



# éduscol



Ressources pour le lycée général et technologique

Ressources pour la classe de seconde  
générale et technologique

---

## Méthodes et pratiques scientifiques

### Thème science et prévention des risques d'origine humaine

### Projet « autour de la sécurité ferroviaire »

## Enseignement d'exploration

Ces documents peuvent être utilisés et modifiés librement dans le cadre des activités d'enseignement scolaire, hors exploitation commerciale.

Toute reproduction totale ou partielle à d'autres fins est soumise à une autorisation préalable du directeur général de l'Enseignement scolaire.

La violation de ces dispositions est passible des sanctions édictées à l'article L.335-2 du Code de la propriété intellectuelle.

25 août 2010  
(édition provisoire)

## **Thème : Science et prévention des risques d'origine humaine**

### **Projet : « autour de la sécurité ferroviaire »**

#### **Situation déclenchante :**

Le 31 août 1985 le train Paris Port-Bou déraille à Argenton alors qu'il circulait à 95 *km/h* sur une voie où la vitesse prescrite par la signalisation en place était de 30 *km/h*. Le mécanicien n'avait pas réagi à cette signalisation. 43 personnes périrent dans l'accident.

Le 6 septembre 1985, un train Métrolor Nancy-Metz déraille à 118 *km/h* ; le conducteur n'avait pas observé le tableau indicateur fixant la vitesse à 30 *km/h*.

La direction de la SNCF décide alors d'engager l'élaboration d'un système de contrôle de vitesse avec transmission par balises. Ce système est expérimenté sur la ligne Paris-Le Havre en 1990, puis généralisé à l'ensemble du réseau

Ce sujet propose d'étudier le fonctionnement de ce système de contrôle de vitesse par balises (en abrégé KVB) dont l'objectif est de pallier une éventuelle défaillance humaine par la mise en place d'un système de freinage automatique, mais sans déposséder pour autant le conducteur de sa responsabilité et des opérations essentielles de conduite et de sécurité

#### **Modélisation du freinage et exploitation du modèle (Maths, SPC)**

[Voir annexe](#)

**Temps de réaction, réflexe/commande volontaire ; vision des couleurs ; audition**  
(sonnerie d'alerte dans les cabines des conducteurs de train) (SVT)

Conception des balises, système de déclenchement du freinage automatique (SI)

#### **Sitographie :**

Établissement public de sécurité ferroviaire :

<http://www.securite-ferroviaire.fr/>

Liste des accidents ferroviaires en France :

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste\\_des\\_accidents\\_ferroviaires\\_en\\_France#Ann.C3.A9es\\_2000](http://fr.wikipedia.org/wiki/Liste_des_accidents_ferroviaires_en_France#Ann.C3.A9es_2000)

Site belge de la sécurité ferroviaire :

<http://www.securiteferroviaire.be/>

Système d'aide à la vigilance : Memor-crocodile :

[http://www.securiteferroviaire.be/?page\\_id=37](http://www.securiteferroviaire.be/?page_id=37)

## **Annexe :** **Freinage d'urgence et freinage d'alerte**

Les lignes ferroviaires sont constituées de tronçons, appelées **cantons**, d'une longueur de 2 km environ. Chaque tronçon est délimité par un feu. En l'absence de signalisation, le train roule au maximum de sa vitesse autorisée (par exemple de 120 km/h à 160 km/h pour un train de voyageurs). Lorsqu'elle est activée, la signalisation indique qu'un ralentissement est nécessaire (par exemple en raison du croisement avec un autre train ou d'une forte déclivité de la voie). L'indication donne au conducteur la vitesse à atteindre à la sortie du canton (vitesse but).

Un calculateur contrôle en fonction des caractéristiques du train (masse, capacité de freinage) et de sa vitesse réelle captée par la balise si la distance qui reste à parcourir pour atteindre la vitesse but à la fin du tronçon est suffisante. Si cette distance est insuffisante, le KVB avertit le mécanicien par un signal sonore dans le cas où les conditions de circulation lui permettent de ramener sa vitesse à la valeur attendue ou déclenche les opérations de freinage automatique dans le cas contraire.

L'activité s'organise autour de l'étude des courbes KVB (qui sont des paraboles).

## 1. Généralités

La distance de freinage est la distance nécessaire au train pour passer de sa vitesse  $v$  à la vitesse but  $v_{but}$  une fois que le freinage est effectif.

La distance d'arrêt est la somme de la distance de freinage et de la distance parcourue par le train pendant la mise en route du freinage (c'est-à-dire avant que le freinage ne soit effectif).

L'expression de la distance d'arrêt est :

$$D_{arrêt} = \underbrace{t_b v}_{\substack{\text{distance parcourue par le train} \\ \text{pendant la mise en route du freinage}}} + \underbrace{\frac{v^2 - v_{but}^2}{2(\gamma - g \cdot 10^{-3})}}_{\text{distance de freinage}}$$

$t_b$  est le temps de mise en marche du système de freinage (celui-ci varie selon que le déclenchement du freinage est réalisé par le conducteur ou automatiquement).

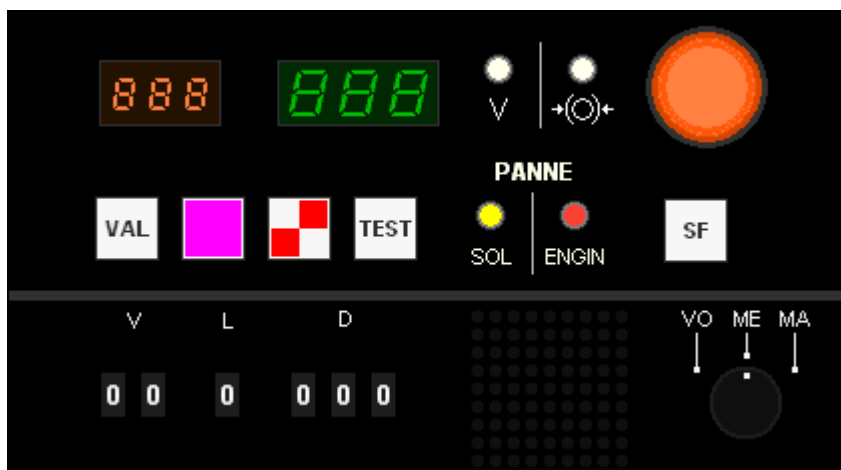
$\gamma$  est la décélération ; ce paramètre, qui dépend des paramètres du train, rend compte de sa capacité de freinage : on a toujours  $0 \leq \gamma \leq 1$  ; et plus  $\gamma$  est grand, meilleur est le freinage).

$g = 9,81 \text{ m/s}^2$  est l'accélération de la pesanteur).

Dans toute l'activité, on suppose que le train arrive en début de canton avec la vitesse de  $120 \text{ km/h}$  et on lui impose d'arriver en fin de zone avec une vitesse nulle

On prendra donc  $v_{but} = 0$

Le conducteur introduit toutes les données sur son tableau de bord



## 2. Position de la balise

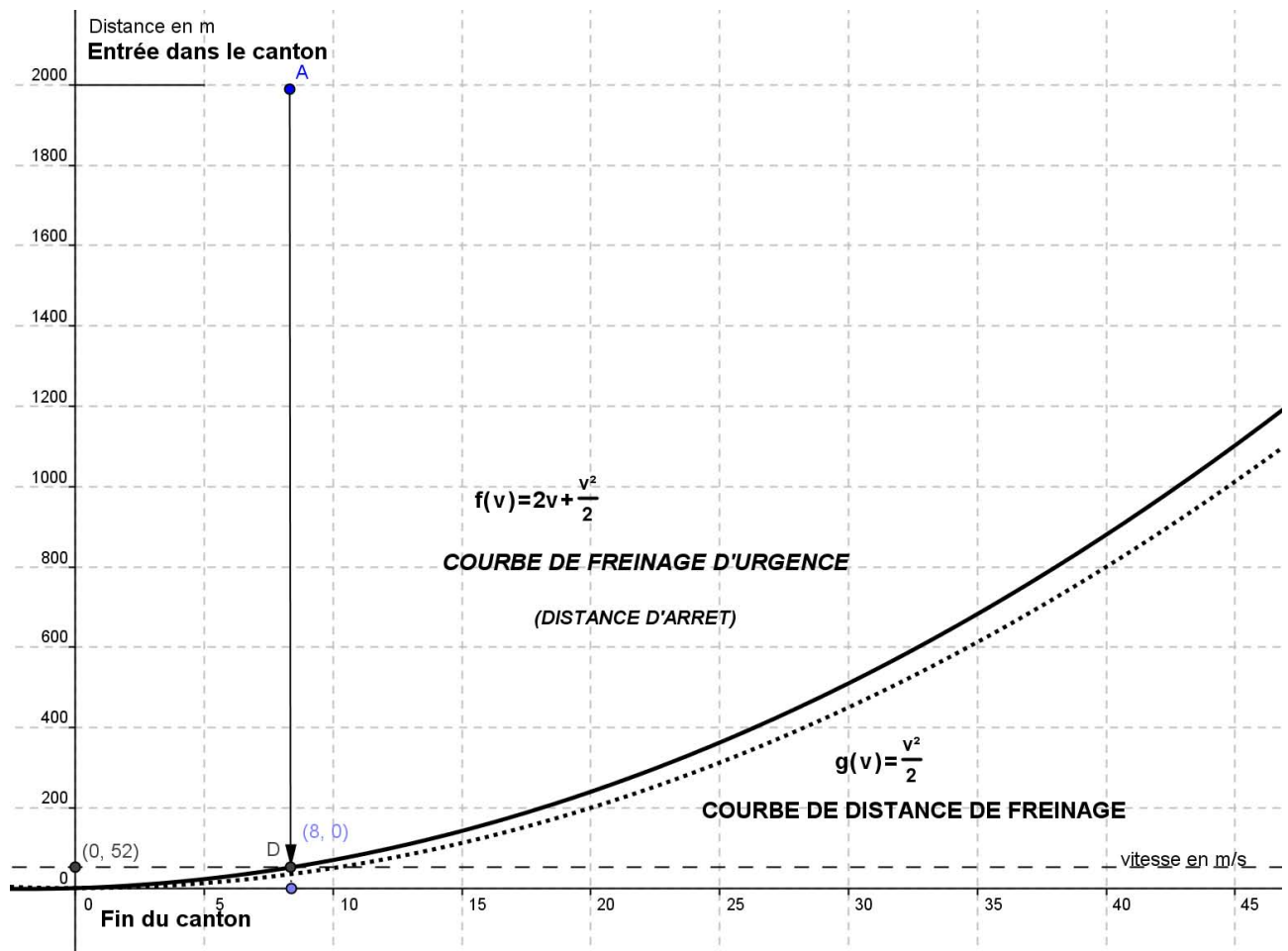
L'objectif est d'étudier la position de la balise sur le canton pour permettre d'atteindre l'arrêt du train en fin de canton.

a) Une première approche :

On prend  $\gamma = 1$ , on suppose que la zone est parfaitement plane et de déclivité nulle et que le temps  $t_b$  de mise en action du système automatique de freinage est de 2 secondes. La distance d'arrêt par enclenchement automatique du freinage s'exprime alors par :

$$D_{\text{arrêt}} = 2v + \frac{v^2}{2}$$

À quel moment le conducteur doit-il avoir ramené sa vitesse à 30 km/h (environ 8 m/s) s'il veut éviter le déclenchement du freinage automatique d'urgence ?



On trouve 52 m avant la fin de la zone.

Quelle vitesse maximale le train doit-il avoir atteint à 500 mètres de la fin du tronçon s'il veut éviter le déclenchement du freinage automatique d'urgence ?

Réponse : environ 30 m/s, soit 98 km/h. (abscisse du point de la courbe de freinage d'urgence ayant pour ordonnée 500)

b) On suppose à présent que le conducteur n'a pas vu la signalisation lui indiquant à l'entrée du canton qu'il devait ramener sa vitesse à 0 à la fin du tronçon

La vitesse captée par la balise est donc de  $120 \text{ km/h}$ , soit  $33,3 \text{ m/s}$ .

À quelle distance minimale de la fin du tronçon doit être située la balise pour que l'enclenchement du freinage automatique d'urgence qu'elle provoque permette au train d'arriver à la fin du tronçon avec une vitesse nulle ?

Réponse : Il s'agit de trouver l'ordonnée du point de la courbe de freinage d'urgence ayant pour abscisse  $33,3$ . On trouve  $f(33,3) \approx 621$  mètres.

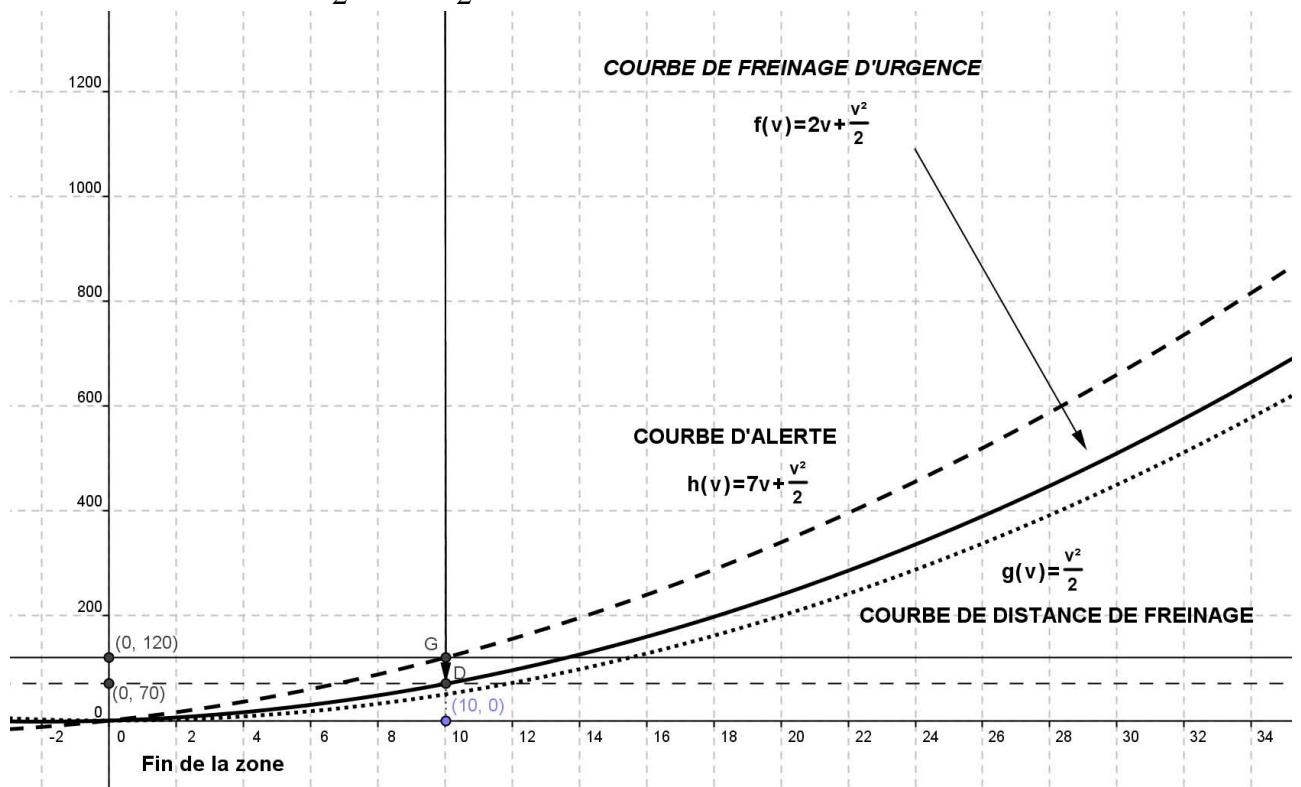
### c) Cas de l'alerte préventive transmise au conducteur

La distance d'arrêt par freinage automatique  $D_{\text{arrêt}} = f(v) = 2v + \frac{v^2}{2}$ , tient compte du temps de déclenchement du freinage d'urgence.

La distance d'alerte doit en plus tenir compte du temps de réaction du conducteur à partir du moment où il est averti du dépassement de vitesse.

Un document interne à la SNCF considère que ce temps de réaction est de  $5 \text{ s}$ . On a donc

$$D_{\text{alerte}} = g(v) = 5v + 2v + \frac{v^2}{2} = 7v + \frac{v^2}{2}$$



Ces courbes peuvent donner lieu à plusieurs questionnements ou études possibles, par exemple :

a) Quelle est la vitesse maximale (en  $km/h$ ) captée par une balise située à  $120\ m$  du point d'arrêt qui puisse permettre au conducteur alerté d'enclencher lui-même le processus de freinage afin de s'arrêter à temps ?

Que se passe-t-il si la vitesse captée est supérieure à cette valeur ? (On mettra en œuvre une démarche permettant de calculer selon les cas la vitesse atteinte par le train en fin de canton.).

*Réponse : La vitesse maximale permettant un enclenchement manuel du freinage par le conducteur est de  $10\ m/s$  soit  $36\ km/h$ . (abscisse du point de la courbe d'alerte ayant une ordonnée de  $120\ m$ ).*

Pour une vitesse comprise entre  $36\ km/h$  et  $45\ km/h$  ( $\approx 12,5\ m/s$ ), l'enclenchement du freinage automatique permet au train de s'arrêter avant la fin du canton. Pour une vitesse supérieure à

$45\ km/h$ , le train ne parviendra pas à s'arrêter à la fin du tronçon.

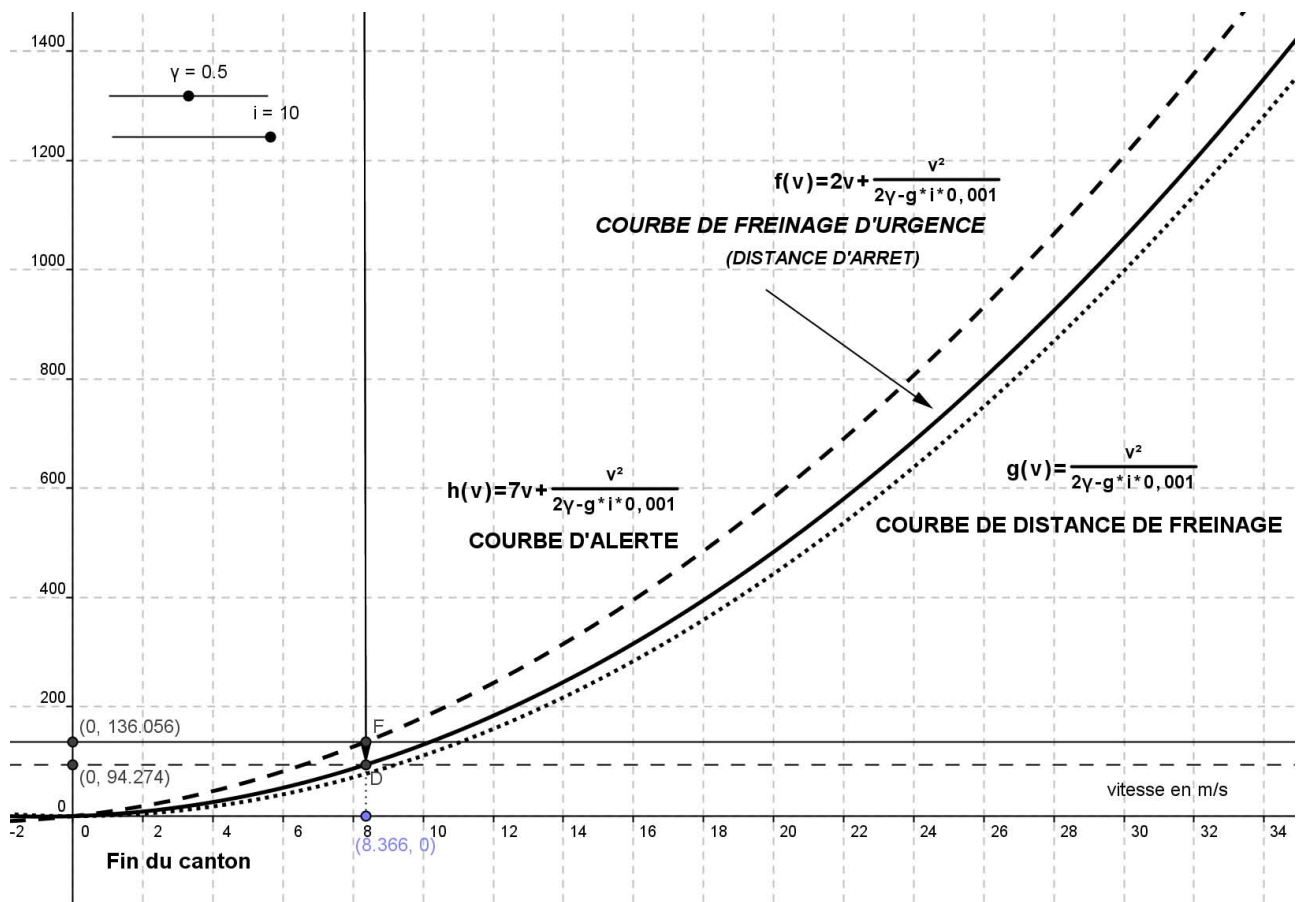
Par exemple, pour une vitesse de  $50\ km/h$  ( $= 13,9\ m/s$ ) la distance d'arrêt nécessaire avec freinage automatique est de  $f(13,9) = 124,4\ m$ . Or il ne reste que  $120\ m$  avant la fin du tronçon. Le train devra donc parcourir  $4,4\ m$  avant d'annuler sa vitesse. La vitesse atteinte par le train à la fin du tronçon est l'abscisse du point de la courbe de freinage d'ordonnée  $4,4$ . On l'obtient soit par lecture graphique, soit en résolvant l'équation

$$\frac{v^2}{2} = 4,4 \text{ donc } v = \sqrt{8,8} \approx 2,97\ m/s \approx 10,7\ km/h$$

b) À quelle distance minimale de la fin du canton doit être située la balise si elle veut alerter le conducteur d'un train arrivant à la vitesse de  $120\ km/h$  et devant s'arrêter à la fin du tronçon ?

On comparera avec la réponse trouvée à une question analogue relative à l'enclenchement du freinage automatique.

c) L'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique peut permettre d'étudier l'évolution des différentes distances d'arrêt en fonction du paramètre de freinage  $\gamma$  et de la déclivité  $i$ .



Par exemple, pour  $\gamma = 0,5$  et  $i = 10$ , une balise située à 95 mètres et captant une vitesse de  $8,37 \text{ m/s}$  soit environ  $30 \text{ km/h}$  enclenchera le freinage automatique, alors qu'une balise captant cette même vitesse et située à 136 mètres de la fin du canton pourra déclencher seulement une alerte.

## Marges de vitesse

### a) Une première approche

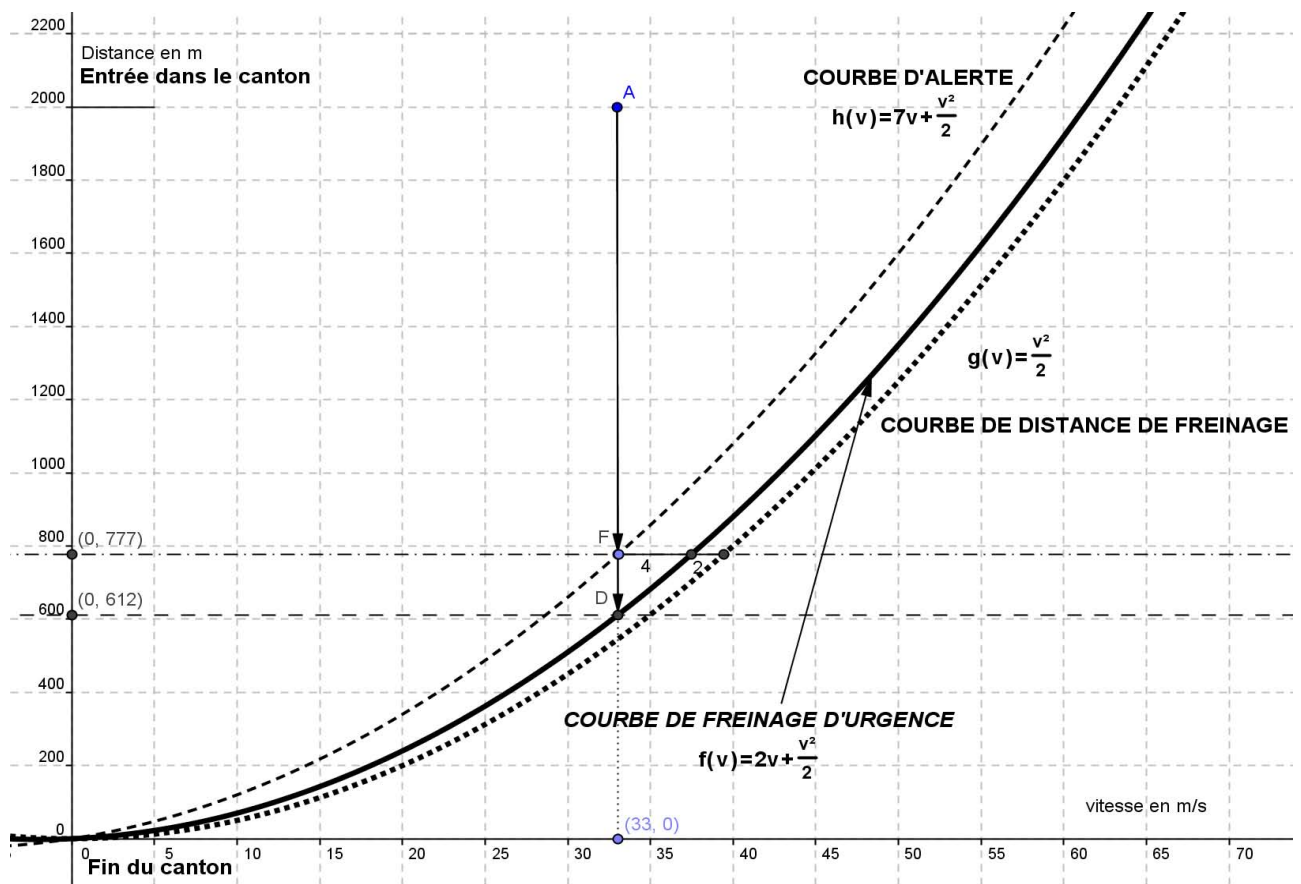
On s'intéresse toujours à la situation où le train, arrivant à  $120 \text{ km/h}$ , doit atteindre la fin de la zone avec une vitesse nulle. On va faire varier la position de la balise le long du canton jusqu'à la position limite permettant l'arrêt du train en fin de tronçon selon les deux procédés (alerte du conducteur et freinage automatique)

On se place dans le cas où  $\gamma = 1$ , où la zone est parfaitement plane de déclivité nulle, et on suppose dans un premier temps que la balise est située à  $800 \text{ m}$  de la fin de la zone. Les calculs précédents ont montré que c'est la position limite.

En étudiant la différence des vitesses (arrondie à l'unité sur le graphique) entre la courbe d'alerte et la courbe de freinage d'urgence, on s'aperçoit que le déclenchement du freinage



automatique d'urgence permettant l'arrêt aura lieu pour un dépassement de la vitesse d'alerte inférieur ou égal à  $4\text{m/s}$  ( $15\text{km/h}$ )



On pourra étudier l'évolution de cet écart en fonction de la position de la balise.

**b) Prise en compte de paramètres liés aux caractéristiques du train et du terrain**

On peut faire varier les paramètres de décélération et de déclivité, ainsi que la position de la balise.

On obtient alors des courbes du même type que précédemment, et l'utilisation d'un logiciel de géométrie dynamique permet d'étudier l'évolution de ces différentes courbes de freinage en fonction des paramètres.

