



Des mentos[®] dans le coca[®]

**Au départ, une rumeur chez les
jeunes**

**Au final, une activité expérimentale
pluridisciplinaire (PC, maths et SVT)
où l'accent est mis sur la gestion de
la variabilité d'une mesure**

Point de départ

- la rumeur sur internet du caractère explosif lors d'un contact entre le coca cola et des bonbons mentos®. On y trouve un grand nombre de video sur ce thème.
- On raconte même qu'il y aurait des morts pour avoir bu du coca après avoir sucé un mentos® (ou l'inverse)
- *Par exemple :*

Mentos + Soda =
Explosion



source

<http://www.cookadvice.com>



Premiers objectifs

- Réaliser cette expérience et essayer d'interpréter scientifiquement ce qui se passe : réaction chimique ? réactifs mis en jeu ?
- Mettre en évidence les facteurs d'influence sur ce phénomène : changer le liquide, (essayer avec divers soda) et remplacer le mentos[®] par un autre réactif ou solide.

Approche expérimentale et observations



Sel + coca : ça gaze



Eau gazeuse + mentos® : ça gaze



Avec des coquillages, avec du sable, avec des billes de verre, ça gaze toujours

Mise en évidence de la nature du gaz produit



Trouble de l'eau de chaux



Approche chimique

- Quelles sont les espèces chimiques en présence,
 - Dans le coca-cola[®]
 - Dans les sodas
 - Dans les eaux gazeuses
 - Dans le mentos[®]
 - Dans le sable
 - Dans le verre
 -



interprétation

- Le gaz libéré est du CO_2 (test)
- le mentos[®] n'interviendrait que par la ruguosité de sa surface, comme le verre, le sable
- *Rappel de la formation des bulles du champagne ou de la bière dans un verre...*
- ce contact déplace l'équilibre de dégazage dans le sens direct
- $\text{CO}_2(\text{aq}) = \text{CO}_2(\text{gaz})$

Exploitation pédagogique ?

- A quel niveau scolaire ?
- Dans quelle discipline ? Chimie ? Physique ? SVT (dégazage et géologie) ?
- Dans quel objectif ?



Un problème majeur

- Les expériences ne « marchent » pas toujours pareil
- Il y a une certaine **variabilité** dans les observations expérimentales.



Une approche transdisciplinaire **Maths & Sciences expérimentales** : comment interpréter la variabilité des observations ?

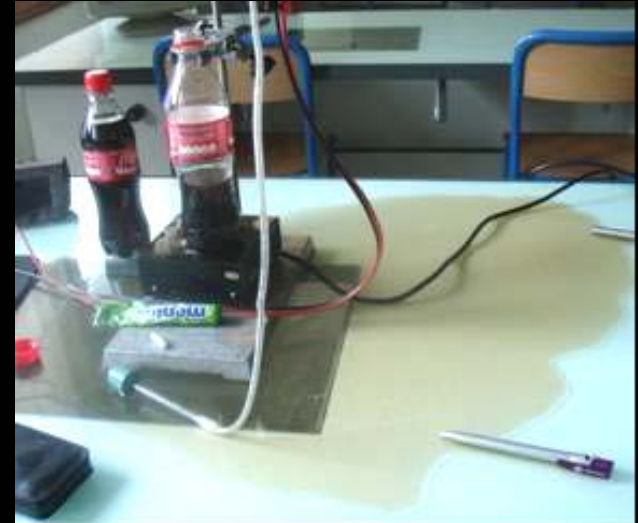
- Mise en évidence de la notion de **variabilité** : reproduire les mêmes conditions expérimentales et « mesurer » le phénomène un grand nombre de fois
- Que « mesurer » ? Dans une première approche on suivra l'évolution temporelle de la pression à l'aide d'un dispositif ExAO

Mise en place d'un protocole reproductible

- Quelques essais ratés

a) Bouteille de coca[®] initialement pleine :

la surpression fait sauter le bouchon lié au capteur de pression ; débordements, mesures impossibles



b) Utilisation d'un ballon bicol : les aspérités invisibles du verre du ballon provoquent le dégazage du coca , le mentos[®] introduit par le col latéral, immédiatement rebouché après introduction, ne provoque plus aucun dégazage .



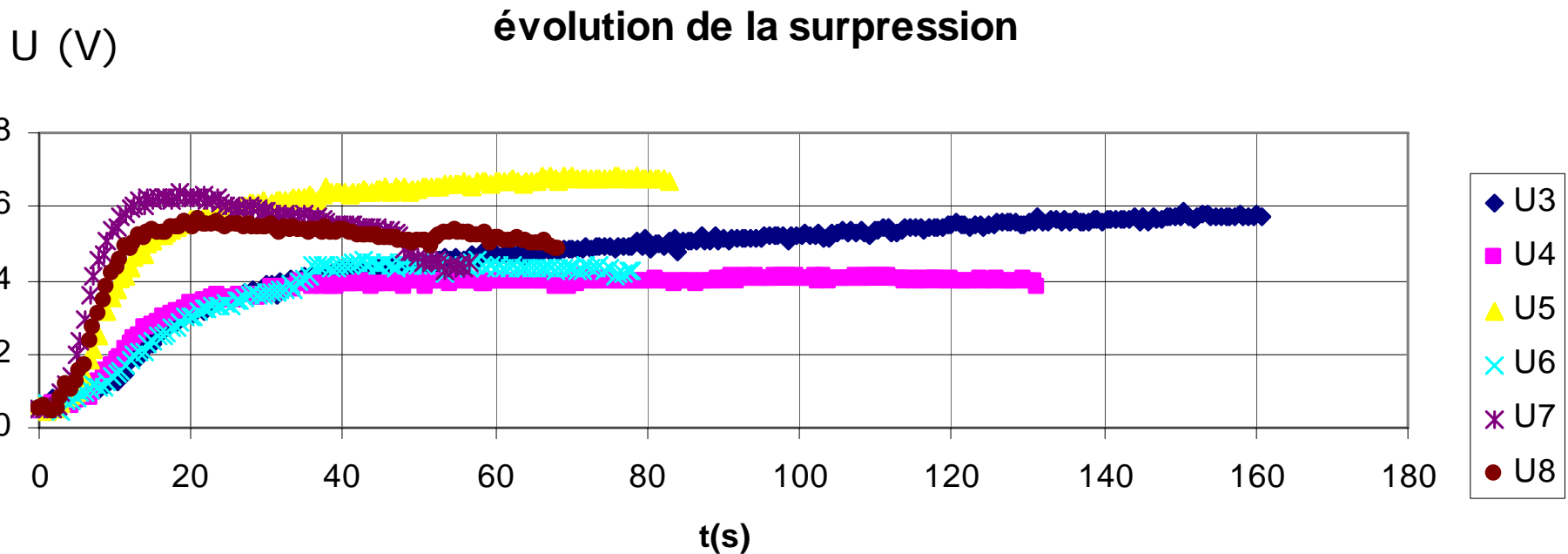


Protocole retenu

- Utiliser les bouteilles d'origine (paroi très lisse), les rincer à l'eau glacée.
- Répartir – en versant doucement le long de la paroi pour éviter le dégazage- du coca-cola® frais dans des bouteilles de 250 mL à raison de 100 mL par bouteille (volume repéré par un trait sur chaque bouteille).
- Vérifier que la **température initiale du liquide est la même.**
- Introduire un mentos® par le col de la bouteille et boucher immédiatement à l'aide du bouchon connecté au capteur.
- La saisie démarre automatiquement (déclenchement seuil «front montant »).



Résultats expérimentaux



Remarque : la surpression est ici exprimée en Volt, information donnée par l'appareil sur la sortie analogique traitée par l'interface EXAO ; cette information est proportionnelle à la surpression.

Commentaire des résultats observés

- Les mesures montrent que le phénomène observé ne se reproduit pas de façon totalement identique, mais l'évolution générale est similaire dans le cadre d'une certaine variabilité.
- Dans tous les cas, la surpression se stabilise assez rapidement.
- Pour simplifier le protocole et mettre en évidence des facteurs d'influence on décide de quantifier le phénomène par la mesure de la surpression finale stabilisée.
- Une approche statistique est nécessaire pour prendre en compte la variabilité

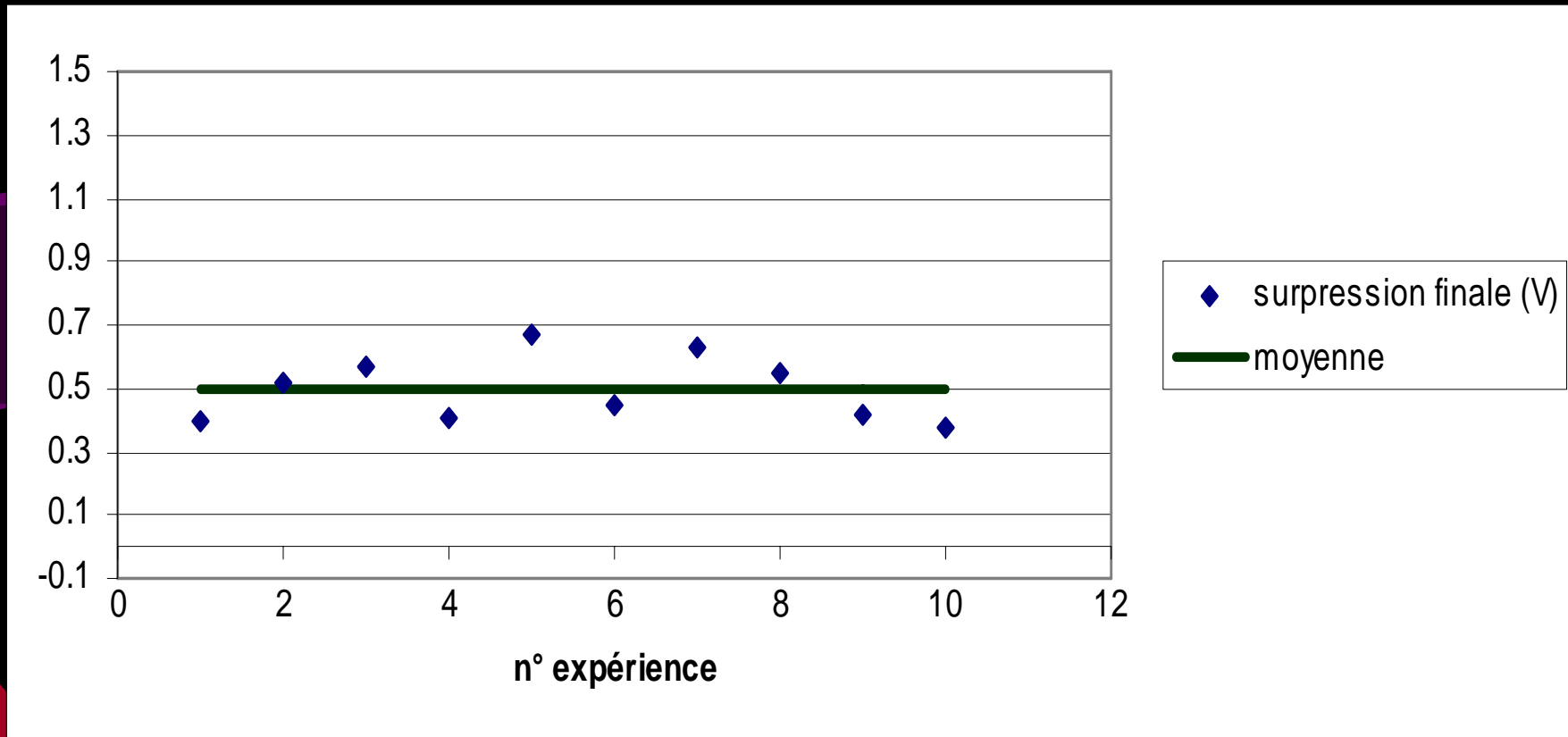


Mesures et variabilité

- Si on ne sait rien de la variabilité du résultat d'une mesure, on ne peut rien tirer de l'expérience .
- Ici, on voit que, malgré les difficultés au démarrage, dans les conditions expérimentales réelles reproduites le plus fidèlement possible par le même expérimentateur, la surpression finale se situe dans un intervalle assez large (écart relatif de 50% sur 5 enregistrements).

1 mentos[®] + 100 mL de coca

Résultats de 10 enregistrements



Remarque : la suppression est ici exprimée en Volt, information donnée par l'appareil sur la sortie analogique traitée par l'interface EXAO ; cette information est proportionnelle à la suppression.

Influence de la division du solide introduit sur ΔP_{final}

Approche qualitative 1

- Avec sel fin ----- Rapide et vilolent
- Avec gros sel----- Lent

A decorative graphic on the left side of the slide features three balloons in shades of blue, purple, and red, each with a string and several small triangular flags. The balloons are arranged vertically, with the blue one at the top, the purple one in the middle, and the red one at the bottom.

Approche qualitative 2

- Sucre en poudre ou morceau de sucre ?
- Mêmes observations

Approche qualitative 3 sable/caillou

- Sable : rapide et mousse abondante
- Cailloux : faible effervescence



Le sable et les petits cailloux sont de la même nature , ils ont été collectés sur la même plage

Approche quantitative : Facteurs d'influence et variabilité

- **Préalable** : vérifier, lorsqu'on modifie un facteur, si la variation observée dépasse la simple fluctuation d'échantillonnage ou non.
- **Comment faire ?**
 - Lorsqu'on modifie un facteur, **reproduire l'expérience plusieurs fois : 5 à 10 expériences (« échantillons »)** pour chaque situation



Gérer la variabilité

- On peut comparer les moyennes des séries de mesures (dites moyennes empiriques) .
- mais celles-ci varient d'une série d'expériences à l'autre et même s'il n'y a aucun effet de la granulométrie.
- A partir de quelle différence décrète-t-on que la différence observée des moyennes n'est pas simplement imputable à la variation naturelle du phénomène étudié ?



Posons les questions

- Au vu des résultats expérimentaux la différence entre les moyennes peut-elle être imputée à la seule variabilité du phénomène ?
- Ou, peut-on attribuer aux différences observées entre deux séries une cause autre que la variabilité propre du phénomène étudié, avec une *faible* probabilité de se tromper (par défaut 5 chances sur 100)?

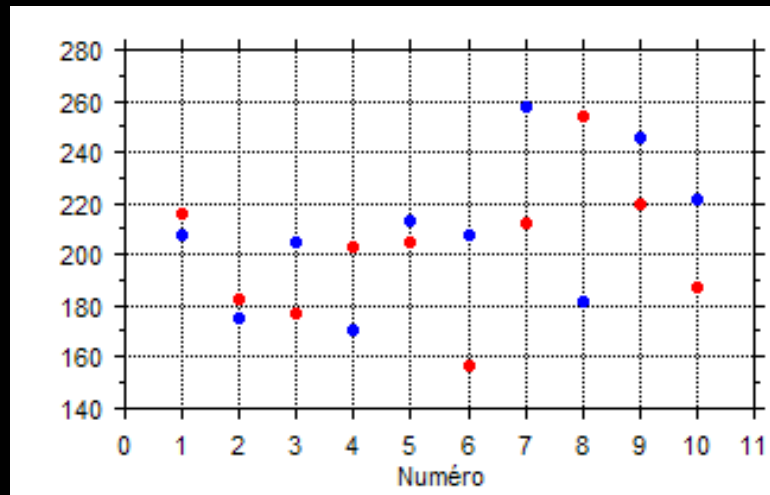


Simulations préalables

- Les modèles simulés –dans les diapos 24 à 28 (qui suivent)- sont des distributions de probabilité entièrement décrites par deux paramètres : l'écart-type et la moyenne.
- L'objectif est de montrer que le fait de **conclure que deux séries de données ne diffèrent pas du seul fait de la variabilité du phénomène étudié ne peut se déduire de la considération des seules moyennes empiriques** ; il convient de tenir compte de la variabilité propre des phénomènes (écart-type par exemple) en jeu et du nombre des données dont on dispose

Première simulation

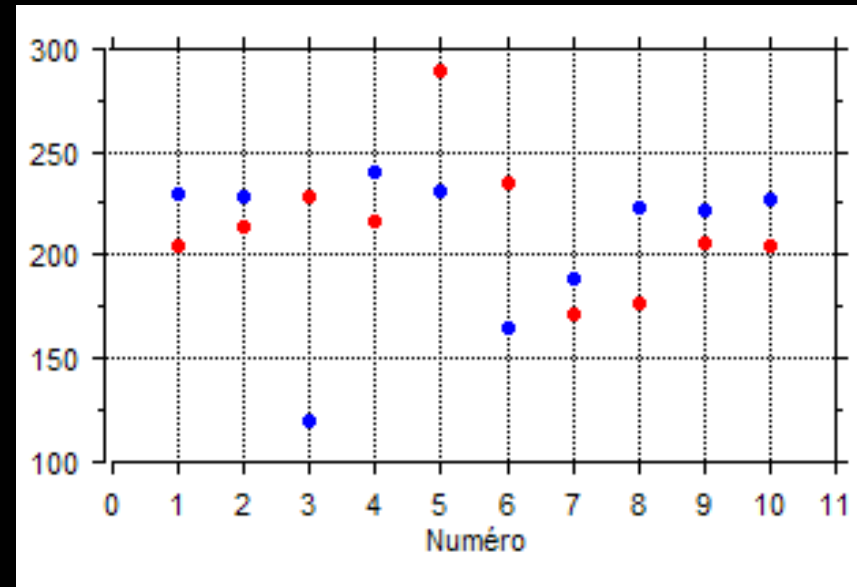
- les modèles (. et .) sont identiques : la loi est $N(200,30)$, c'est-à-dire que la moyenne théorique est 200 et l'écart-type théorique est 30.
- Les moyennes empiriques sur deux séries de 10 simulations diffèrent de 7,4 unités ; en regardant les données, on *observe* que celles-ci sont *mélangées*.



	Exp1	Exp2
Moy.	208,8	201,4
Dév. Std	28,4	27,1
Nombre	10	10
Minimum	171,0	156,9
Maximum	258,2	254,4
Médiane	207,8	204,0

Deuxième simulation

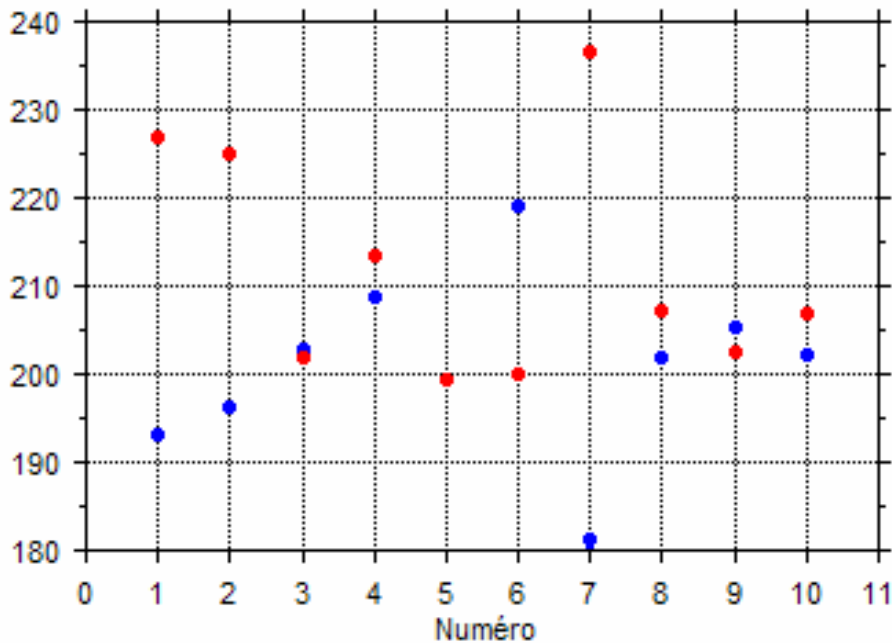
- les modèles des deux expériences sont différents : pour l'expérience 1 c'est la loi est $N(200,30)$, et pour l'expérience 2, la loi $N(210,30)$.
- Les moyennes empiriques sur deux séries de 10 simulations différent de 6,8 unités (un peu moins que précédemment) ; en regardant les données, celles-ci sont toujours aussi *mélangées*



	Exp1	Exp2
Moy.	207,7	214,5
Dév. Std	38,2	32,9
Nombre	10	10
Minimum	120,5	171,7
Maximum	240,7	289,1
Médiane	225,2	209,6

Troisième simulation

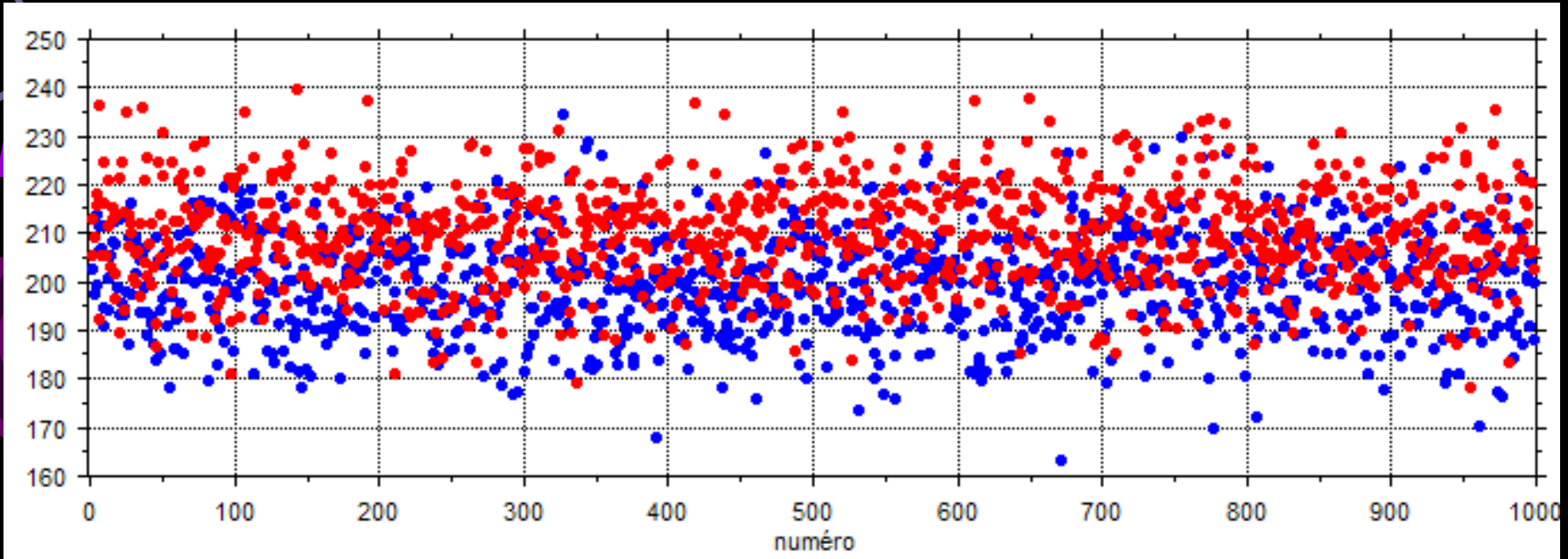
- $N(200,10)$ et $N(210,10)$



	Exp1	Exp2
Moy.	201,0	211,9
Dév. Std	10,0	13,1
Nombre	10	10
Minimum	181,2	199,5
Maximum	219,2	236,4
Médiane	202,1	206,9

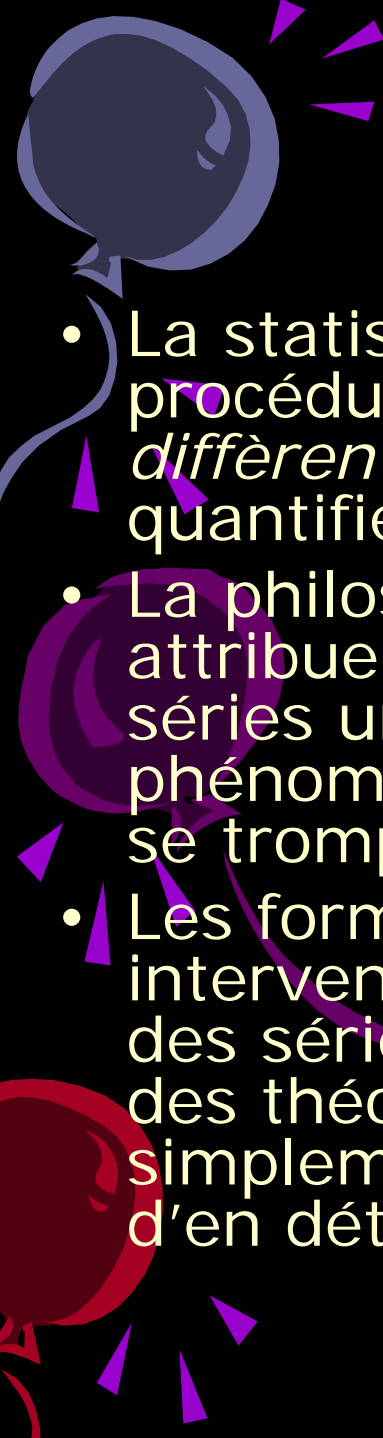
les données sont moins mélangées au sens où les trois plus grandes, qui se détachent un peu des autres sont issues du modèle $N(210,10)$, les trois plus petites étant issues du modèle $N(200,10)$

Plus d'expériences, 1000 simulations de $N(200, 10)$ et de $N(210, 10)$.



	Moy.	Dév. Std	Nombre	Minimum	Maximum	Médiane
Exp1	199,8	10,4	1000	163,1	234,6	200,1
Exp2	209,6	10,3	1000	178,1	239,6	209,6

Au dessus de 220, on a presque que des points rouges, au dessous de 190, presque que des points bleus

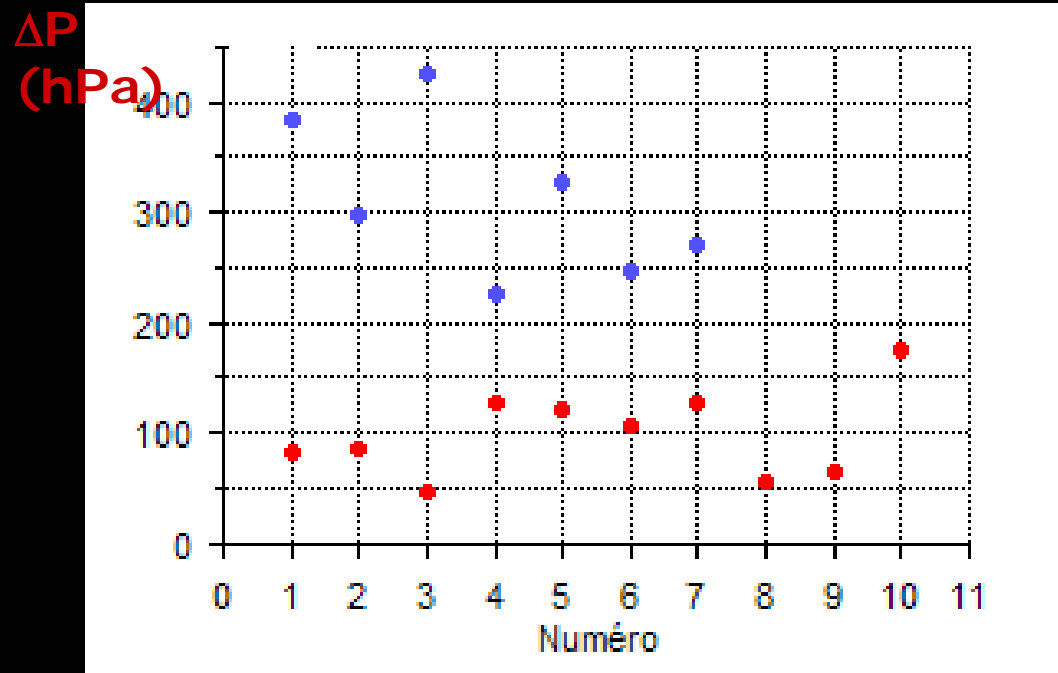
- 
- La statistique mathématique permet d'établir une procédure permettant de dire que les deux séries *diffèrent significativement*, avec une définition quantifiée de cette significativité.
 - La philosophie sous jacente étant qu'on peut attribuer aux différences observées entre deux séries une cause autre que la variabilité propre du phénomène étudié, avec une *faible* probabilité de se tromper (par défaut 5 chances sur 100).
 - Les formules employées sont complexes, elles font intervenir la moyenne et l'écart-type empiriques des séries de mesures, et elles font aussi appel à des théorèmes de probabilité ; notre propos est ici simplement d'en faire sentir la nécessité et non d'en détailler la technique.

Mise en œuvre : approche quantitative



Influence de la granulométrie du sucre sur le dégazage :
sucre en morceau / sucre en poudre

Surpression finale (hPa)



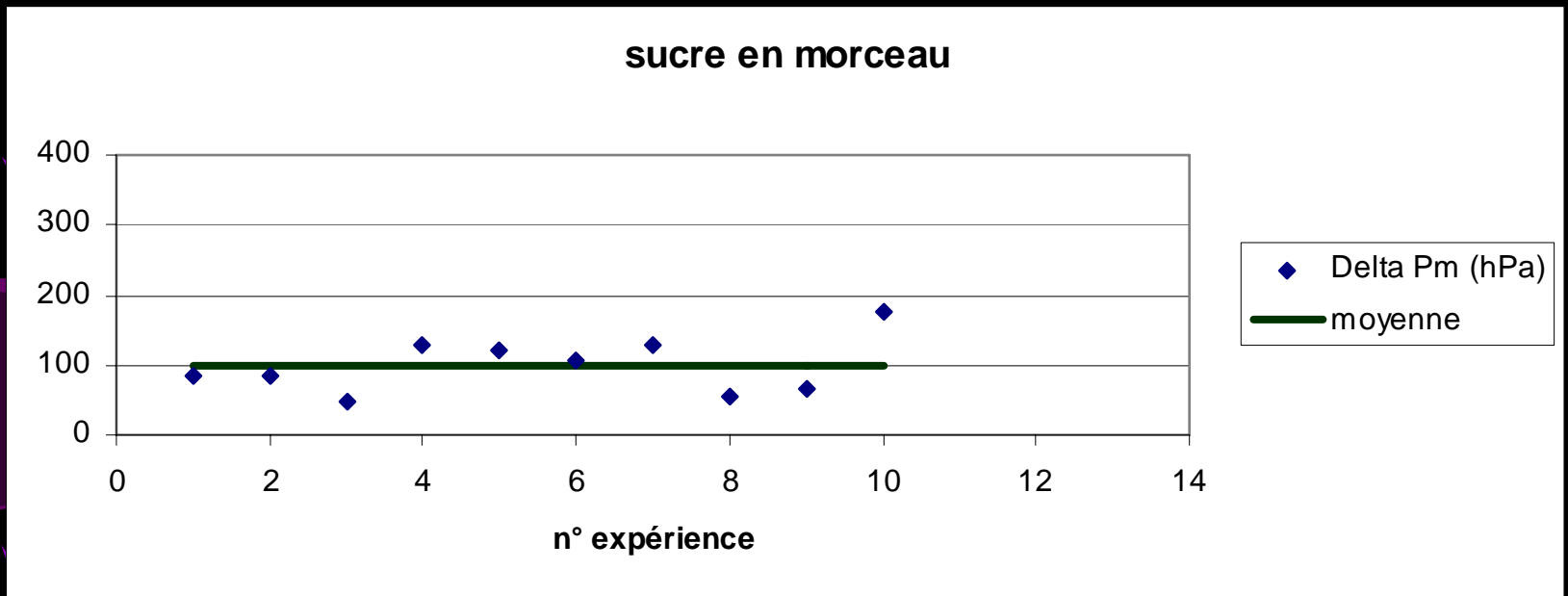
• Poudre

• morceau

	Moy.	Dév. Std	Nombre	Minimum	Maximum	Médiane
Morceaux	99,9	37,7	10	47,0	177,0	96,0
poudre	311,6	67,5	7	227,0	427,0	297,0

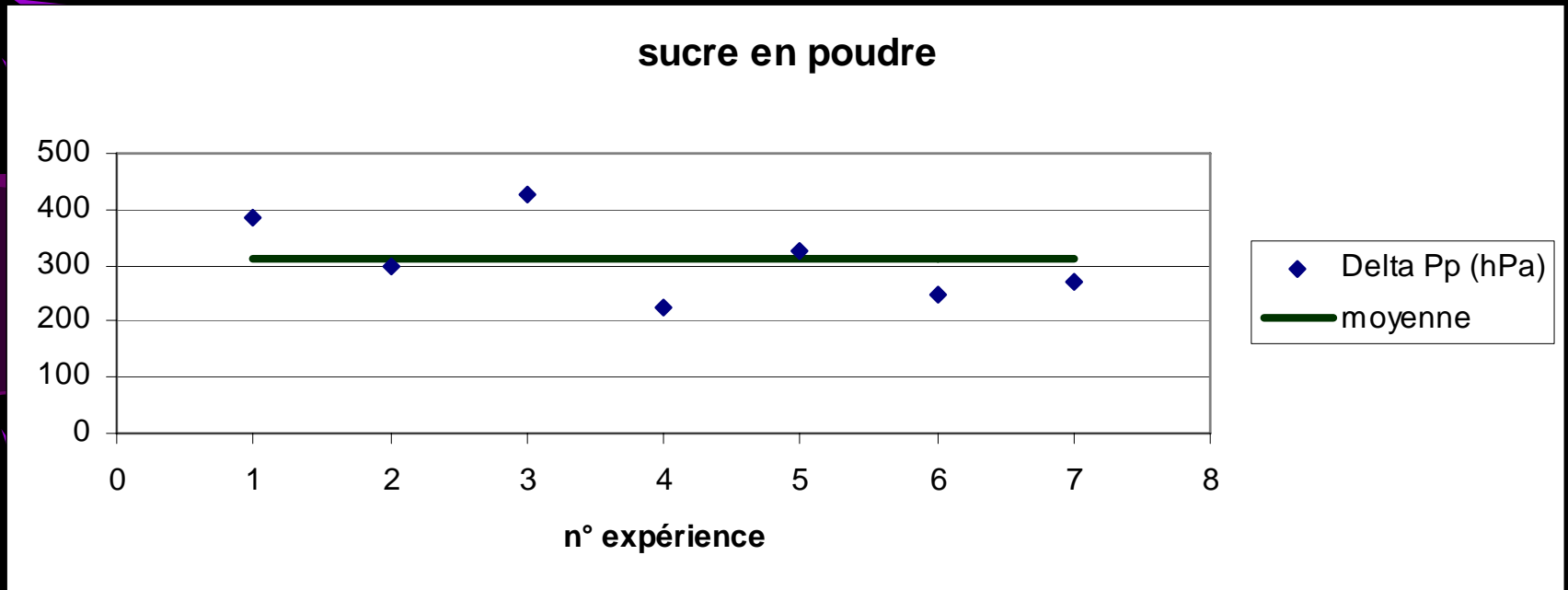
au vu des données la différence entre les moyennes ne peut être imputée à la seule variabilité du phénomène

Morceau de sucre $m = 4,0 \text{ g}$



Surpression finale moyenne : 100 hPa

Sucre en poudre $m = 4,0 \text{ g}$



Suppression finale moyenne : 312 hPa

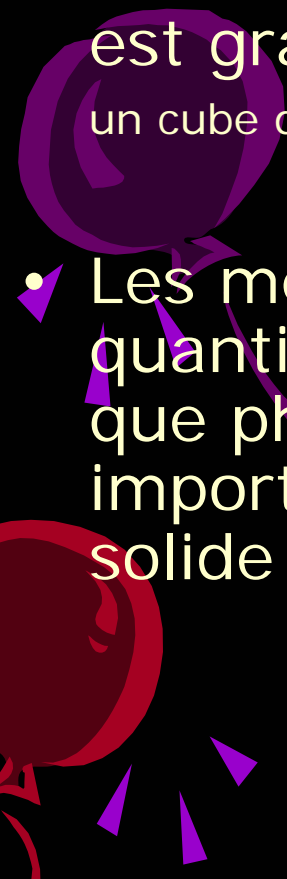


Exploitation

- Le caractère « divisé » du solide mis en contact avec la boisson a une influence sur le dégazage.
 - Sur une dizaine d'échantillons de chaque cas, la moyenne de la surpression finale passe de 100 hPa à 300 hPa
- La variabilité des résultats est telle qu'un seul échantillon dans chaque cas n'aurait pas suffi à montrer l'importance de cette influence : par exemple,
 - Échantillon n° 10 (morceau) : $\Delta P = 180$ hPa
 - Échantillon n° 4 (poudre) : $\Delta P = 220$ hPa
 - Le rapport des surpressions finales est loin de la valeur 3 !



Interprétation

- On sait que plus le solide est divisé, plus sa surface est grande. Calcul possible sur un cube divisé en petits cubes
 - Les mesures quantitatives montrent que le phénomène est plus important lorsque le solide est divisé
 - **Le phénomène (libération du dioxyde de carbone) est bien lié à la surface de contact liquide/solide**
- 

A decorative graphic on the left side of the slide features three balloons in shades of blue, purple, and red, each with a string and several small triangular flags. The balloons are arranged vertically, with the blue one at the top, the purple one in the middle, and the red one at the bottom. The flags are also arranged vertically, with the top ones being blue, the middle ones purple, and the bottom ones red.

Applications

- *en géologie*

- Mesure par étalonnage de la granulométrie d'un sable
- Autres ?.....