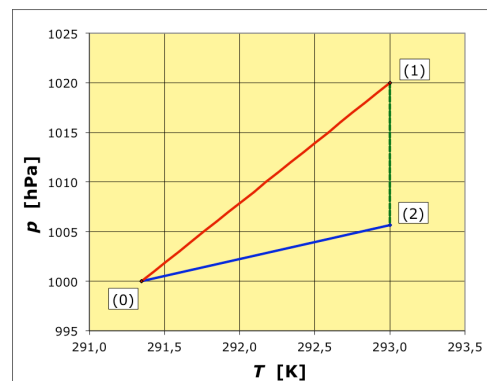
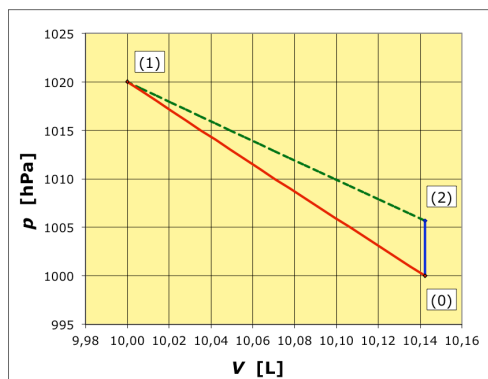


GAZ PARFAITS - corrigé du TP

1. Expérience de Clément-Desormes

1.1. Modélisation

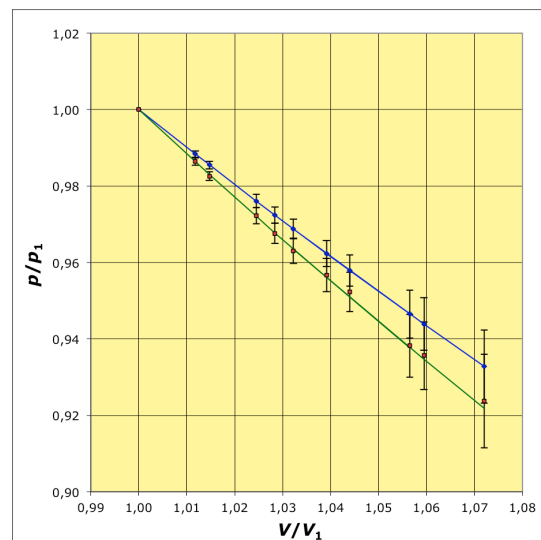
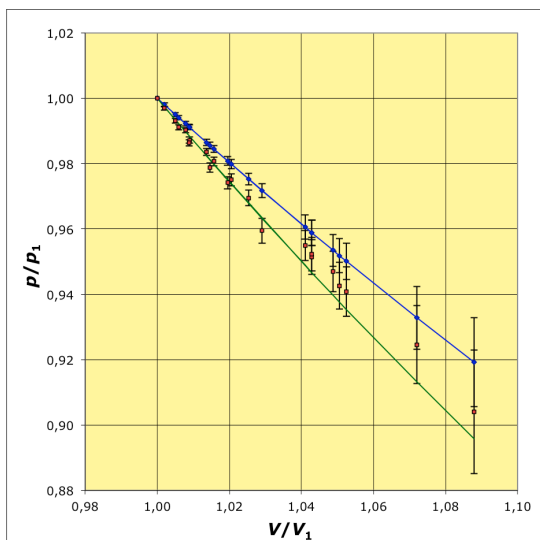
• Dans un diagramme de Clapeyron (V, p), la détente adiabatique (1) \rightarrow (0) suit la loi de Laplace, mais pour les très petites variations considérées les portions de courbes sont quasi-rectilignes ; elle est suivie d'un rééquilibrage thermique isochore (0) \rightarrow (2). On peut aussi représenter (en pointillés) l'isotherme (2) \rightarrow (1) fermant le cycle.



• On peut aussi utiliser une représentation (T, p) comme ci-dessus à droite.

1.2. Résultats expérimentaux

• Des expériences ont été réalisées avec des bidons en matière plastique ; l'allure est qualitativement correcte mais les déformations du bidon, les fuites des joints et les défauts du rééquilibrage thermique faussent plus ou moins les résultats ; on obtient généralement des valeurs sous-estimées : $\gamma = 1,30 \pm 0,05$ (ci-dessous à gauche ; ajusté avec le solveur du tableur par la méthode du χ^2).



• Des expériences ont été réalisées avec des bouteilles en verre pour tester si ce sont les déformations des bidons qui sont la principale cause d'erreur ; contrairement à ce qui était soupçonné, les résultats sont généralement plus éloignés de la valeur généralement admise : $\gamma = 1,17 \pm 0,05$ nettement inférieur à $\gamma = 1,4$ pour l'air (ci-dessus à droite).

◊ remarque : quelques groupes ont testé des mesures en dépression initiale plutôt qu'en surpression ; les résultats sont tout-à-fait équivalents.

2. Facteur de Boltzmann

2.1. Modélisation (trop) simple

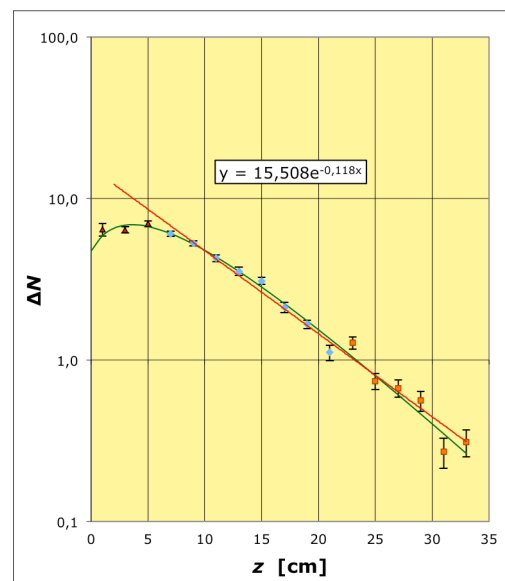
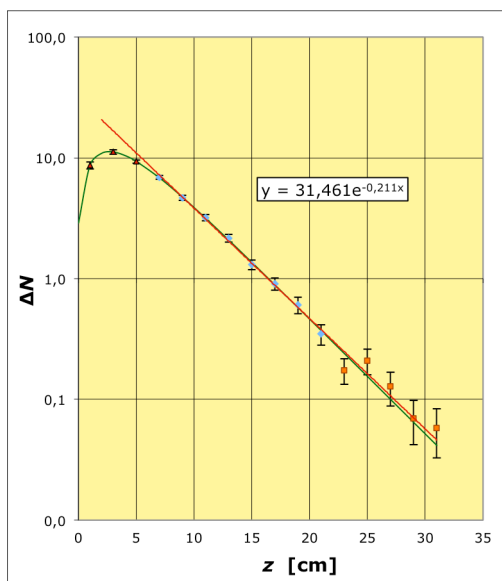
• Dans un tube vertical de section constante, on considère un gaz dont la pression décroît exponentiellement en fonction de l'altitude : $p = p_0 e^{-\alpha z}$; la concentration évolue donc de même : $C = C_0 e^{-\alpha z}$.

◊ remarque : on utilise ici un tube de 35 cm de haut et 5 cm de diamètre.

• En comptant le nombre moyen de billes $\Delta N(z)$ par tranche d'altitude (ici $\Delta z = 2$ cm), on constate effectivement en première approximation une décroissance d'allure grossièrement exponentielle (linéaire pour ΔN en échelle logarithmique ; ci-dessous en rouge).

◊ remarque : les billes (en acier, du type "roulement à billes") ont une masse $m = 0,25$ g (si la balance est de précision insuffisante, on peut en peser une dizaine).

• Des mesures ont été faites pour deux fréquences du moteur (mesurées au stroboscope) : $f = 31,5$ Hz et $f = 42,8$ Hz .



• Les mesures font toutefois apparaître un systématique défaut de concentration au voisinage du piston ; on est donc amené à chercher une modélisation plus précise.

L'agitation thermique simulée par le piston à un défaut important : effectuée à une fréquence constante unique, elle ne respecte pas la répartition statistique des vibrations (proportionnelle au facteur de Boltzmann associé à leur énergie) qu'aurait un solide servant de thermostat au contact du gaz.

2.2. Effet de surface

• La concentration plus faible au voisinage du piston caractérise un "effet de surface" : l'action "violente" du piston peut produire des "turbulences" locales dans le fluide. Pour modéliser cet effet, on peut ajouter empiriquement une seconde contribution à décroissance exponentielle rapide : $C = C_0 e^{-\alpha z} - C_1 e^{-\beta z}$.

Pour tester un tel modèle, il est souhaitable de disposer d'une statistique suffisante pour que les incertitudes soient assez petites (de l'ordre d'une centaine de photographies). On obtient ainsi une description compatible avec les données (ci-avant en vert ; ajustée avec le solveur du tableur par la méthode du χ^2).

2.3. Effet de propagation d'onde sonore

- La concentration plus faible au voisinage du piston pourrait aussi être interprétée par une propagation d'onde dans le gaz simulé, ou plus précisément par une sorte d'onde stationnaire : un nœud de pression associé à un ventre de déplacement.

Le fait que la modélisation précédente soit un peu moins bonne pour la plus grande fréquence du piston, pour laquelle les billes montent plus souvent plus haut et la longueur d'onde serait plus petite, est un indice possible d'un tel effet. Resterait par contre à interpréter une réflexion d'onde dans un milieu ouvert en haut sans nette discontinuité des conditions de propagation (effet des interactions avec l'air et la paroi latérale ?).

Une telle modélisation théorique n'est par contre pas simple et cela n'a pas été approfondi compte tenu de l'insuffisance flagrante des données pour tester (il n'y aurait pas assez de longueurs d'onde dans la zone étudiée).

2.4. Effet de la température

- On peut, en première approximation, simuler une augmentation de température en augmentant la fréquence du piston (et donc la puissance moyenne qu'il transmet aux billes).

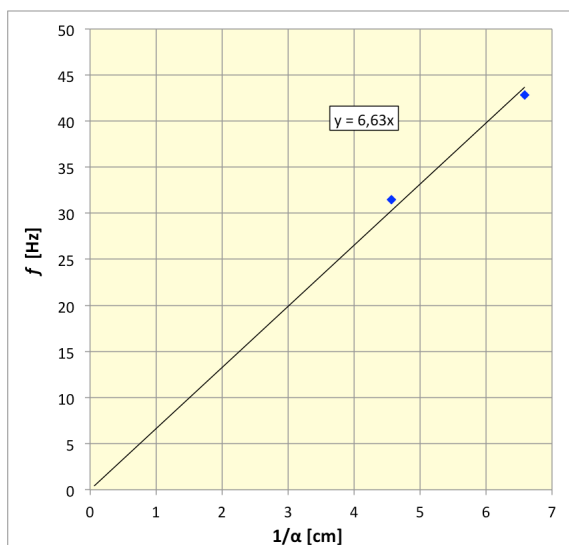
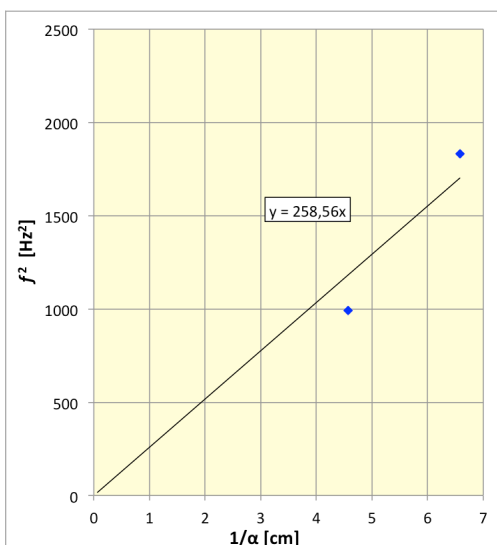
◊ remarque : une telle tentative de simulation est forcément médiocre dans la mesure où le réglage est possible pour la fréquence mais non pour l'amplitude.

- En principe $\frac{1}{\alpha} = \frac{RT}{Mg}$ est proportionnel à l'énergie d'agitation thermique (température simulée).

En principe, pour une amplitude fixée (c'est le cas du piston), l'énergie d'une oscillation est proportionnelle au carré de la fréquence.

D'un autre point de vue, la vitesse "transférée" aux billes est proportionnelle à la vitesse du piston donc à sa fréquence ; l'énergie cinétique des billes est proportionnelle au carré de la vitesse.

- Les données suggèrent presque plus une proportionnalité avec f et non f^2 , mais les incertitudes sont trop grandes pour conclure.



- La cause la plus plausible est l'influence des frottements sur l'air : les molécules frottent plus lorsque les vitesses sont plus grandes. Qui plus est, les billes qui montent plus haut ont dû frotter plus pour y parvenir ; cela tend à déformer la forme de décroissance exponentielle en augmentant la pente pour les grandes valeurs de z (effet compatible avec l'arrondi de la courbe à plus haute fréquence du piston).