

Electrotechnique

LP Infrastructure Ferroviaire : Signalisation

F. Kölbl

2019 - 2020



Table des matières

1 Cours	1
2 Travaux Dirigés	14
3 Exercice d'application : alimentation du matériel roulant	16

Electrotechnique - Circuits en courant continu - Cours

Electrotechnique et Ferroviaire



Electricité : place prépondérante dans le domaine ferroviaire

- Matériel roulant (de plus en plus...),
- alimentation matériel roulant,
- signalisation,
- (confort voyageur)
- (bâtiment)

Comprendre les notions d'Electrotechnique est crucial pour comprendre l'ensemble du *système ferroviaire*, signalisation comprise.

Programme

Septembre : Révisions

- Lois fondamentales - Circuits en continu,
- Puissances,
- Circuits en monophasé.

Novembre-Décembre

- Monophasé suite,
- Magnétisme,

Janvier-Février

- Triphasé,
- Transformateur,

Mai

- Schémas de liaison à la terre
- révisions,

Evaluation

Devoirs Surveillés

- deux DS : décembre - mai,
- fort coefficient (3 pour chaque)

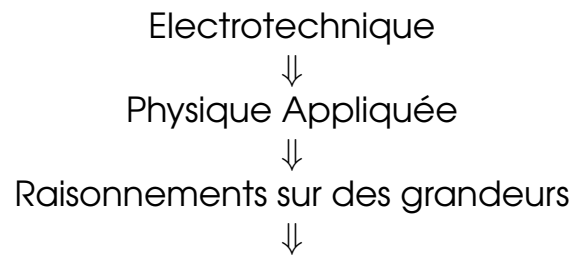
TP :

- 3 séances en mai,
- coefficient de 1 pour chaque,

devoirs inter-alternance

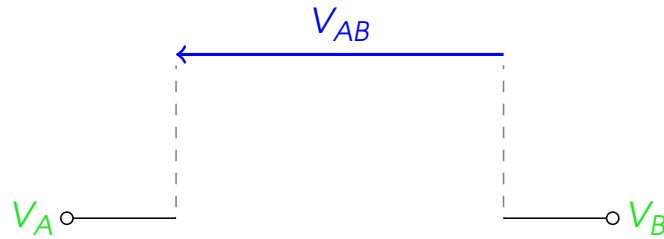
- 3 'DM', avec à chaque fois un ou deux exercices de révision
- coefficient de 1 pour chaque,

Une interrogation écrite est toujours possible



- une grandeur a souvent une **unité**, elle est à marquer derrière le chiffre,
- pour un calcul, on utilise une valeur avec 3 ou 4 (max) **chiffre significatifs**,
- une figure ou un tracé doit avoir des axes avec des unités, valeurs et un titre.

C'est parti pour des **révisions rapides**



Définition

V_A et V_B sont deux **potentiels électriques**, en Volt ($[V]$), créé par un champ électrique.

La tension électrique **entre deux points** est définie comme **la différence de potentiels électriques entre deux points** :

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

son unité est également le Volt ($[V]$)

Courant Electrique



Définition

Le courant / **traversant un conducteur** est défini comme la quantité de charge électriques (en électronique : des électrons) le traversant par unité de temps. C'est donc un **flux d'électrons**.

Son unité est l'Ampère ($[A]$)

Conventions Récepteur/Générateur

Les tensions et courant sont orientés, chacun indépendamment l'un de l'autre, **par choix**. Deux cas sont possibles :

Convention Générateur



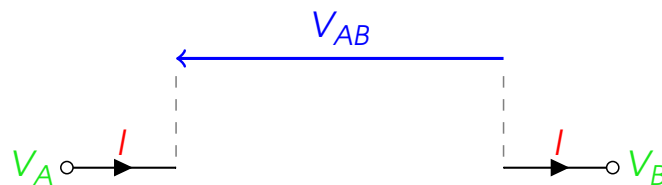
courant/tension de même sens - souvent utilisée sur les générateurs

Convention Récepteur



courant/tension de sens opposés - souvent utilisée pour tous les autres composants

Puissance



Définition

En continu, la puissance électrique se calcule comme :

son unité est le

On peut distinguer deux cas :

- en convention générateur : la puissance est $P = V \cdot I$,
- en convention récepteur : la puissance est $P = -V \cdot I$,

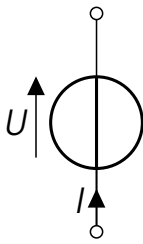
Remarque : dans tous les cas, une puissance peut être positive ou négative.

Générateurs parfaits : générateur de tension

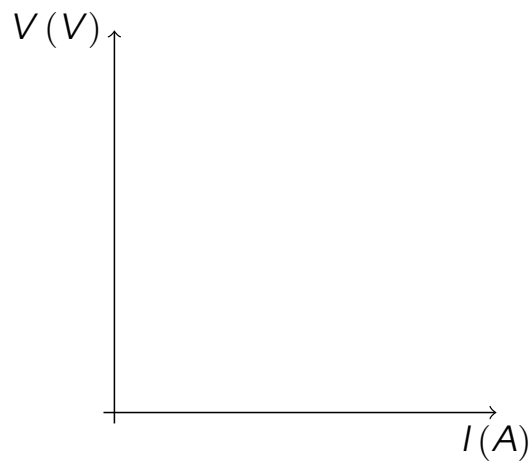
Définition

Un générateur de tension parfait génère une tension U constante quelque soit le courant I délivré

symbole :



courbe caractéristique :

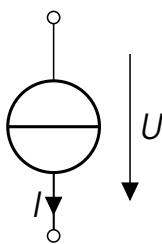


Générateurs parfaits : générateur de courant

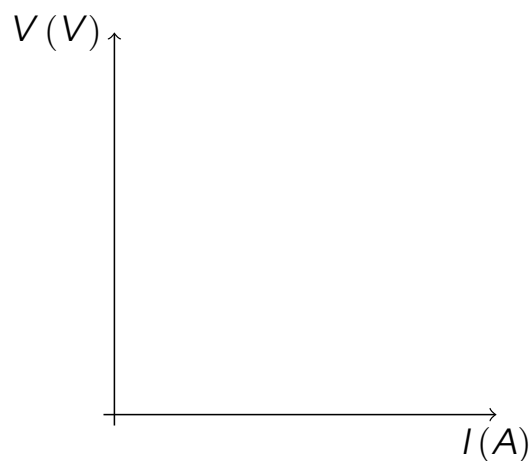
Définition

Un générateur de tension parfait génère un courant I constant quelque soit la tension U à ses bornes

symbole :



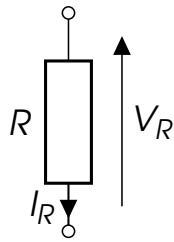
courbe caractéristique :



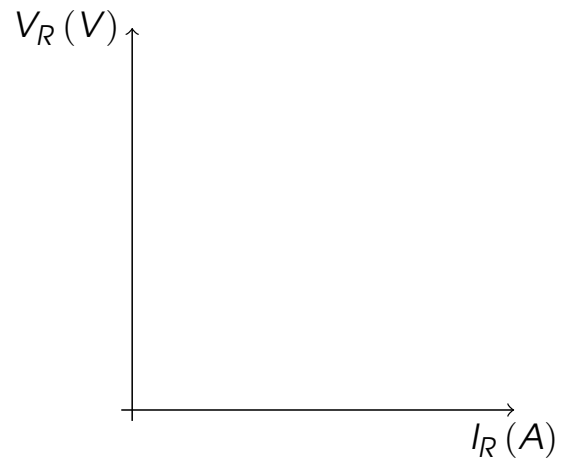
Définition

Composant Passif, dont le courant **le traversant** (I_R) et la tension **à ses bornes** (V_R) sont liés par la loi d'Ohm. Le composant est associé à une valeur de résistance R en . La loi d'Ohm est donnée par :

Symbole :



Caractéristique :



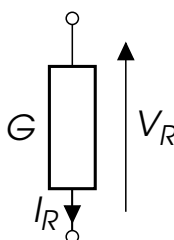
Résistance/Conductance

Définition

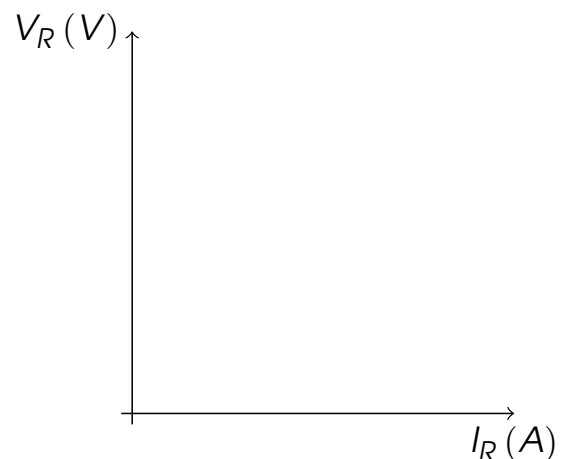
De manière analogue on peut définir la conductance G telle que :

G a pour unité le . La loi d'Ohm devient :

Symbole :

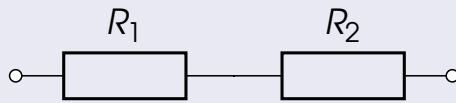


Caractéristique :



Résistances : association série

soient deux résistances R_1 et R_2 en série :



cette association est équivalente à une résistance :

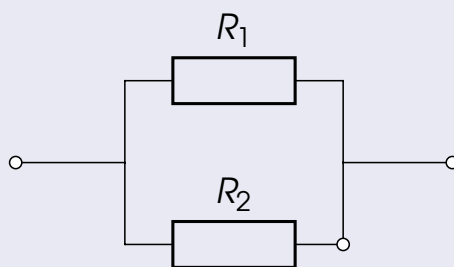


avec

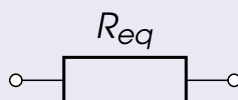
démonstration ?

Résistances : association parallèle

soient deux résistances R_1 et R_2 en parallèle :



cette association est équivalente à une résistance :



avec

démonstration ?

Première loi de Kirchhoff : Loi des noeuds

La somme algébrique des courants à un noeud (point de jonction de plus de deux conducteurs) vaut 0

formulation mathématisée 1 (théorique) :

formulation mathématisée 2 (plus pratique) :

Première loi de Kirchhoff : Loi des noeuds

La somme algébrique des tensions le long d'une maille (ensemble de branches successives de circuit formant une boucle) vaut 0

formulation mathématisée 1 (théorique) :

formulation mathématisée 2 (plus pratique) :

ces deux lois suffisent pour tout démontrer ! Le reste est une question de méthode :

- placer les courants et tension au propre (couleurs),
- commencer par les lois simples,
- vérifier l'homogénéité.

Méthodes de résolution des circuits

Pour résoudre/trouver une grandeur dans un circuit, il est possible d'utiliser :

- utilisation des lois de Kirchhoff (mailles et noeuds), d'Ohm
- transformations Norton/Thévenin
- Théorème de superposition
- Théorème de Millman

Générateur de Norton

Générateur de Thévenin

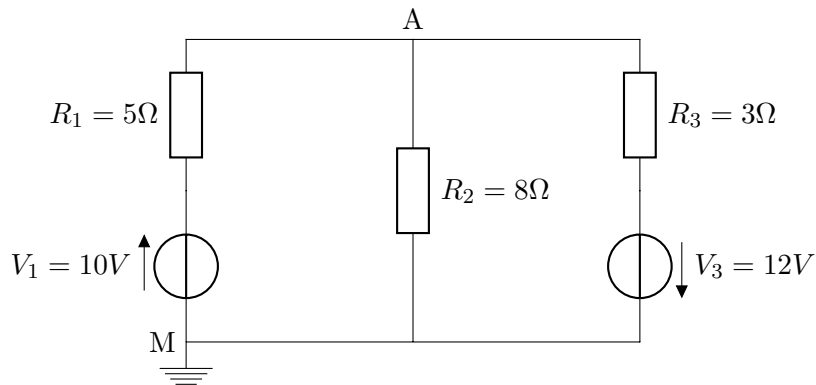
Théorème de superposition

Théorème de Millman

Travaux Dirigés

Exercice 1 :

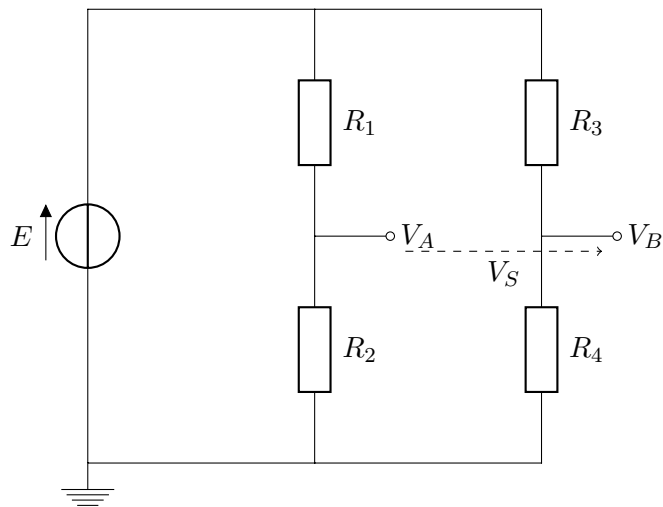
On cherche à trouver la tension V_{AM} sur le schéma suivant :



Nous allons résoudre ce problème par différentes méthodes, plus ou moins directes, plus ou moins facile, plus ou moins dangereuse (à VOUS d'être propre sur vos calculs). Le résultat numérique n'est pas intéressant ($V_{AM} = -3V$), c'est la méthode qui l'est !

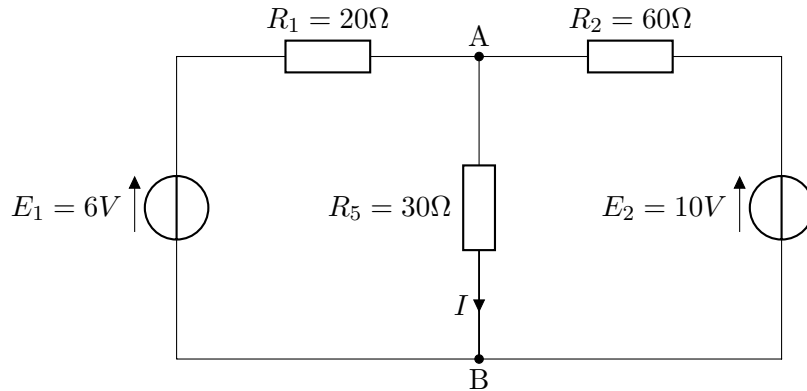
1. Placez sur le schéma la flèche de tension V_{AM} .
2. En utilisant... rien d'autre que les lois de Kirchhoff, retrouvez le résultat. **Il VOUS revient de placer des flèches de tension/courant, idéalement avec des couleurs définies, et de leur donner des noms.**
3. En utilisant des transformations de générateurs Norton-Thévenin, retrouvez le résultat.
4. En utilisant le théorème de superposition, retrouvez le résultat.
5. En utilisant le théorème de Millman, retrouvez le résultat.

Exercice 2



1. Calculer la valeur du potentiel V_A .
2. Calculer la valeur du potentiel V_B .
3. En déduire la valeur de la tension V_S .
4. Déterminer le générateur de thévenin équivalent générant V_S .

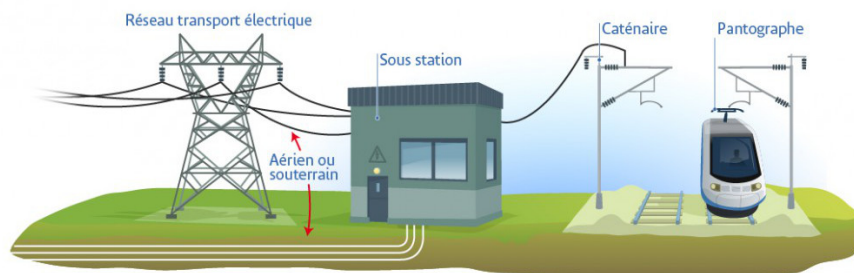
Exercice 3



1. Déterminer le courant I .
2. En déduire la tension V_{AB} .

Alimentation du matériel roulant, schéma de sous-stations et caténaires

Le matériel ferroviaire roulant tire son énergie soit de combustibles fossiles, soit d'une alimentation électrique déployée le long des lignes, comme illustré dans la figure suivante :



Le train est alors relié électriquement à la caténaire au dessus de la voie par un pantographe. Le retour du courant se fait par le rail. L'alimentation électrique est tirée du réseau de distribution et redirigée par la sous-station (SS) qui assure la conversion vers les niveaux de tensions requis, et éventuellement un redressement. Classiquement, on considère qu'un câble conduit parfaitement le courant électrique, c'est à dire sans perte ; cependant, la caténaire mesurant plusieurs centaines de mètres voire quelques kilomètres, cette hypothèse n'est plus valable. Nous allons étudier les différentes possibilités d'alimentation des motrices et leurs inconvénients/avantages.

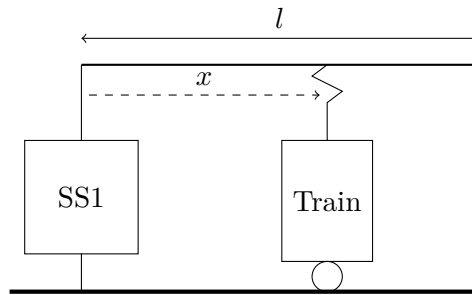
Dans un premier temps, on considèrera que les sous-stations produisent une tension continue de 1500V comme un générateur parfait. On considèrera un train à une distance x (en mètres) de la sous-station 1, sur une voie de longueur l . Pour les calculs numériques on considèrera que le train crée un appel de courant de 800A (la puissance est consommée par le train, le courant est donc nécessairement entrant).

1 Modélisation de la caténaire et du rail

La caténaire a une résistance linéique de $r_{cat} = 0.07 \text{ m}\Omega \cdot \text{m}^{-1}$, le rail a une résistance linéique de $r_{rail} = 2 \text{ }\mu\Omega \cdot \text{m}^{-1}$.

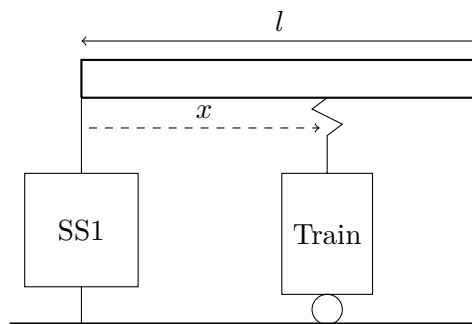
1. Quelle est l'unité de la résistance ?
2. Comment calcule-t'on la résistance des conducteurs qui séparent la sous-station du train ?
3. Le courant arrivant par la caténaire et repartant par le rail, que peut on dire de l'association des deux conducteurs ?

2 Cas I : une seule sous-station, une caténaire simple



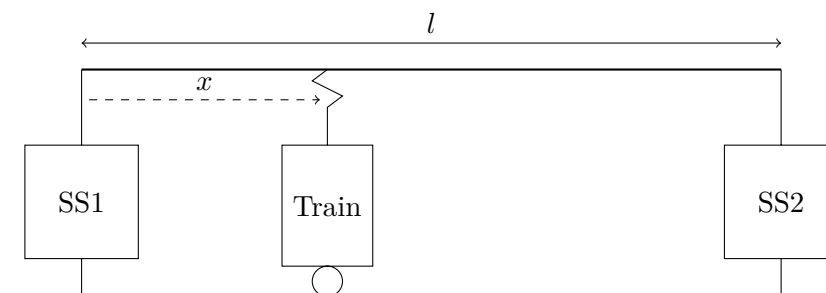
1. Faire le schéma équivalent pour ce cas de figure. Placer ΔV , la chute de tension aux bornes du conducteur électrique.
2. calculer ΔV .
3. A partir de quelle distance parcourue par le train a-t'on une chute de tension de $150V$?
4. Ce cas de figure vous semble-t'il exploitable pour l'alimentation d'une motrice ?

3 Cas II : une seule sous-station, une caténaire bouclée



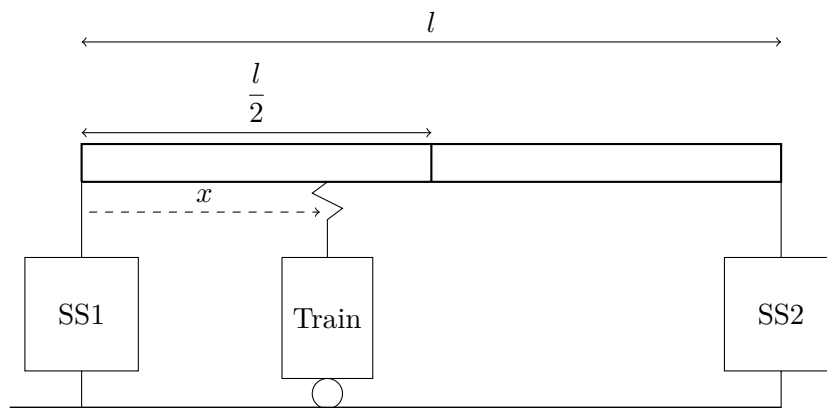
1. Faire le schéma équivalent pour ce cas de figure. Placer ΔV , la chute de tension aux bornes du conducteur électrique.
2. Simplifier le schéma en calculant le montage sous forme d'un générateur de Thévenin et une simple charge.
3. calculer ΔV .
4. à la distance calculée pour le cas 1, que vaut la valeur numérique de ΔV

4 Cas III : deux sous-stations, une caténaire simple



1. Faire le schéma équivalent pour ce cas de figure. Placer ΔV , la chute de tension aux bornes du conducteur électrique.
2. Simplifier le schéma en calculant le montage sous forme d'un générateur de Thévenin et une simple charge.
3. calculer ΔV .
4. Pour quelle position du train la valeur de la chute de tension est elle maximale ?

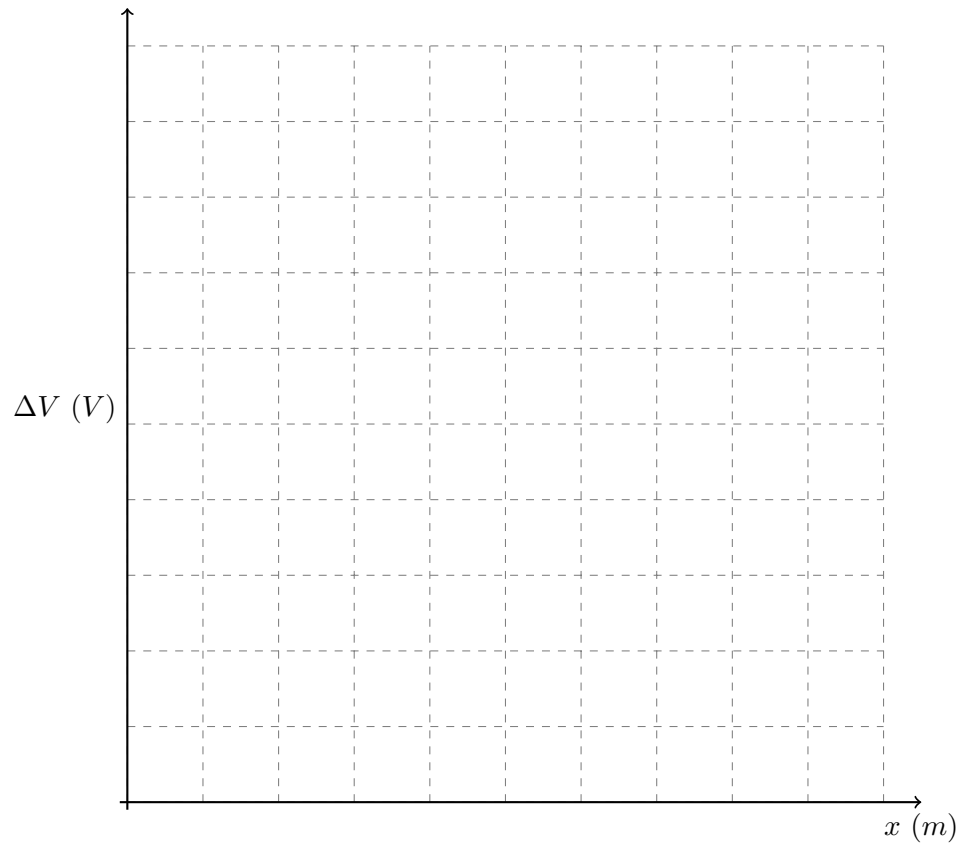
5 Cas IV : deux sous-stations, double caténaire court-circuitée au milieu



1. Faire le schéma équivalent pour ce cas de figure. Placer ΔV , la chute de tension aux bornes du conducteur électrique.
2. Placer le courant I_1 , responsable de la chute de tension sur le schéma.
3. Placer le courant I_2 , provenant de la caténaire en contact avec le train opposée à la première. Compléter les courants identifiables sur le schéma.
4. Exprimer ΔV en fonction de I_1 .
5. Exprimer ΔV en fonction de I_2 .
6. Rappeler la relation entre I , I_1 et I_2 .
7. Par le calcul, en déduire l'expression de ΔV en fonction de x , r_{cat} , l et I .
8. Y-a t'il une symétrie identifiable dans le schéma ?
9. Calculer la valeur de ΔV pour $x = \frac{l}{2}$.
10. Calculer la valeur de ΔV pour $x = \frac{l}{3}$.

6 Synthèse

1. sur le graphique ci dessous, tracez les différentes chutes de tension correspondants aux différents cas, pour les valeurs numériques données.



2. Dresser un tableau comparatif des solutions d'alimentation sur voie.