

*Chapitre 1*

# Quand je prends l'ascenseur

**Notions**

Mouvements ■ vitesse ■ pression atmosphérique ■ hydrostatique ■ capteurs  
■ smartphone



J'habite au quatrième étage d'un immeuble qui en compte huit.

Alors que je pense sincèrement que monter ces quatre étages en prenant l'escalier au moins une fois par jour contribuerait à me maintenir en forme, je me retrouve invariablement dans l'ascenseur.

C'est rageant.

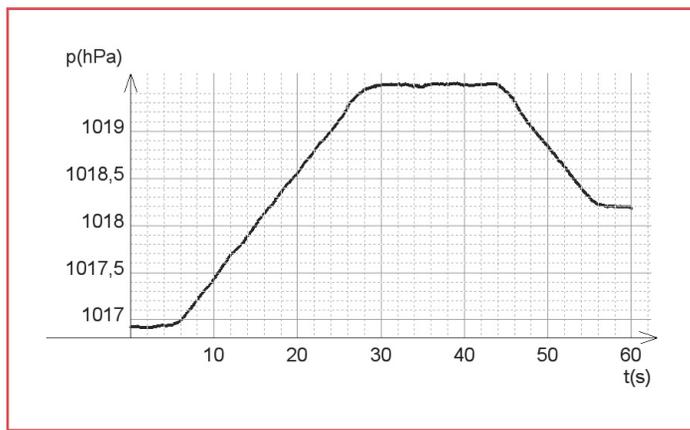
Ce mouvement rectiligne vertical (ascendant ou descendant) modifie l'altitude à laquelle je me trouve. Or la pression atmosphérique dépend de l'altitude. Au cours de l'un de mes passionnants voyages entre le rez-de-chaussée et le quatrième étage m'est venue l'idée que si je pouvais mesurer la variation de pression atmosphérique au cours du temps, je devrais pouvoir en déduire la variation d'altitude correspondante mais aussi la vitesse de déplacement de la cabine.

On pourrait penser qu'il est difficile de mesurer cette variation de pression mais il se trouve que je dispose d'un capteur de pression dans ma poche, enfin dans le téléphone qui se trouve dans ma poche. Le capteur de pression atmosphérique embarqué a une résolution remarquable de 0,01 mbar ( $1/100^{\text{e}}$  de millibar = 1 Pa).

Pour utiliser les données fournies par ce capteur, j'ai utilisé l'application *Sensor Kinetics* d'Innoventions Inc. (disponible aussi bien pour Android que pour iOS).

La version *Pro* permet d'enregistrer les données recueillies par les capteurs du téléphone et de les partager.

Ci-dessous, voilà le graphique que j'obtiens en enregistrant l'évolution de la pression atmosphérique lorsque l'ascenseur s'est déplacé du huitième étage au rez-de-chaussée, a marqué un arrêt puis est remonté au quatrième étage.



Enregistrement de la pression au cours du déplacement de l'ascenseur

Un périple qui a duré environ une minute, pas de quoi provoquer la colère des autres habitants de l'immeuble, impatients de pouvoir eux aussi profiter de l'espace réduit de la cabine.

On notera que la pression  $p$  est donnée en hPa (hectopascal).

$$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ mbar.}$$

### Hauteur correspondant à huit étages

La variation maximale de pression est :

$$\Delta p = 1019,5 - 1016,9 = 2,6 \text{ hPa}$$

C'est là qu'intervient la relation fondamentale de l'hydrostatique.

La variation de pression entre deux points  $A$  et  $B$  d'un même fluide et situés respectivement aux altitudes  $z_A$  et  $z_B$  est :

$$\Delta p = p_B - p_A = \rho g(z_A - z_B) = -\rho g \Delta z$$

- $p_B$  et  $p_A$  sont en pascal (Pa)
- $\rho$  est la masse volumique du fluide, en  $\text{kg/m}^3$
- $g$  est l'accélération de la pesanteur en  $\text{m/s}^2$ ;  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  au niveau du sol

Si on note  $h$  la différence d'altitude  $z_A - z_B$  entre les deux points considérés, il vient :

$$\Delta p = \rho g h$$

Le fluide considéré ici est l'air.

Sa masse volumique varie avec la température mais à  $20^\circ\text{C}$  (qui est pratiquement la température à laquelle j'ai fait mon voyage en ascenseur), sa valeur est proche de  $1,2 \text{ kg/m}^3$ .

$g$  varie avec l'altitude. Cependant il faut s'élever de 32 km pour que sa variation soit de 1 % de sa valeur. On est loin de la hauteur de mon immeuble et on peut considérer que  $g$  ne varie pas au cours du déplacement de la cabine.

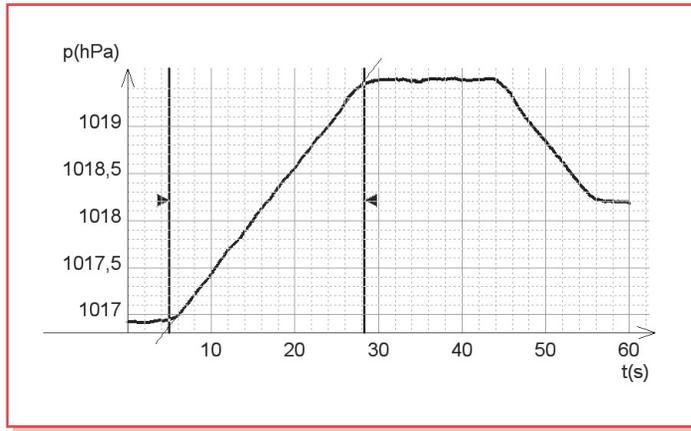
Tout ceci conduit à :

$$h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \frac{2,6 \times 100}{1,2 \times 9,81} = 22 \text{ m}$$

### Vitesse de la cabine d'ascenseur

La modélisation de la partie croissante de la courbe permet d'obtenir l'équation qui régit la pression au cours du temps  $t$  :

$$p = 0,112 t + 1016 \text{ (avec } p \text{ en hPa et } t \text{ en s)} \quad (1)$$



Par ailleurs, si  $v$  désigne la vitesse, supposé constante, de l'ascenseur, alors on a :

$$v = \frac{h}{t} \text{ et } h = vt$$

On peut ainsi écrire que :

$$p = \rho gh + p_0 = \rho gvt + p_0 \quad (2)$$

→  $p_0$  est la pression au niveau du rez-de-chaussée

Par identification entre les équations (1) et (2), il vient :

$$v = \frac{p - p_0}{\rho gt} = \frac{\Delta p}{\rho gt} = \frac{a \times 100}{\rho g}$$

→  $a$  désigne le coefficient directeur (en hPa/s) de la partie rectiligne de la courbe  $a = \frac{\Delta p}{t}$

Numériquement, on obtient :

$$v = \frac{0,112 \times 100}{1,2 \times 9,81} = 0,95 \text{ m/s soit } 3,4 \text{ km/h}$$

La vitesse des ascenseurs résidentiels est, semble-t-il, comprise entre 0,6 et 2,5 m/s d'après l'encyclopédie *Wikipédia*.

Je passerai tout de même un petit coup de fil à la société responsable de l'entretien pour savoir si cette vitesse est référencée...

### Remarque

Si l'altitude de l'ascenseur augmente, la pression diminue et la relation s'écrit :

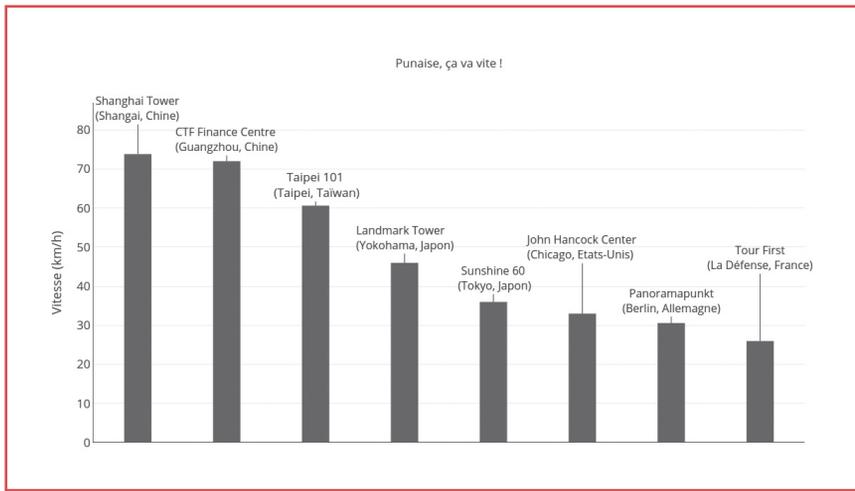
$$v = \frac{-\Delta p}{\rho g t} = \frac{-a \times 100}{\rho g} \quad (3)$$

### Les records de vitesse

Avec des tours de plus en plus hautes et des utilisateurs de moins en moins patients, s'est engagée une compétition parmi les ascensoristes (ce mot existe, il désigne les installateurs d'ascenseurs) pour proposer des ascenseurs de plus en plus rapides.

Un article du journal *Le Figaro* (« La folle course à la vitesse des ascenseurs de gratte-ciel » – 6/1/2017) recense les ascenseurs les plus rapides du monde.

J'en ai tiré ce petit diagramme<sup>1</sup> :



On voit qu'on est loin de la valeur de 3,4 km/h de mon propre ascenseur et, dans la *Shanghai Tower*, la vitesse de la cabine atteint 73,8 km/h (incroyable !).

1. <https://plot.ly/>

Cette tour possède 128 étages pour une hauteur de 632 m<sup>1</sup>. À la vitesse précédente, il faut donc une trentaine de secondes pour atteindre le dernier étage à partir du rez-de-chaussée.

### L'escalator d'un célèbre magasin suédois

Il y a des escaliers mécaniques un peu partout maintenant. L'avantage est, paraît-il<sup>2</sup>, d'éviter les files d'attente devant les ascenseurs et d'assurer un meilleur débit des utilisateurs.

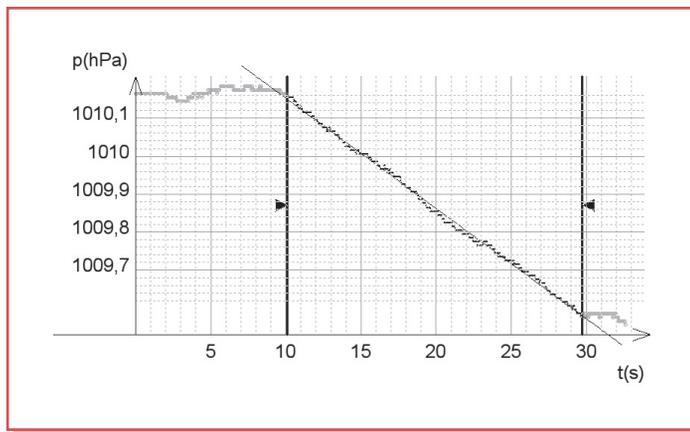
L'ascension (ou la descente) est automatique, mais à une vitesse peu soutenue, du moins c'est l'impression que j'ai.

Pour vérifier cette impression et avant d'aller bien gentiment suivre le labyrinthe fléché qui vous assure de ne louper aucun recoin de ce magasin bien connu des amateurs de notice, j'ai enregistré l'évolution de la pression pendant que je prenais l'escalator desservant le premier niveau de celui-ci.

Sur le graphique qui suit, on observe bien la diminution de pression correspondant à une augmentation de l'altitude.

La modélisation de la partie linéaire conduit à :

$$p = -0,029 t + 1\,010,4 \text{ (avec } p \text{ en hPa et } t \text{ en s)}$$



1. À ces 128 étages, il faut ajouter neuf zones de 12 à 15 étages fournissant des bureaux, des espaces de loisir et de ravitaillement.
2. « Escalier mécanique » *Wikipedia*, Wikimedia Foundation, 24 octobre 2017, [http://fr.wikipedia.org/wiki/Escalier\\_m%C3%A9canique](http://fr.wikipedia.org/wiki/Escalier_m%C3%A9canique).

On peut suivre le même raisonnement que pour l'ascenseur de l'immeuble à *condition de prendre en compte l'inclinaison de l'escalator*. Si  $\alpha$  désigne l'angle entre l'escalator et l'horizontale, alors :

$$h = vt \sin \alpha$$

et il faut modifier l'équation (3) :

$$v = \frac{-\Delta p}{\rho g t \sin \alpha}$$

Les escalators ont deux inclinaisons possibles :  $30^\circ$  ou  $35^\circ$ . L'angle de  $30^\circ$  est un peu plus rassurant pour le public.

En prenant cette valeur rassurante, la vitesse de l'escalator est :

$$v = \frac{0,029 \times 100}{1,2 \times 9,81 \times \sin 30} = 0,49 \text{ m/s soit } 1,8 \text{ km/h}$$

Pas de quoi faire voler mes cheveux au vent<sup>1, 2</sup>, ...

Notons que cette vitesse est proche de la vitesse moyenne annoncée dans l'article *Wikipedia* consacré au sujet, à savoir 2,0 km/h.

### Et si je veux faire la course avec l'ascenseur ?

Il m'arrive de vouloir faire le malin devant les enfants pour asseoir mon rôle de père tout puissant (ça marche de moins en moins au fur et à mesure qu'ils grandissent hélas) et dans cette catégorie, arriver en bas des marches avant l'ascenseur et ses passagers alors que nous sommes partis en même temps peut faire son effet, disons au moins une fois et à condition de ne pas être complètement essoufflé.

Le graphique qui suit correspond à l'enregistrement de la pression pour une descente à pied (par l'escalier) des huit étages de mon immeuble à un rythme normal (sans faire le fou-fou et sans sauter plusieurs marches à la fois comme dans mon insouciance jeunesse).

1. La même expérience lors d'un passage dans une librairie du centre ville de Reims a fourni 0,58 m/s soit environ 2,1 km/h.
2. Même expérience à la station *Bir-Hakeim* du métro parisien (ligne 6) : 0,48 m/s. Un peu moins que la valeur obtenue dans la vidéo « Les escalators vont-ils à la même vitesse ? » (0,50 m/s) dont les références sont données à la fin de cet article.