

# Introduction à l'optimisation

---

MU4MEN01 : CALCUL SCIENTIFIQUE – 3 ECTS

RESPONSABLE D'UE ET COURS : FLORENCE OSSART

# Présentation du projet

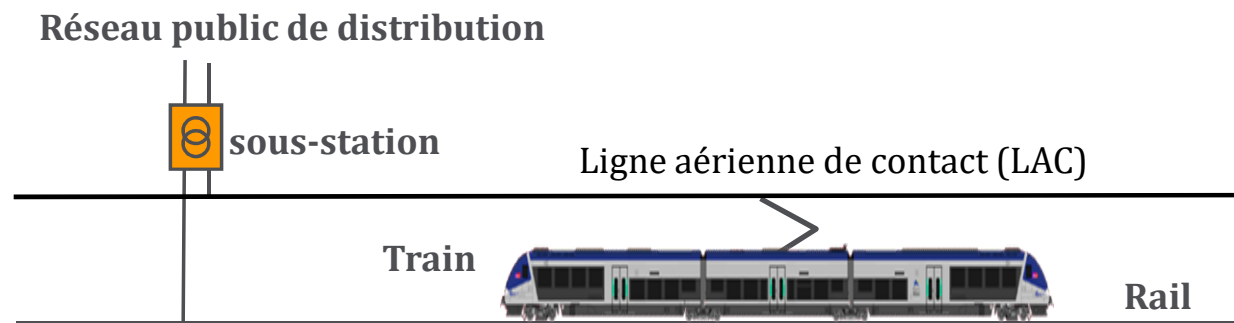
---

DIMENSIONNEMENT D'UN STOCKAGE EMBARQUÉ DANS UN  
TRAMWAY – POSITIONNEMENT D'UNE SOUS-STATION  
D'ALIMENTATION

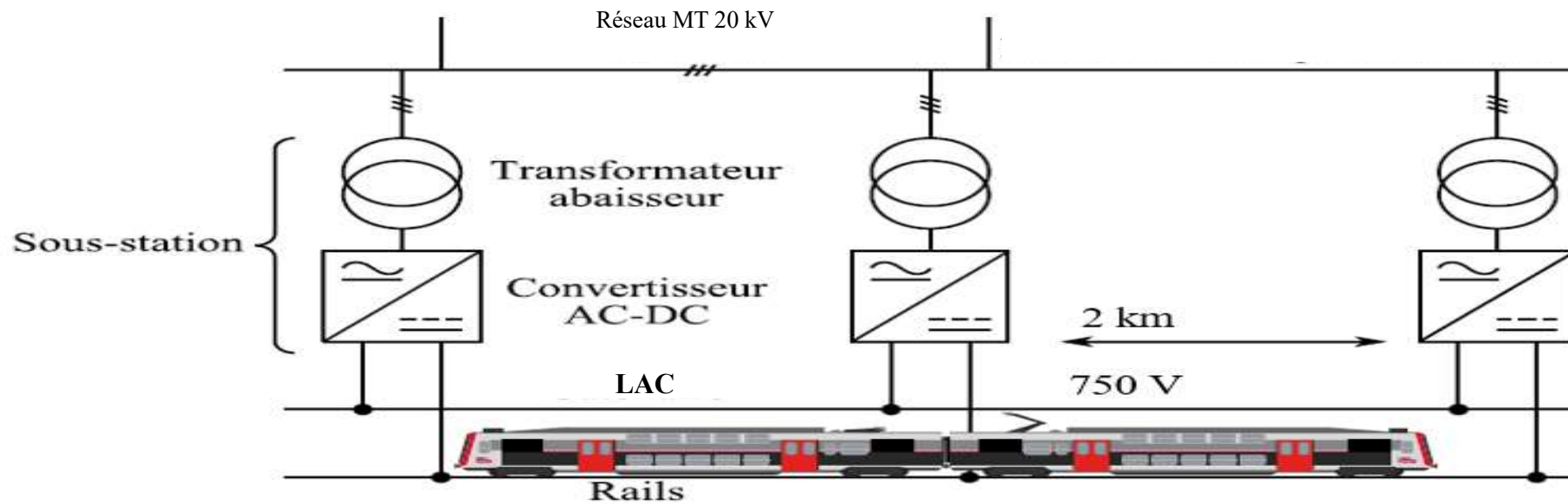
# Systeme étudié

---

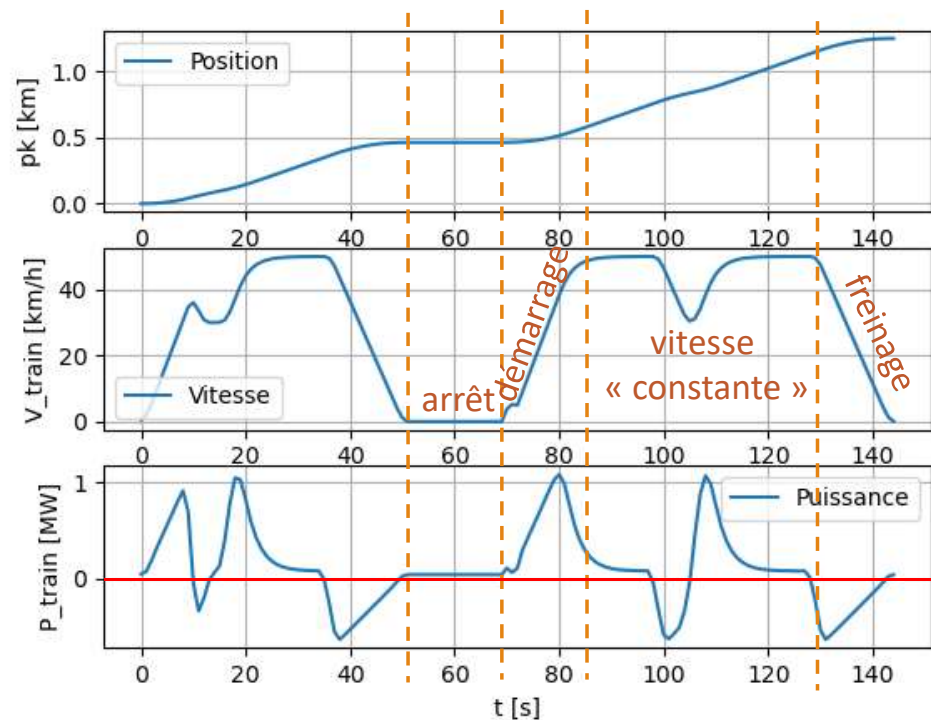
→ Principe de la traction ferroviaire électrique



# Tramway alimenté en 750 V DC



# Calcul de la puissance du train au cours d'un trajet



Position

Vitesse

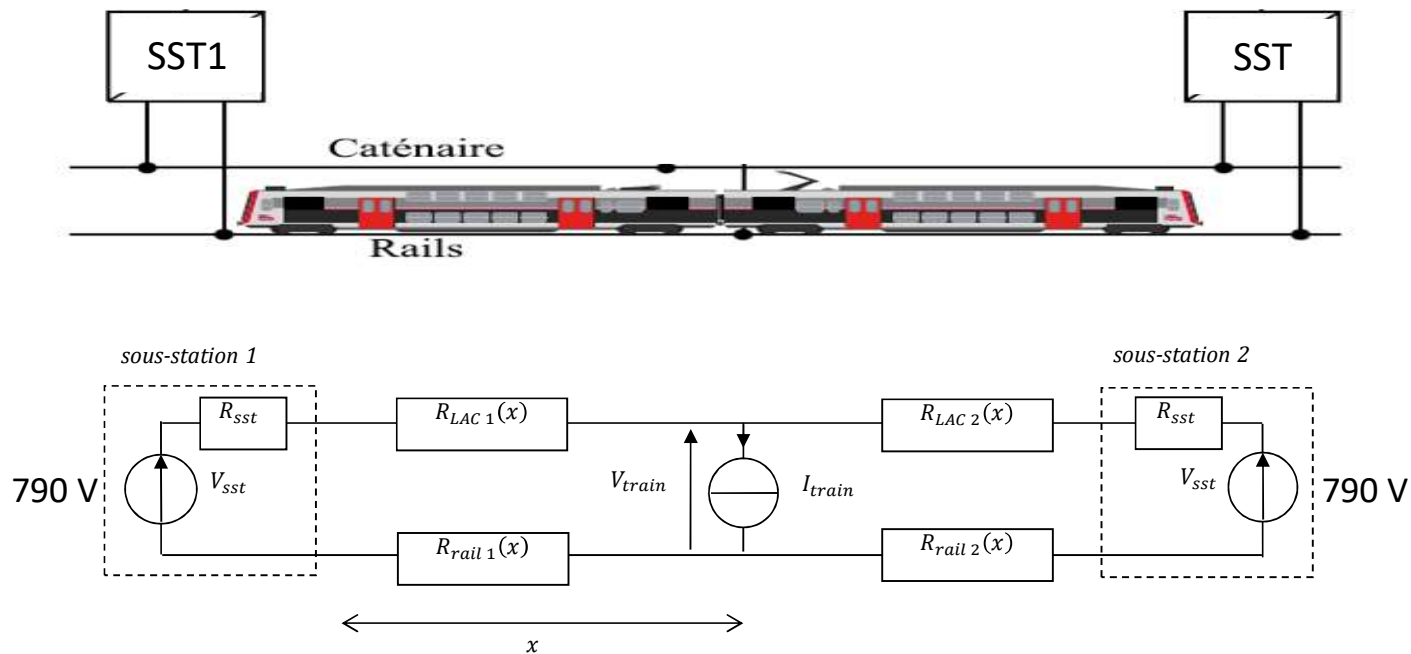
Accélération

Principe fondamentale de la dynamique

Forces appliquées au train

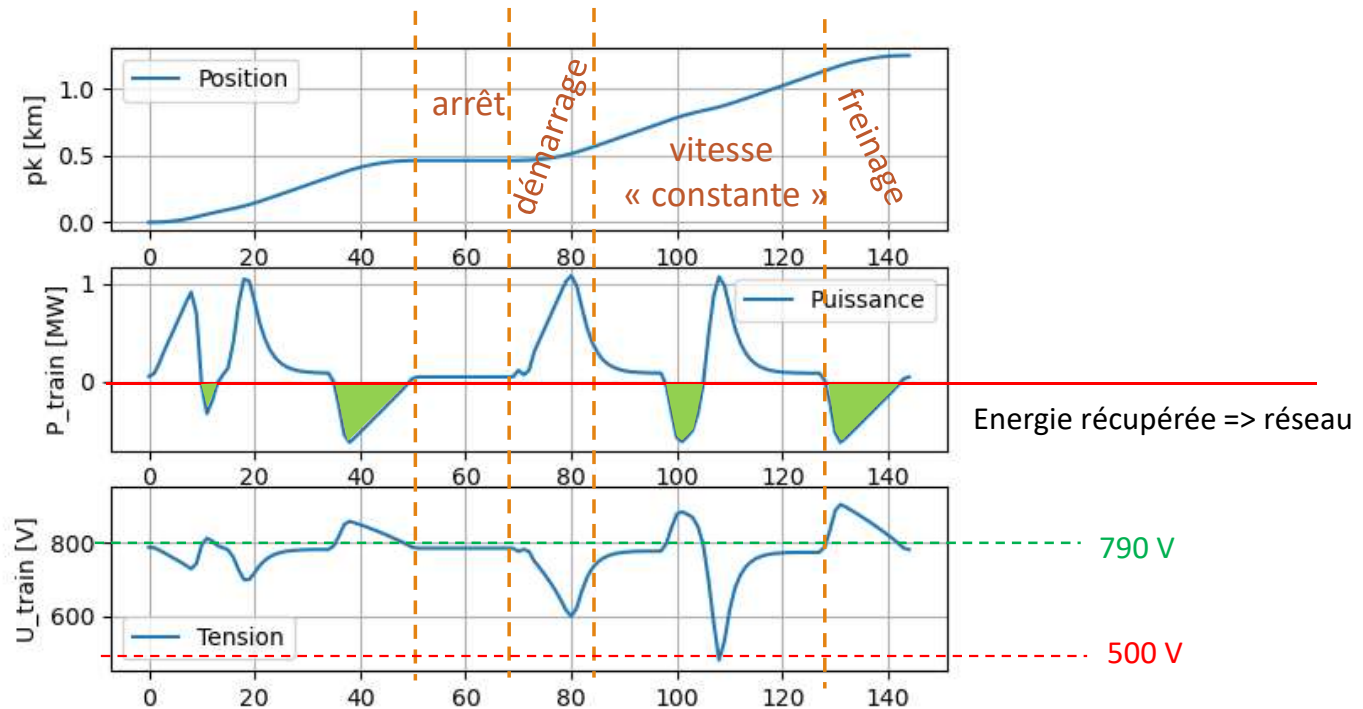
Puissance

# Circuit équivalent pour un train sur une ligne avec 2 SST



# Tension et courant au cours d'un trajet

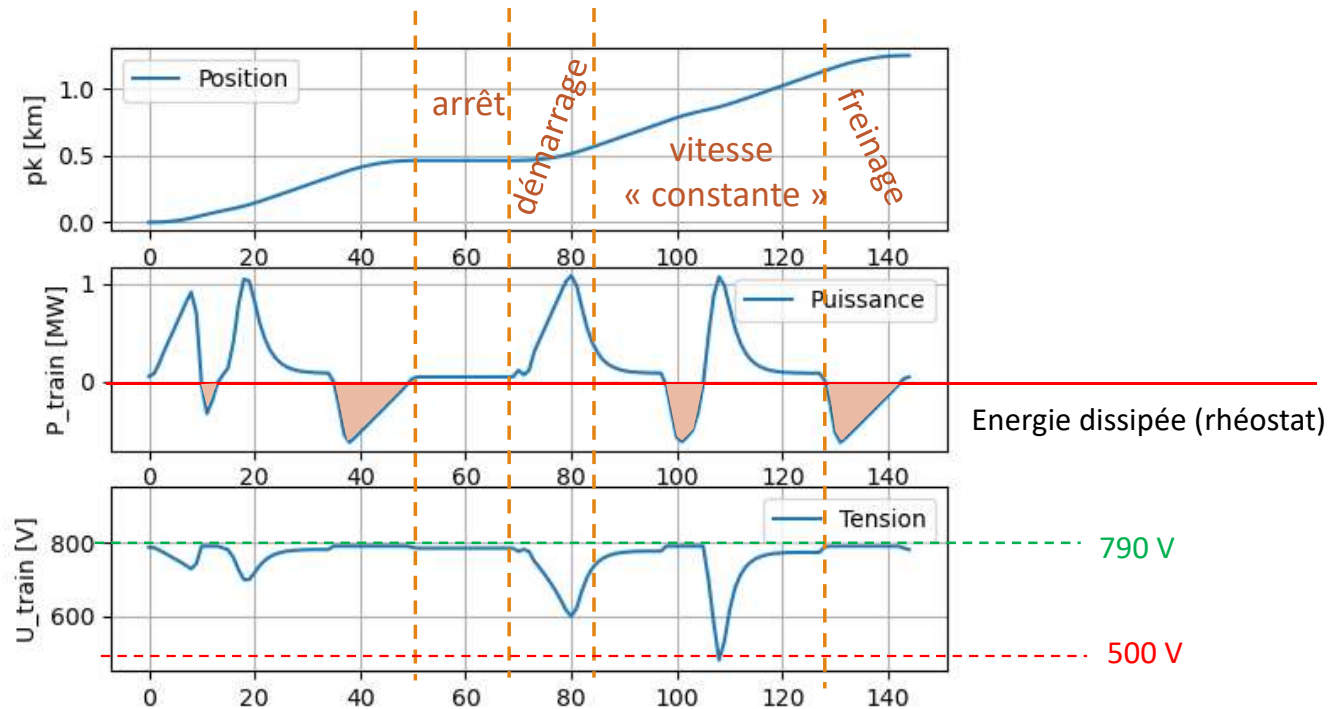
→ Pour une SST **réversible** : renvoi d'énergie vers le réseau possible



Tension  $U_{train}$  variable  
Norme :  $U_{train} \geq 500$  V

# Tension et courant au cours d'un trajet

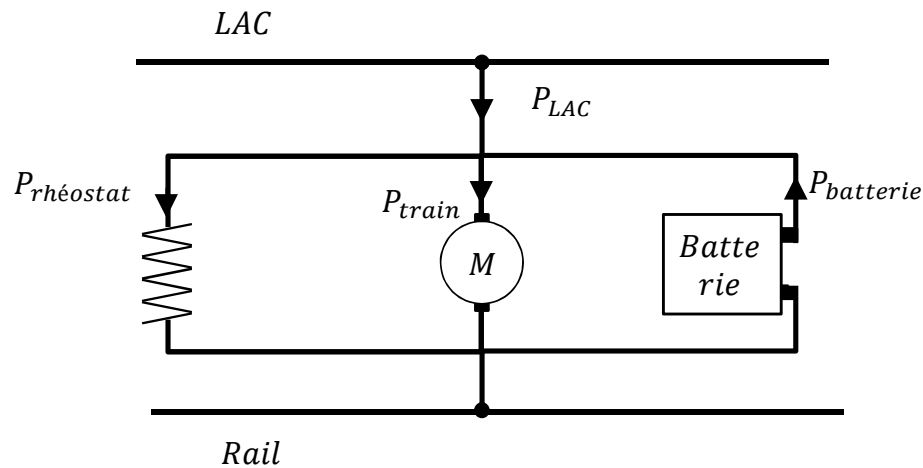
→ Pour une SST **irréversible** : renvoi d'énergie vers le réseau impossible



Tension  $U_{train}$  variable  
Norme :  $U_{train} \geq 500$  V



# Ajout d'un stockage embarqué (batterie)



- $P_{train}(t) = P_{LAC}(t) + P_{batterie}(t) - P_{rhéostat}(t)$

Quand  $P_{train}(t) \geq 0$  :  $P_{train}(t) = P_{LAC}(t) + P_{batterie}(t)$

alimentation par LAC + batterie

Quand  $P_{train}(t) \leq 0$  :  $P_{train}(t) = P_{batterie}(t) - P_{rhéostat}(t)$

freinage rhéostatique + charge batterie

Besoin d'un algorithme de gestion de la batterie – Ici, gestion à base de règles

# Notre problème : dimensionner le système d'alimentation

---

## → Cahier des charges :

- Alimenter les trains pour qu'ils réalisent leur mission (profil  $x(t)$  donné)
- Respecter les normes ferroviaires, en particulier  $U_{train} \geq 500 \text{ V}$

## → Choix techniques :

- Capacité de la batterie embarquée
- Paramètres de la loi de gestion de la batterie (typiquement des seuils de décision)

## → Objectifs d'optimisation :

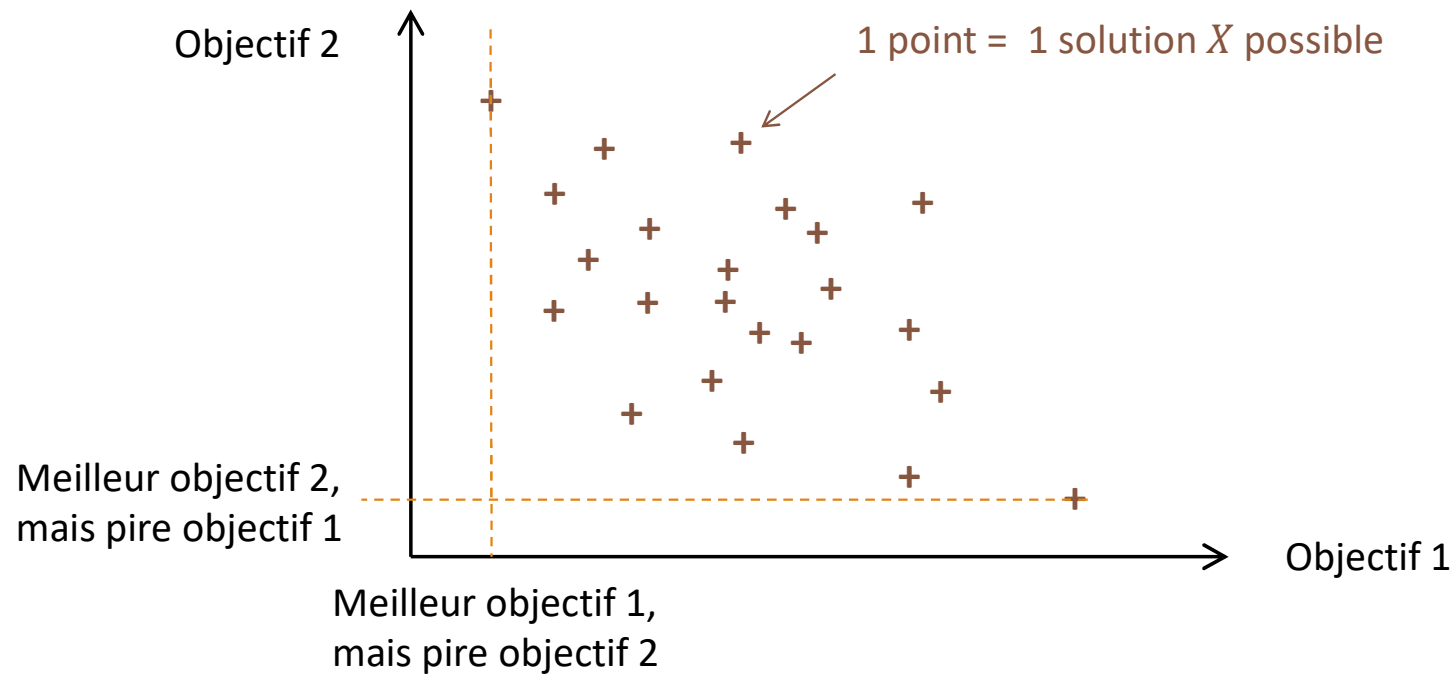
- Minimiser la capacité de la batterie
- Minimiser la chute de tension  $V_{sst} - V_{train}$ , qui caractérise la robustesse de l'alimentation

# Optimisation bi-objectifs

---

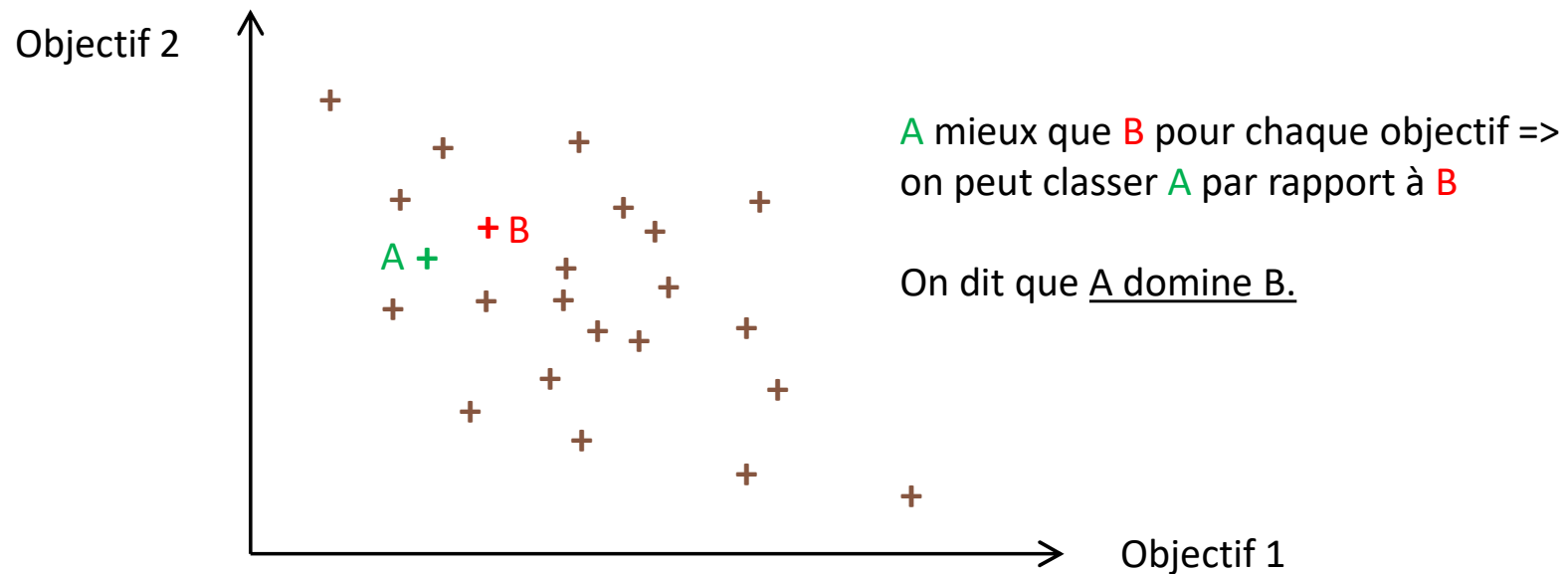
- Situation courante en conception, avec des objectifs contradictoires
- Objectif 1 : minimiser le coût de la solution technique choisie
- Objectif 2 : maximiser la performance de la solution technique choisie (ou minimiser ses défauts)
- En général, pas de surprise, plus c'est performant, plus c'est cher...
- Le problème est de déterminer les meilleurs compromis coût/performance

# Représentation dans l'espace des objectifs



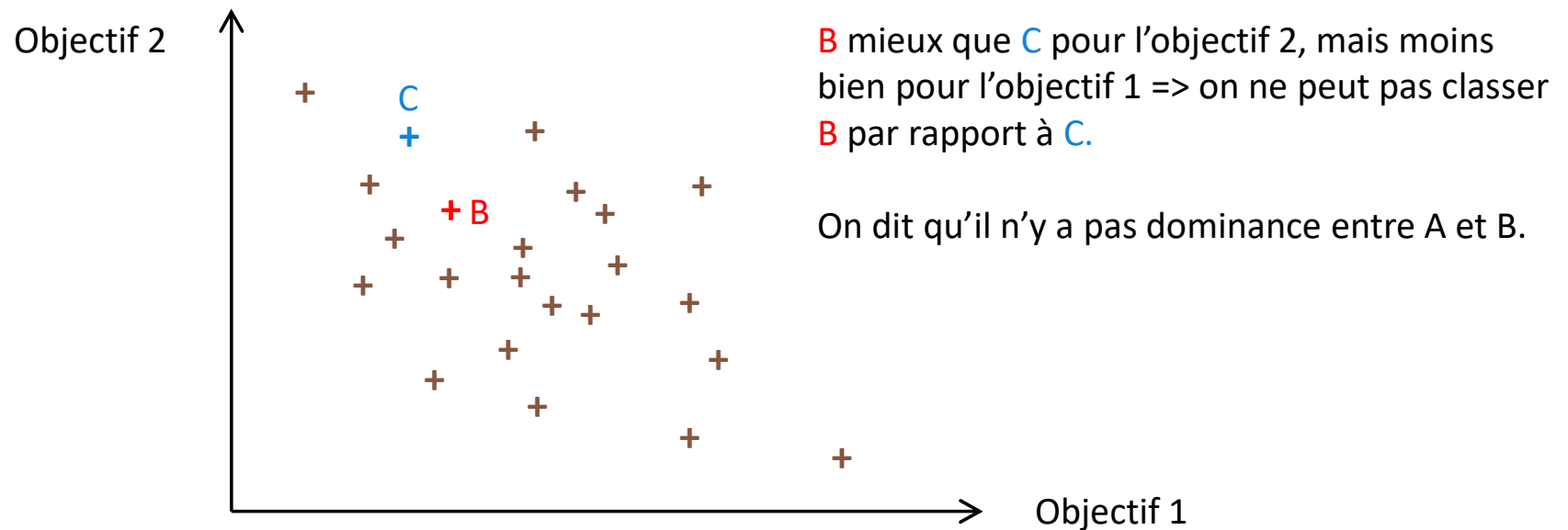
# Notion de solution non dominée

---



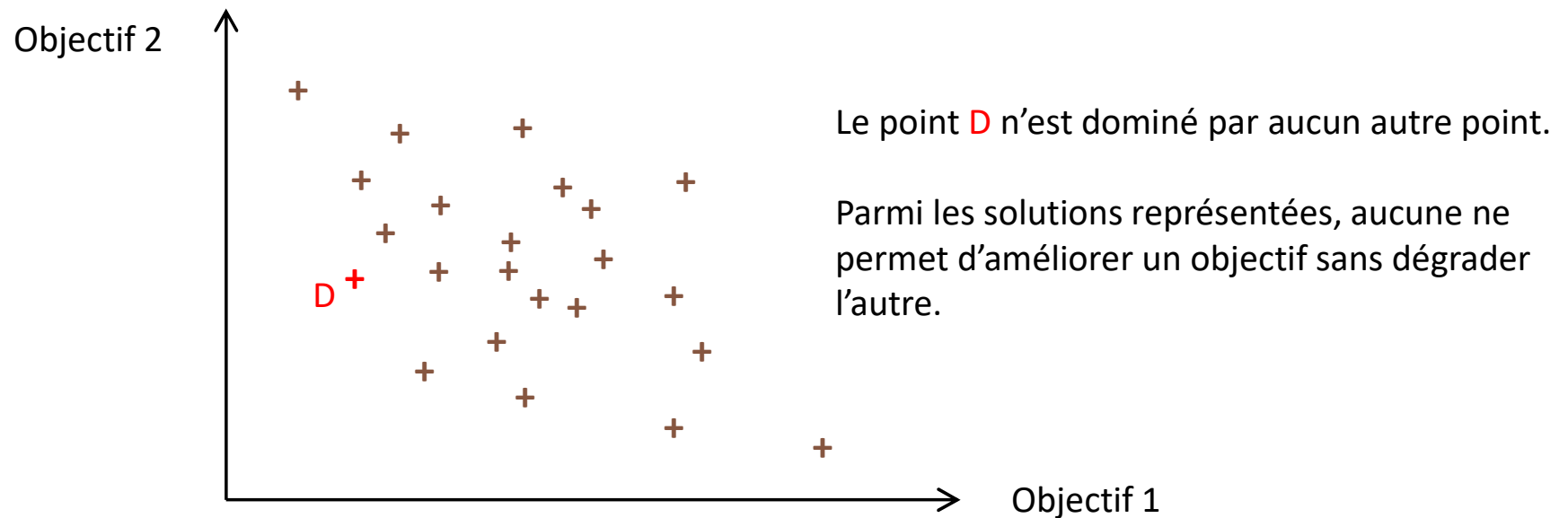
# Notion de solution non dominée

---



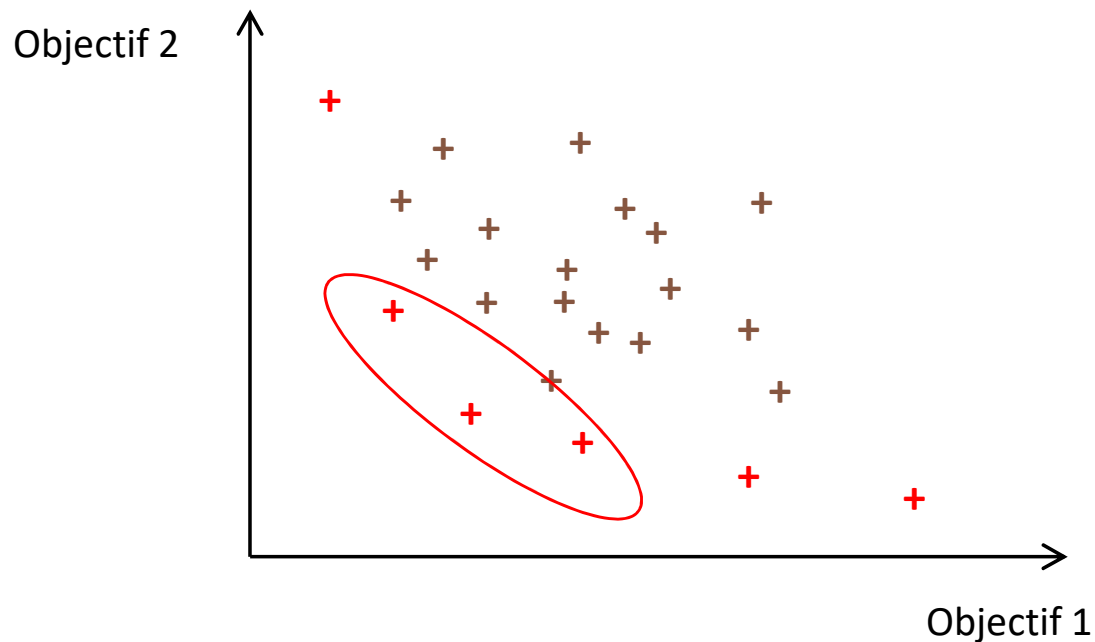
# Notion de solution non dominée

---



# Notion de solution non dominée

---



L'ensemble des solutions non dominées constitue l'ensemble des solutions Paréto-optimales.

Ce sont les meilleurs compromis possibles entre l'objectif 1 et l'objectif 2.

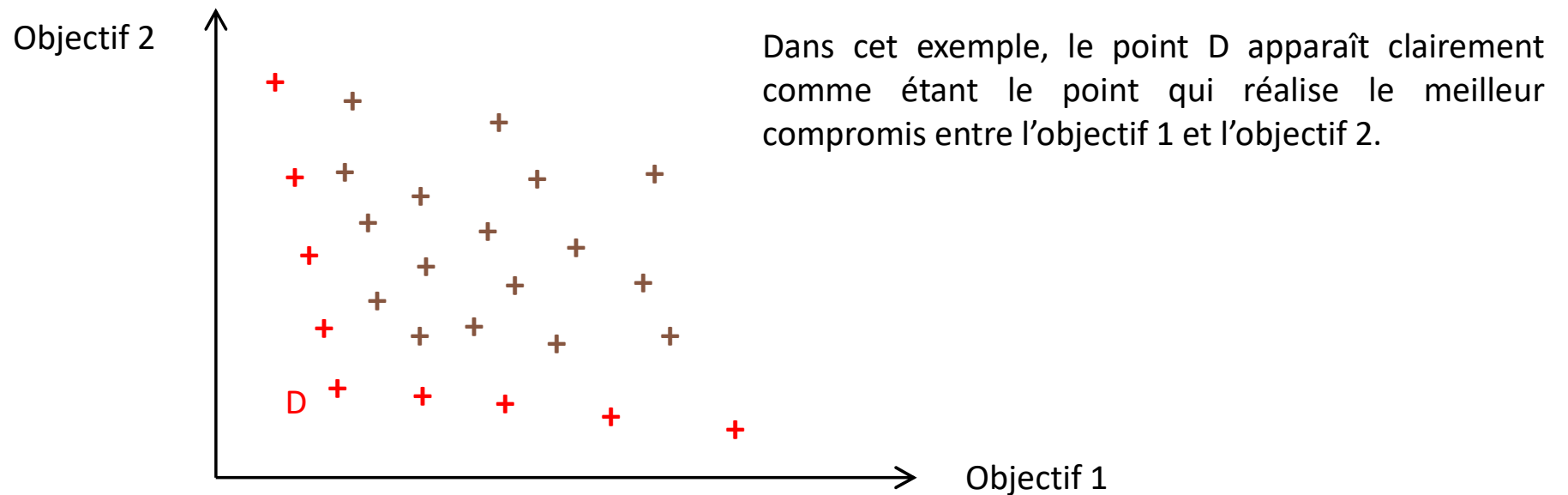
L'optimisation bi-objectif a pour but de déterminer l'ensemble des solutions non-dominées.

Parmi les solutions non-dominées, on recherche celles qui minimisent le mieux les 2 objectifs simultanément.



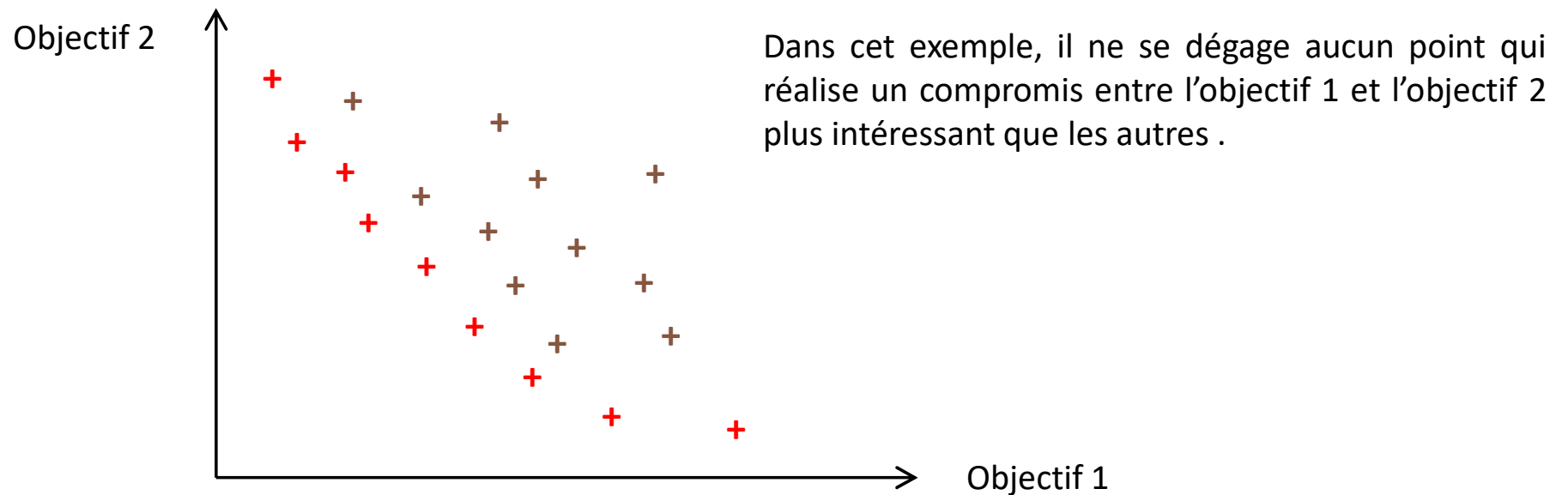
# Choix du meilleur compromis parmi les compromis ?

---



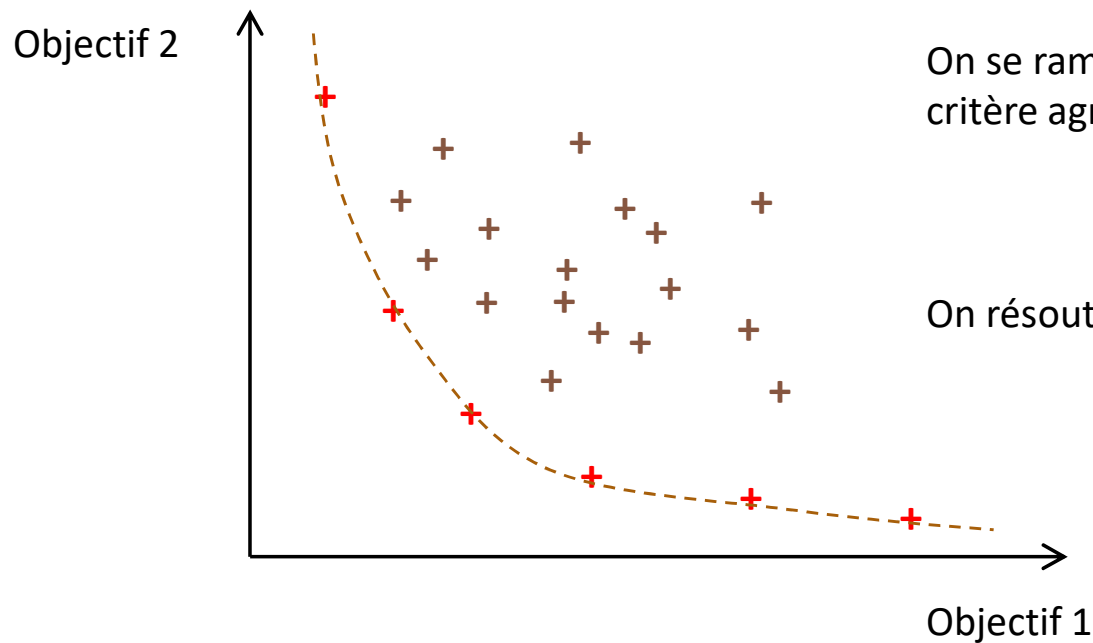
# Choix du meilleur compromis parmi les compromis ?

---



# Résolution par critère agrégé

---



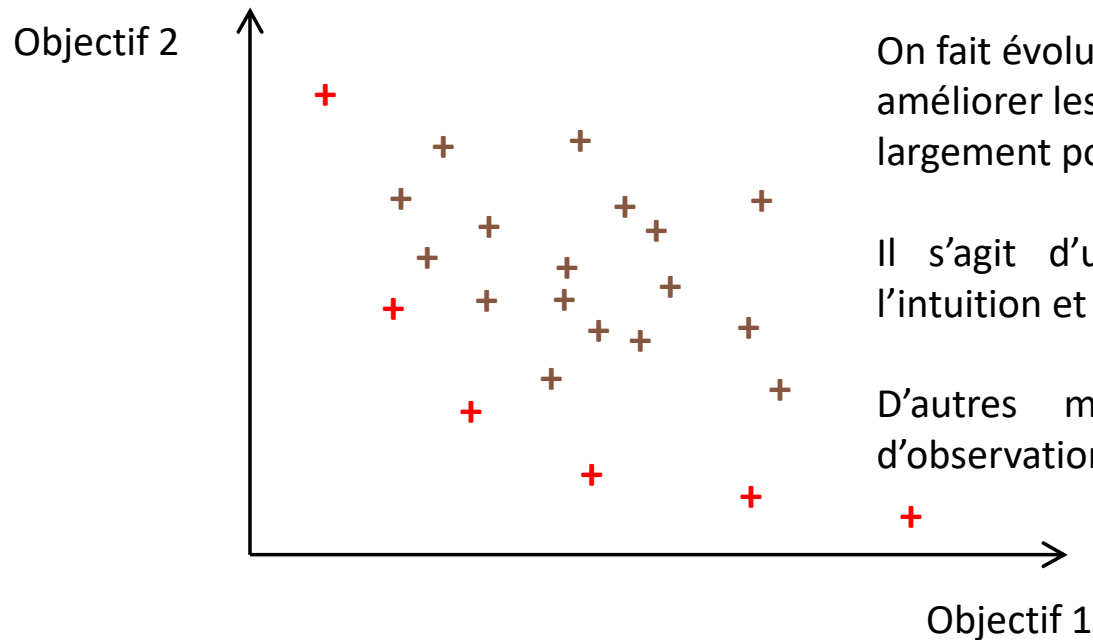
On se ramène à un problème mono-objectif en construisant un critère agrégé :

$$J(X) = \alpha \cdot J_1(X) + \beta \cdot J_2(X)$$

On résout ensuite le problème pour différents couples  $(\alpha, \beta)$ .

# Résolution par algorithme génétique

---



On travaille avec une population de solutions d'effectif  $N$  donné.

On fait évoluer la population génération par génération de façon à améliorer les performances des individus, tout en couvrant le plus largement possible l'espace des solutions non dominées.

Il s'agit d'une approche heuristique, c'est-à-dire fondée sur l'intuition et l'expérience.

D'autres méthodes heuristiques existent, souvent dérivés d'observations du monde animal (PSO, ant colony).

# Principe de NSGA2 (non sorted genetic algorithm)

---

- Population initiale de N solutions choisies aléatoirement
- Chaque individu est caractérisé par ses gènes, i.e ses variables de décision (en gros, 1 variable de décision = 1 gène – chromosome = ensemble des gènes)
- A chaque génération (i.e chaque itération) :
  - Classement des individus (non dominés, puis non-dominés de rang 1, ...)
  - Sélection des 50% meilleurs individus
  - Génération de nouveaux individus par croisement et mutation des individus sélectionnés
- Arrêt après un certain nombre de générations, fixé a priori

# Retour à notre problème...

---

## → Cahier des charges :

- Alimenter les trains pour qu'ils réalisent leur mission (profil  $x(t)$  donné)
- Respecter les normes ferroviaires, en particulier  $U_{train} \geq 500 \text{ V}$

## → Choix techniques :

- Capacité de la batterie embarquée
- Paramètres de la loi de gestion de la batterie (typiquement des seuils de décision)

## → Objectifs d'optimisation :

- Minimiser la capacité de la batterie
- Minimiser la chute de tension  $V_{sst} - V_{train}$ , qui caractérise la robustesse de l'alimentation

# Buts du projet

---

- Dimensionner une batterie embarquée dans un tramway et optimiser sa commande. Dans un 2<sup>ème</sup> temps : placer une 3<sup>ème</sup> SST
- Optimisation bi-objectifs : capacité de la batterie vs chute de tension dans la ligne
- Mise en œuvre d'un algorithme génétique

# Etapes du projet

---

- Comprendre et implanter le modèle de système => AVANT LE TP4
- Analyser le problème d'optimisation bi-objectif par la méthode de Monte-Carlo (exploration bête et méchante de l'espace de décision, par tirage aléatoire d'un grand nombre de points) => TP4
- Recherche bibliographique sur l'optimisation bi-objectifs et NSGA2
- Mettre en œuvre l'algorithme NSGA2
- Etudier le positionnement d'une 3<sup>ème</sup> sous-station pour renforcer la ligne



# Modalités

---

- Travail en groupe de 3 au sein du même parcours
- Groupes à constituer par vous pour le 8 novembre
- Sujet pdf en ligne, sera régulièrement complété
- Rendu intermédiaire pour le TP4 : modèle du système (précisé dans sujet)
- Rendu final le 23 décembre 2024.