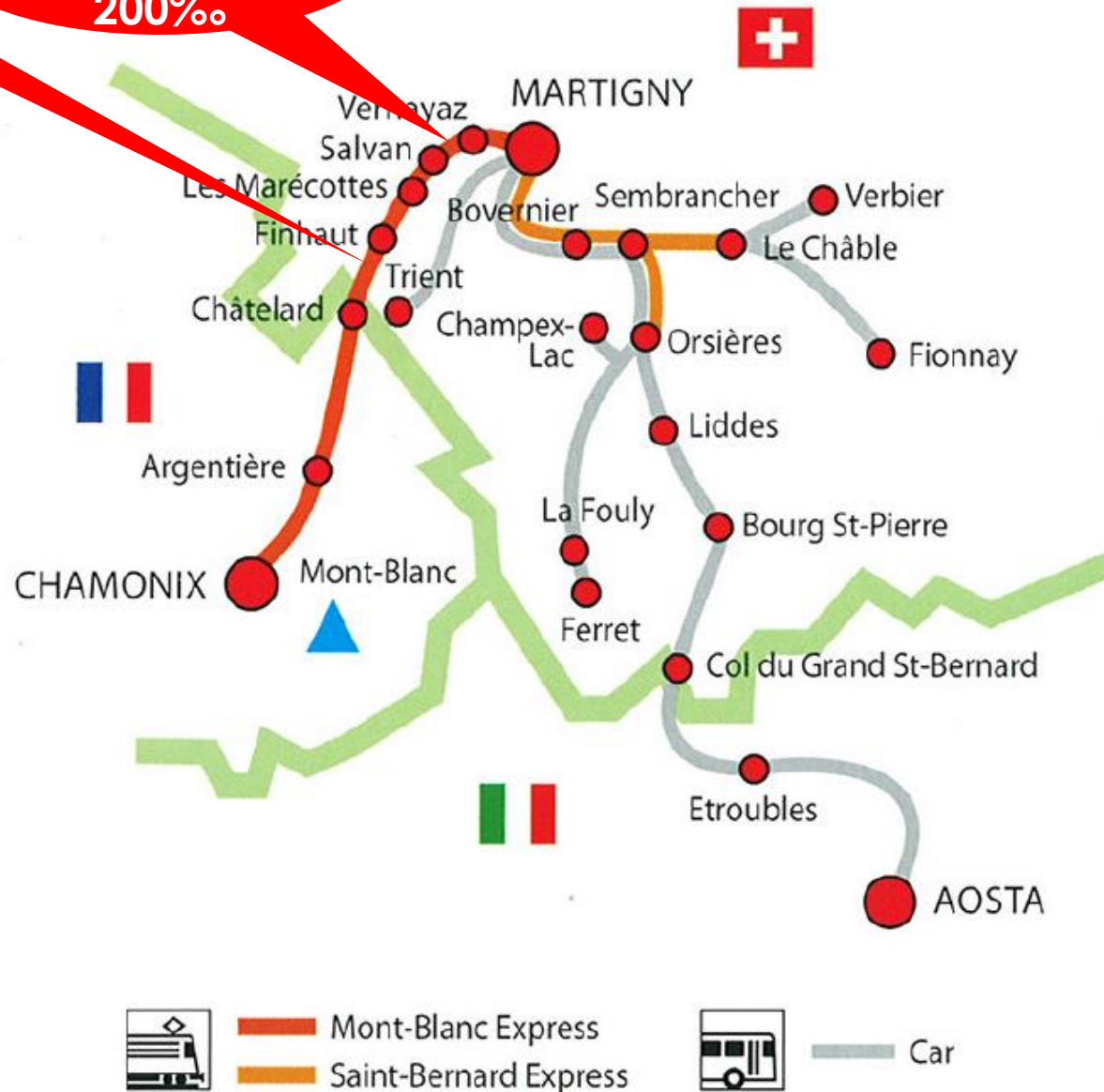


# Récupération de l'énergie dissipée au freinage sur le Mont-Blanc Express

Workshop forum énergétique UTP – 30.01.2018

CH:  
18 km

Tronçon  
crémaillère  
200‰



Mont-Blanc Express  
Saint-Bernard Express



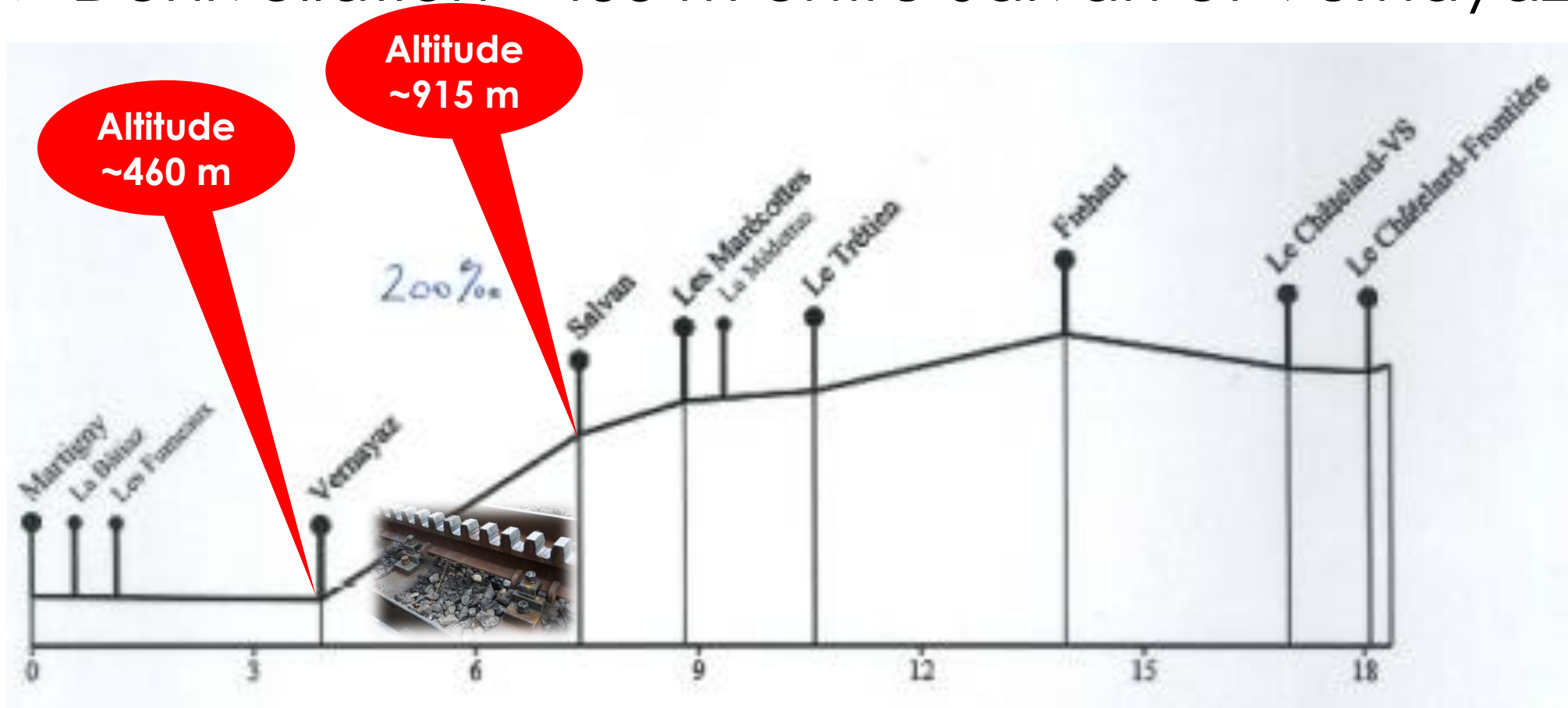
Car





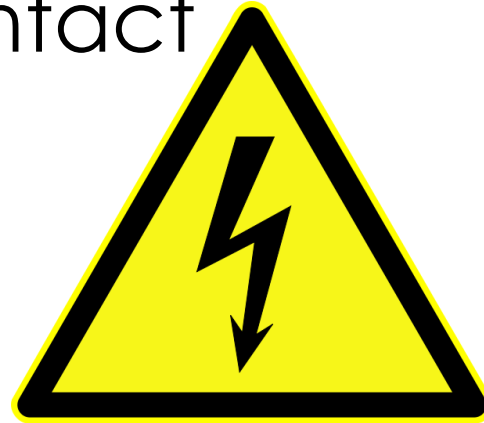
# Caractéristiques de la ligne

➤ Dénivellation ~455 m entre Salvan et Vernayaz








# Caractéristiques de la ligne

- Alimentation électrique par rail ou ligne de contact
- CC 850 V
- 3 sous-stations



# Les véhicules



Véhicule	Photo	Longueur	Poids total max. unité simple	Nbre de voyageurs max.	Possibilité d'UM (Unité Multiple)
Z 870 (Z871 et Z872)		40.8 m	86 t	213	OUI
Z800 (801, 802, 803, 821, 822)		37.8 m	81 t	104	OUI
BDeh 4/8 + Bt (Autom. 7 et 8, voitures 64, 67, 68)		18 m 15.4 m	46.8 t 22.2 t	180	NON
BDeh 501		17.8 m	47.5 t	Infrastructure 40 max	NON
Xemh 4/4 (Bobby)		18 m	46.8 t	Infrastructure	NON



# Origine du projet



- Politique environnementale TMR: efficacité énergétique!
- Volonté de valoriser l'énergie dissipée au freinage!
- Plusieurs études commandées
- Plusieurs variantes prises en considération
- SETP 2050 & possibilité de soutien de l'OFT



# Variantes

Option	Éléments bloquants
<b>Utilisation directe du courant électrique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pic de production lorsque l'autre train est aussi dans une descente. Nécessité de modifier le lieu de croisement.</li><li>• Distance entre producteur et consommateur + résistance du RC = importantes pertes de tension.</li></ul>
<b>Revente du courant électrique</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nécessité d'une sous-station réversible</li><li>• Prix trop bas à la revente</li><li>• Production trop fluctuante, n'intéresse pas les acheteurs</li></ul>
<b>Système de stockage embarqué</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Manque de place dans les rames</li><li>• Nécessite une homologation</li><li>• Augmente le poids des machines, indésirable en crémaillère</li></ul>





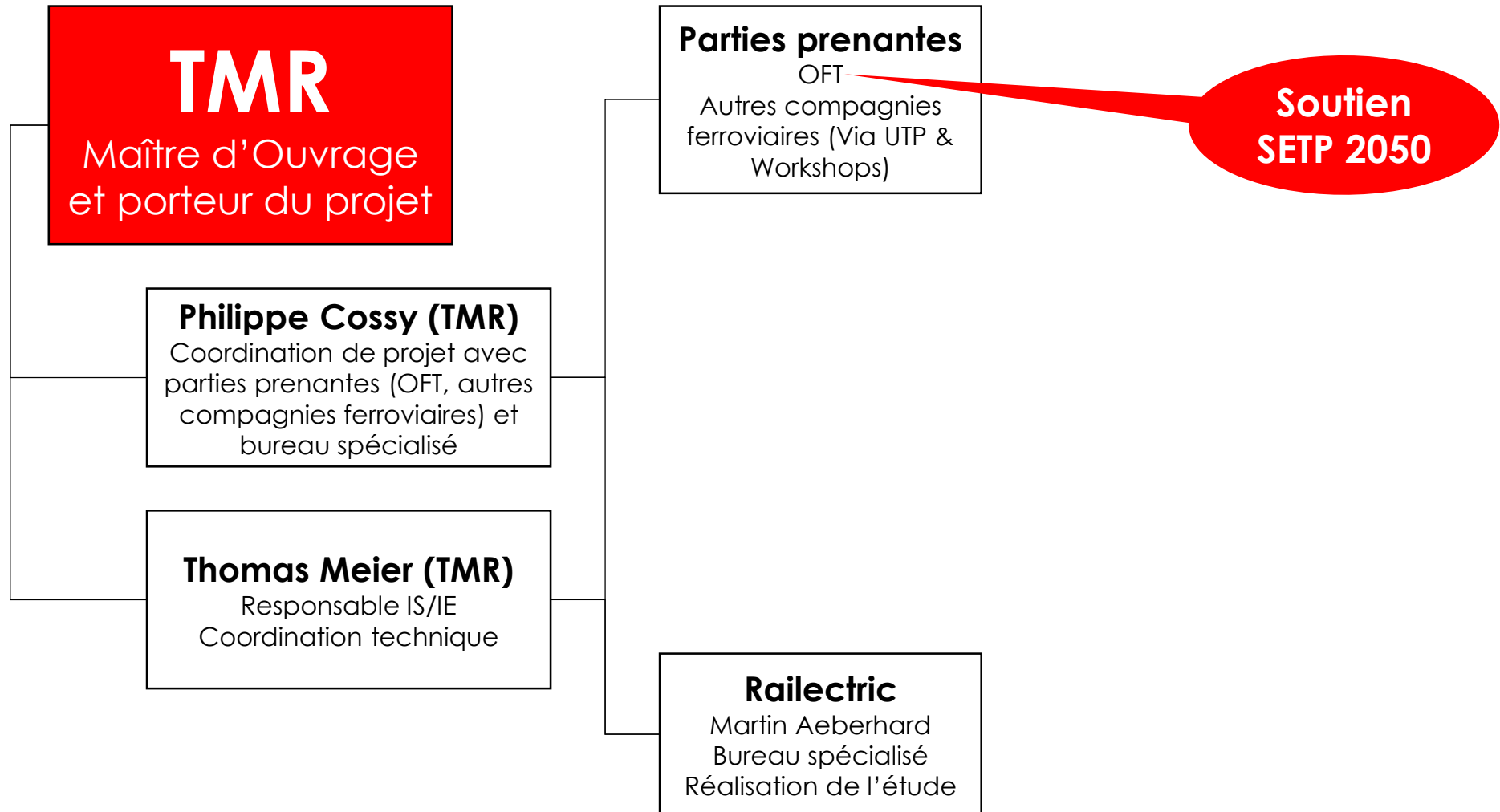
# Objectifs du projet



- Déterminer le type, la capacité et l'emplacement adéquats du système de stockage par simulation.
- Recevoir, de la part de fabricants de systèmes de stockage, des offres indicatives selon les spécifications obtenues.
- Mettre à disposition des parties intéressées le résultat des investigations

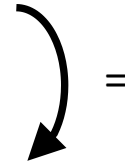


# Organigramme



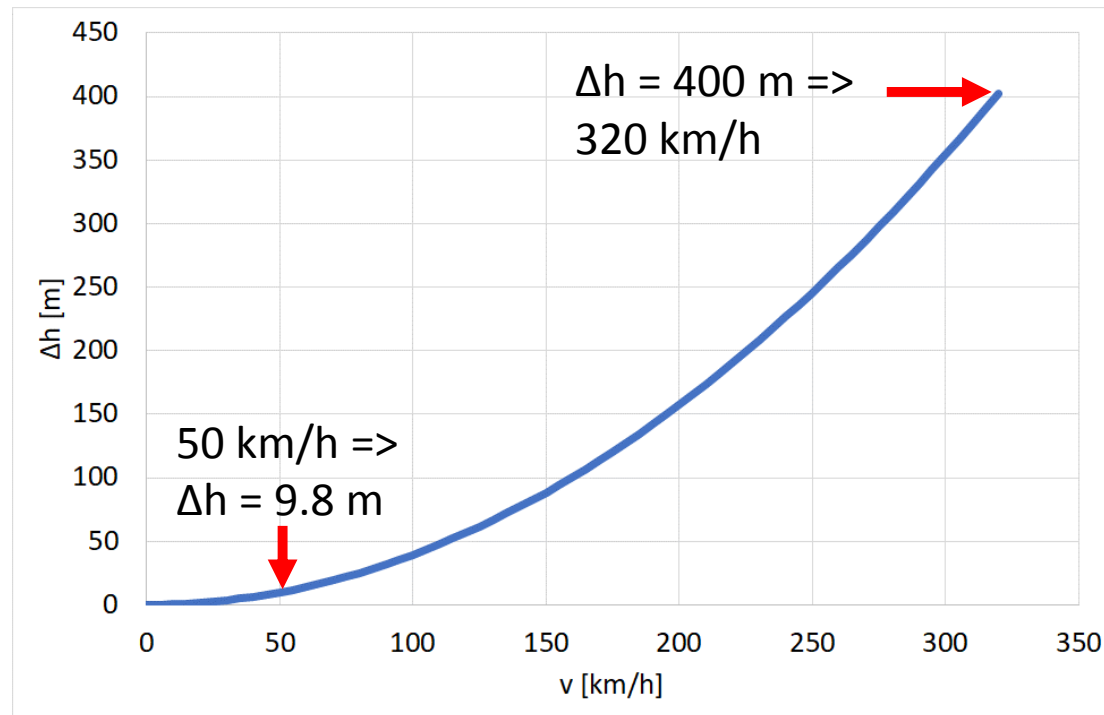
# Récupération sur crémaillère Un enjeu considérable...

Energie cinétique:  $E = \frac{1}{2} * m * v^2$



Energie potentielle:  $E = m * g * \Delta h$

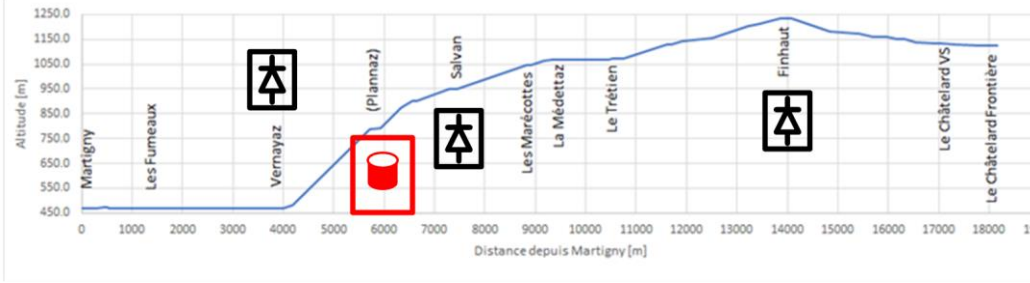
$$\Delta h = \frac{v^2}{2 * g}$$



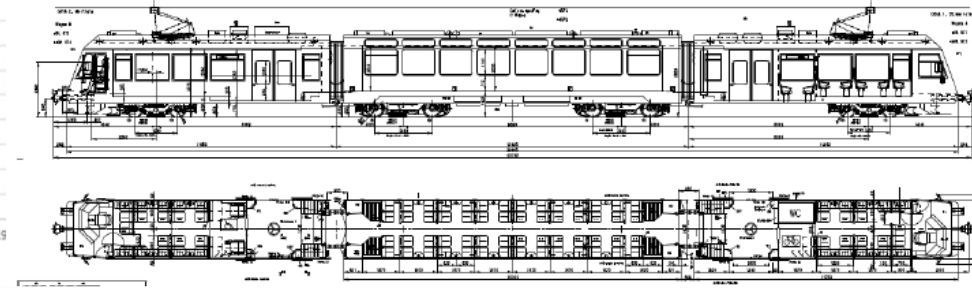
# Modèle de simulation (simulateur $\mu$ PAS/ZFS)



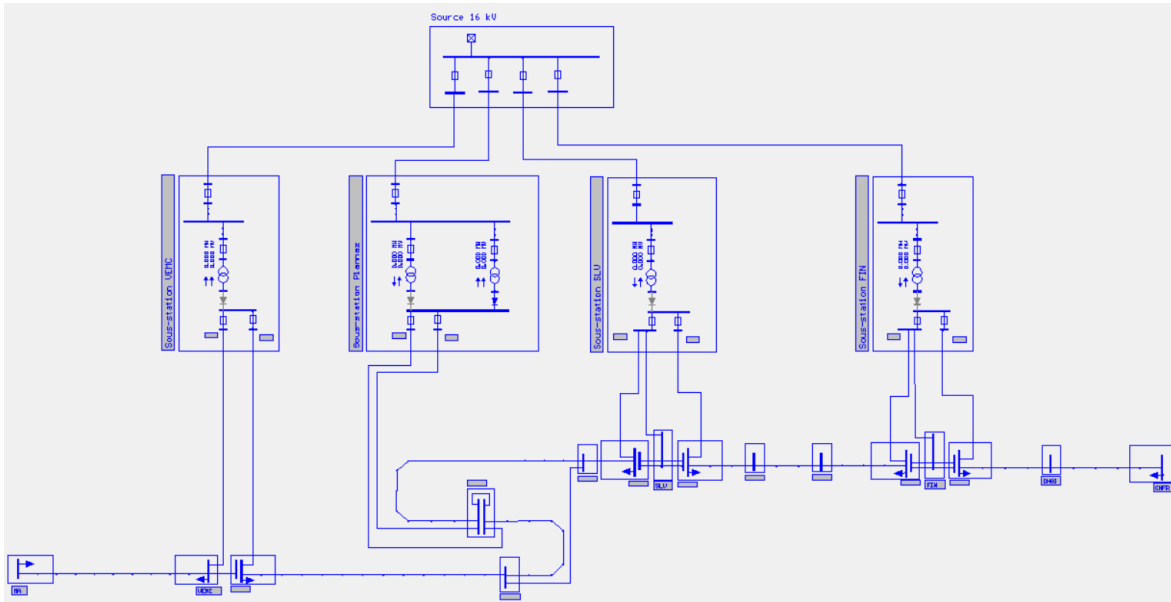
## Caractéristiques ligne



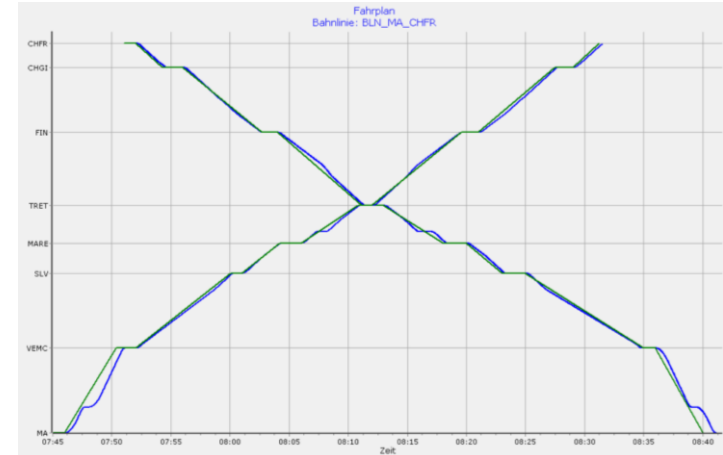
## Matériel roulant



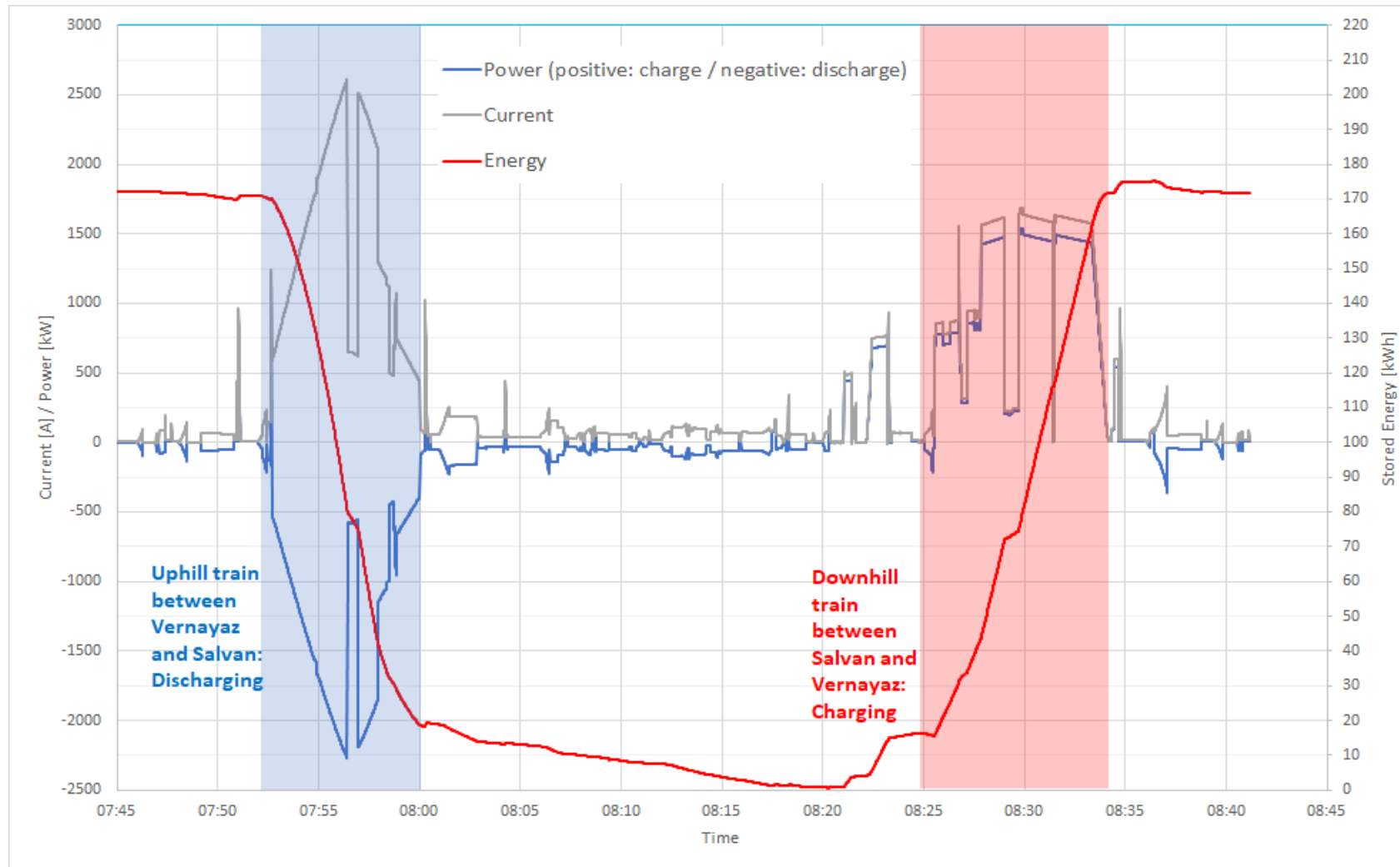
## Réseau électrique d'alimentation



## Horaires des trains



# Résultats de simulation

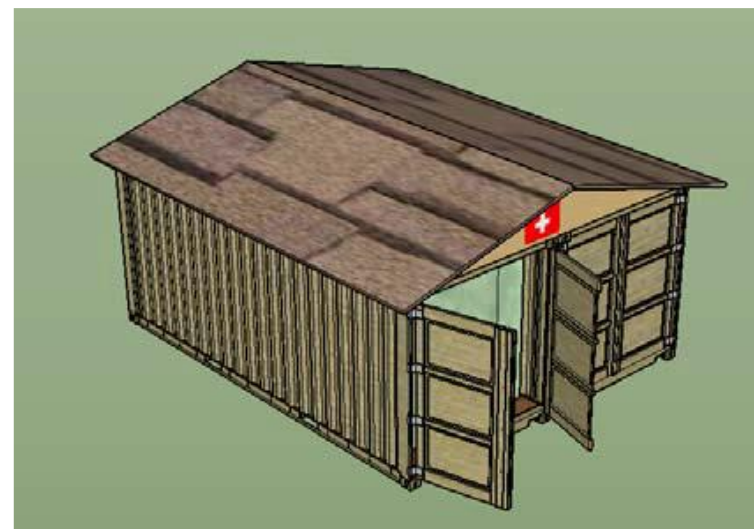


# Solutions proposées

	Proposition 1	Proposition 2	Proposition 3	Proposition 4
Technologie	Batterie	Batterie	Batterie	Volant d'inertie
Capacité E (kW/h)	86*	90*	86*	86*
Puissance (kW)	1000	835	1300	
Durée vie batterie (a)	10.2	10	6	NA
Prix (€)	~1,05 Mio	~0,97 Mio	~0,95 Mio	
Dont batterie (%)	?	~49	50-55	

\* Capacité d'énergie cyclable

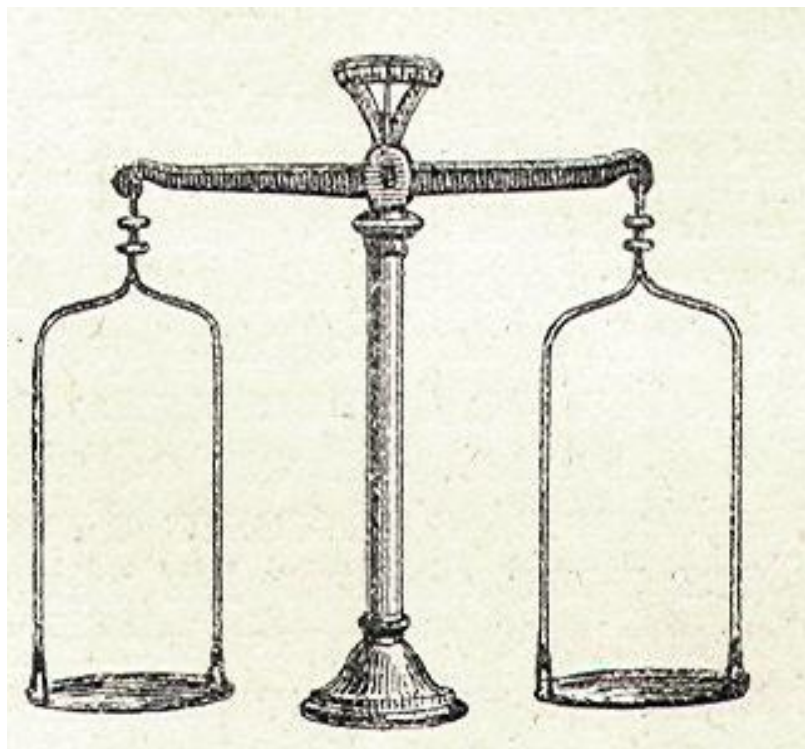
**Env. 15 fournisseurs contactés**  
**4 propositions concrètes**  
**1 proposition alternative**



# Bilan économique

Investissement  
(selon slide 14)

Maintenance /  
remplacement (des  
batteries notamment)



Economie d'énergie par  
récupération, base:

Capacité de stockage 90 kWh\*),  
18 cycles charge-décharge/jour

- Pertes de conversion
- Chauffage/climatisation des  
batteries

= ~ 530'000 kWh/an économisés

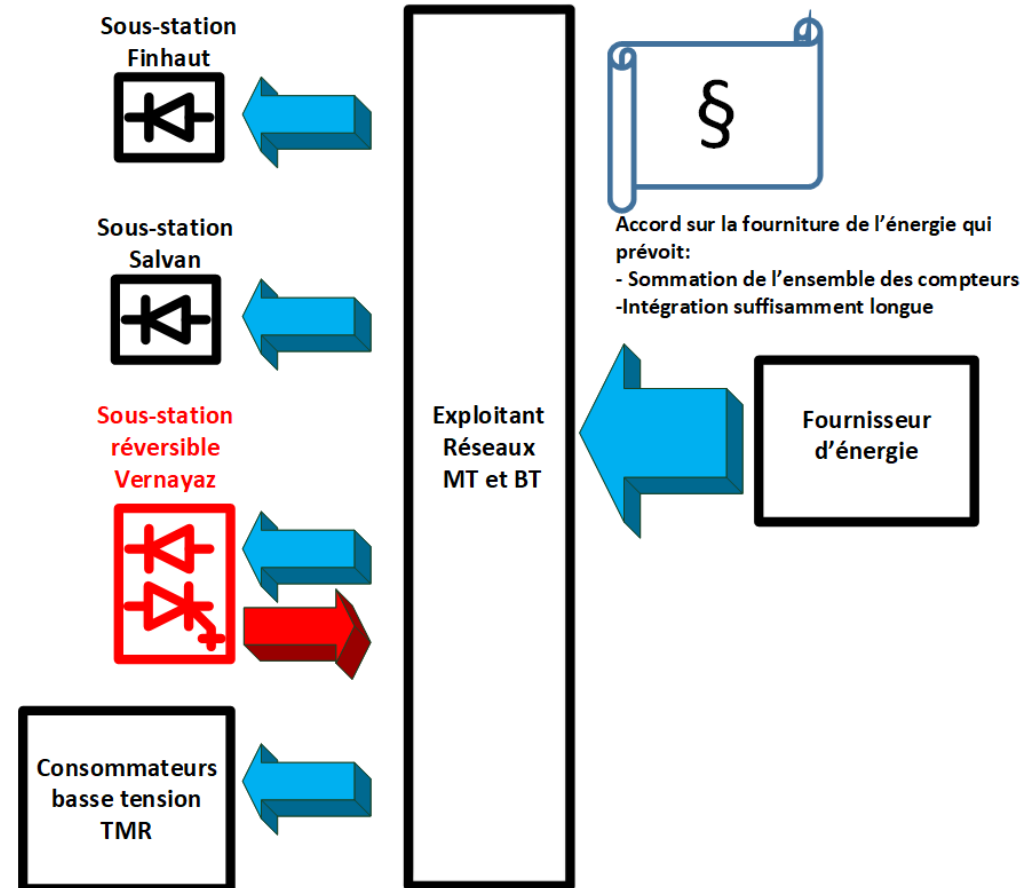
=> ~ 85'000 CHF/an économisés

\*) L'utilisation de la capacité dépend, entre autres, de la charge (masse brute) des rames, de la résistance à l'avancement, des pertes dans la chaîne de traction et des pertes dans la ligne de contact, du chauffage/climatisation ...



# Alternative(s)

- Remplacement d'une sous-station existante (à diodes) par une sous-station réversible
- Avantages:
  - Meilleur rendement (pas de chauffage/climatisation des batteries)
  - Moins cher
  - Pas de question durée de vie des batteries
- Inconvénient:
  - Nécessité de revendre l'énergie récupérée à l'exploitant du réseau 16kV
- Ou bien... combinaison sous-station réversible avec un stockeur (plus petit?)?





# Conclusions & Perspectives



- Rentabilité non acquise!
- Des conditions/informations manquent encore:
  - Garantie sur la durée de vie des batteries?
  - Coûts de maintenance?
  - Coût de recyclage/élimination des batteries?
  - Possibilités de subventionnement?
- Poursuite des investigations (alternatives)
- Prochain Workshop avec conclusions finales
- Rapport final → OFT & Parties intéressées

