

# Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France

## Academic Notes of the French Academy of agriculture

### Authors

Hervé This

### Title of the work

La question des bonnes pratiques en sciences de la nature : comment exprimer des incertitudes de mesure

Year 2016, Volume 2, Number 1, pp. 1-8

### Published online:

6 July 2023,

<https://www.academie-agriculture.fr/publications/notes-academiques/n3af-enseignement-bonnes-pratiques-en-sciences-de-la-nature-comment>

[La question des bonnes pratiques en sciences de la nature : comment exprimer des incertitudes de mesure](#) © 2016 by Hervé This is licensed under [Attribution 4.0 International](#) 

Documents didactiques

# La question des bonnes pratiques en sciences de la nature : comment exprimer des incertitudes de mesure

Hervé This<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> UMR Ingénierie Procédés Aliments, AgroParisTech, Inra, Université Paris-Saclay, 91300 Massy, France

<sup>2</sup> Groupe de gastronomie moléculaire, Inra-AgroParisTech International Centre for Molecular Gastronomy, F-75005, Paris, France

**Correspondance :**

herve.this@agroparistech.fr

**Abstract :** The scientific community could usefully adopt best practices rules, for the various steps of its works. Here a numerical example is used in order to discuss such rules for the composition of uncertainties.

**Résumé :** Il a été proposé que la recherche scientifique se dote de règles de bonnes pratiques pour les diverses étapes de ses travaux. Ici, on discute sur un exemple numérique les règles de composition des incertitudes de mesure, telles qu'elles ont été retenues par le *Bureau International des Poids et Mesures*.

**Keywords :**

Uncertainties, best practices, GUM, composition, Monte-Carlo

**Mots clefs :**

Incetitudes, bonnes pratiques, GUM, composition, Monte-Carlo

**Introduction**

Dans la *Lettre de l'Académie d'agriculture de France* (This, 2015), la question des "bonnes pratiques de la recherche scientifique" a été esquissée. En effet, les professions où l'obligation de résultats n'est pas pertinente, telle la médecine, se donnent généralement des obligations de moyens, et, notamment, règlent le travail des praticiens par des "règles de bonnes pratiques" (HAS, 2016). Pour les sciences de la nature, où l'obligation de résultats semble difficile à imposer, la question des bonnes pratiques se pose donc également, mais on peut observer que les règles édictées par les institutions scientifiques ne portent principalement que sur la méthodologie de l'analyse, ciblant la qualité et la traçabilité des travaux de recherche, ainsi que la fiabilité des résultats mesurables (Inra, 2016a), sur la déontologie (Inra, 2016 b) ou sur l'éthique de la publication (Wiley, 2016). La question des calculs est peu

## Documents didactiques

envisagée. Pourtant, toutes les étapes de la recherche scientifique semblent pouvoir être formalisées, à savoir l'identification des phénomènes, la caractérisation quantitative de ces derniers, la réunion des données en lois (équations), la réunion des lois en théories, ou modèles, assorties de propositions de mécanismes, la recherche de conséquences testables des théories, et le test expérimental de ces conséquences (This, 2011).

Ici on se limite à discuter la question de l'expression des incertitudes sur les résultats de mesure et de calcul, afin de mieux montrer l'intérêt des procédures actuellement admises par la collectivité scientifique pour la composition des incertitudes.

Il ne s'agit pas de paraphraser les documents officiels, vers lesquels on renvoie (Eurachem/CITAC Guide CG4, 2012 ; River et Balère, 2003), mais on veut montrer sur des exemples l'intérêt de la constitution d'un "Guide de bonnes pratiques scientifiques", par une institution scientifique qui pourrait être le CNRS, l'Inra, l'Académie d'agriculture de France, l'Académie des sciences, par exemple. En particulier, la caractérisation quantitative des phénomènes, qui est la deuxième étape de la recherche scientifique (Bacon, 1620), conduit à des résultats de mesure que le bon sens et les règles de bonnes pratiques doivent conduire à valider (ACS, 1980).

La répétition des expériences et des mesures ("validation") est une des façons de procéder, mais la production des résultats (le plus souvent différents, à chaque répétition) doit alors être assortie de leur comparaison, ce qui impose de calculer la dispersion des valeurs déterminées (This, 2013). Pour ce calcul, diverses méthodes sont possibles (Saporta, 2006), selon les circonstances expérimentales.

### La composition des incertitudes

Une première façon consiste à répéter une expérience complète (laquelle peut être complexe, avec l'enchaînement de

nombreuses étapes élémentaires) et à calculer un estimateur de l'écart-type  $s_{n-1}$  de la grandeur  $x$  visée par l'expérience (un dosage, par exemple) :

$$s_{n-1} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

où  $n$  est le nombre de répétitions de l'expérience,  $x_i$  la valeur trouvée à l'issue de la  $i$ -ième répétition, et la moyenne des  $n$  valeurs  $x_{i, i=1..n}$  (Harris, 2007).

Toutefois cette méthode n'est pas toujours praticable, notamment quand l'expérience détruit les échantillons qui font l'objet d'une détermination quantitative. Pour apprécier l'incertitude sur la grandeur d'intérêt  $x$ , on doit alors "propager des incertitudes" (on dit aussi "composer des incertitudes"), en se fondant sur une détermination des incertitudes élémentaires pour chacune des étapes de l'expérience.

Considérons, par exemple, le cas très élémentaire où l'on prépare une solution en dissolvant une masse  $m$  d'un soluté (obtenue par pesée, donc) dans une masse  $M$  de solvant (également pesée), et où la grandeur visée est la concentration massique  $c = m/M$  (on observera que la pratique qui consiste à peser des solutés et des solvants pour déterminer des concentrations -massiques en l'occurrence- est bien meilleure que celle qui consiste à mesurer des volumes, les précisions des balances de laboratoire étant le plus souvent bien meilleures que celles des micropipettes ; on en prendra pour preuve que le contrôle des pipettes se fait par pesée). Puisque les masses  $m$  et  $M$  sont incertaines (l'incertitude pourra être l'écart-type de plusieurs pesées, ou bien la précision de la balance, quand la dispersion des pesées est inférieure à la précision), la concentration massique  $c$  l'est aussi, et la question est ainsi d'exprimer l'incertitude  $\Delta c$  sur la concentration massique  $c$  en fonction des incertitudes  $\Delta m$  et  $\Delta M$  avec lesquelles on connaît respectivement  $m$  et  $M$ .

Autre exemple, également fréquent lors

## Documents didactiques

d'analyses chimiques : si l'on mesure une aire  $A$  d'un signal (par exemple, l'aire d'un signal de chromatographie ou de spectroscopie), alors l'utilisation d'une courbe d'étalonnage (en anglais *calibration curve*) d'équation  $A = a \cdot c + b$  permet de remonter à la concentration  $c$  par l'utilisation de l'égalité :

$$c = \frac{A - b}{a}$$

Les aires étant connues avec incertitude, il y a lieu d'exprimer la concentration  $c$  en l'assortissant d'une incertitude, qui doit donc être déterminée à partir des incertitudes sur la courbe d'étalonnage (exprimée par les coefficients  $a$  et  $b$ ) et sur l'aire  $A$ .

Dans tous les cas, il s'agit de considérer le paramètre que l'on cherche (la concentration massique, la concentration d'une solution dosée par spectroscopie...) comme une valeur d'une fonction de plusieurs variables, et le problème de la composition des incertitudes est le suivant : connaissant les incertitudes sur les variables, comment déterminer l'incertitude sur la valeur de la fonction de toutes les variables ?

### La réponse conventionnelle de la communauté et deux pratiques erronées

Il y a d'innombrables façons de faire des caractérisations, et chacune d'elle est légitime, si elle est rationnelle et explicite. En l'occurrence, pour la question de la composition des incertitudes, une réponse collective a été élaborée par le Bureau international des poids et mesures (BIPM) : le *Joint Committee for Guides in Metrology* (JCGM) du BIPM a publié un document intitulé *Évaluation des données de mesure — Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* (GUM) (JCGM, 2015) qui décrit très généralement les bonnes pratiques en matière de détermination d'incertitudes de mesure et de composition de ces incertitudes. Il y a donc lieu de se reporter à ces règles déterminées par convention, mais on se propose ici de les présenter sur des exemples numériques simples, parce que la

pratique de l'enseignement supérieur semble montrer que les étudiants comprennent souvent mieux quand des exemples sont fournis avant les résultats généraux (un fait qui reste à établir quantitativement). On évoquera également les limites d'application des règles retenues.

Considérons donc, par exemple, la détermination de l'incertitude sur le calcul d'une concentration massique  $c$ , connaissant l'incertitude sur les masses  $m$  et sur  $M$  du soluté et du solvant. Que ces incertitudes soient données par un écart-type expérimental ou par la précision d'un instrument de mesure, il est formellement juste de reconnaître que la concentration massique  $c$  est une fonction continue et dérivable des deux variables  $m$  et  $M$ , de sorte que :

$$dc(m, M) = \frac{\partial c(m, M)}{\partial m} dm + \frac{\partial c(m, M)}{\partial M} dM \quad (2)$$

Soit ici :

$$dc(m, M) = \frac{1}{M} dm - \frac{m}{M^2} dM \quad (3)$$

Évidemment, dans de telles expressions analytiques, les différentielles sont des infiniment petits, et non les incertitudes (finies) qui seraient déterminées (Piskounov, 1980). Des documents antérieurs au GUM proposaient de passer aux incertitudes en écrivant :

$$\Delta c(m, M) = \left| \frac{\partial c(m, M)}{\partial m} \right| \Delta m + \left| \frac{\partial c(m, M)}{\partial M} \right| \Delta M \quad (4)$$

Cette expression correspond à une distance que l'on nomme « distance de Manhattan » (Verley, 1997), et les valeurs absolues tiennent compte du fait que les erreurs sont aléatoires, en plus ou en moins. Toutefois, le JCGM a plutôt retenu l'expression qui met en œuvre la distance euclidienne :

$$\Delta c(m, M) = \sqrt{\left( \frac{\partial c(m, M)}{\partial m} \right)^2 \Delta m^2 + \left( \frac{\partial c(m, M)}{\partial M} \right)^2 \Delta M^2} \quad (5)$$

On observe que ces deux pratiques sont voisines, mais mettent en œuvre des

## Documents didactiques

distances mathématiques différentes. De surcroît, le choix retenu par le JCGM impose que le modèle du processus de mesure ne présente pas de non-linéarité significative. Les dispersions doivent être faibles pour chacune des variables du processus de mesure, comparables du point de vue de leur ordre de grandeur, et elles doivent présenter des répartitions symétriques.

Quand ces hypothèses ne sont pas vérifiées, le JCGM propose la mise en œuvre de la méthode de Monte-Carlo, présentée dans un supplément (JCGM, 2008 ; Robert et Casella, 2010). Le principe n'est alors plus de propager l'incertitude *via* le modèle, mais la fonction de densité de probabilité des grandeurs d'entrées. Cette fonction étant connue ou supposée pour chacune des grandeurs d'entrées, la formule de Markov peut alors être utilisée (les méthodes de Monte-Carlo par chaînes de Markov consistent à générer un vecteur  $x_i$  uniquement à partir de la donnée du vecteur  $x_{i-1}$  ; ce sont des processus « sans mémoire »). *A contrario*, il convient d'éviter deux pratiques que l'on rencontre parfois. Tout d'abord, on évitera la pratique suivante :

- mesure de plusieurs valeurs pour chaque variable (par exemple,  $m_1, m_2, m_3$ , et  $M_1, M_2, M_3$ ) ;
- puis calcul des valeurs de la relations fonctionnelle pour des paires de valeurs, par exemple :

$$\frac{m_i}{M_i}, i=1..3$$

et détermination d'un écart-type à partir de ces paires de valeurs (sans attendre, on notera qu'il n'y a pas de raison *a priori* à associer  $m_i$  à  $M_i$  plutôt qu'à un  $M_j, j \neq i$ ). Cette pratique correspond au calcul d'une grandeur  $s'(c)$  :

$$s'(c) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_1^n \left( \frac{m_i}{M_i} - \frac{1}{n} \left( \sum_1^n \left( \frac{m_i}{M_i} \right)^2 \right) \right)}$$

(6)

On évitera également la pratique suivante :

- mesure de plusieurs valeurs pour chaque variable (par exemple,  $m_1, m_2, m_3$ , et  $M_1, M_2,$

$M_3$ ) ;

- puis détermination de toutes les valeurs croisées  $m_i/M_j$  ;
- et calcul de l'écart type sur ces valeurs croisées.

### Une comparaison numérique à visée pédagogique

Dans ce paragraphe, commençons par signaler que les étudiants français du niveau de la Licence apprennent majoritairement à composer les incertitudes pour les seules sommes, différences, produits et quotients : pour la somme et la différence, ils apprennent que l'incertitude est la somme des incertitudes ; pour le produit et le quotient, ils apprennent à prendre la dérivée logarithmique des incertitudes. On observera que, quand des expressions mêlent sommes, produits et autres fonctions analytiques, cette technique devient inopérante.

D'autre part, on peut montrer que, pour les deux pratiques non conformes aux règles du JCGM que nous avons examinées précédemment, les incertitudes sont sous-estimées : dans ce qui suit, on présente des résultats numériques réellement obtenus, pour la détermination d'une concentration massique.

Pour cette comparaison, trois valeurs de la masse d'un soluté et trois valeurs de la masse d'un solvant ont été déterminées (en g, à l'aide d'une balance de précision Mettler Toledo AG153) :

- pour  $m$  : 1,0001 ; 1,0002 ; 1,0002
- pour  $M$  : 10,0001 ; 10,0001 ; 9,9998.

Pour ces deux variables  $m$  et  $M$ , on calcule les moyennes (en g), soit respectivement  $moy_m = 1.00017$  et  $moy_M = 10,0$ , et les écarts-types, soit respectivement  $ecart_{pm} = 6.10^{-5}$  et  $ecart_{pM} = 2.10^{-4}$ ). Les calculs ont été effectués à l'aide du logiciel *Maple 18* (Maplesoft, Waterloo Maple Inc, Ontario, Canada).

Avec la règle du GUM, l'écart-type de la

## Documents didactiques

concentration massique est :

$$s_c = \sqrt{\left(\frac{1}{\text{moym}}\right)^2 \cdot \text{ecartpm}^2 + \left(\frac{-\text{moym}}{\text{moyM}^2}\right)^2 \cdot \text{ecartpM}^2}$$

(7)

La valeur numérique trouvée pour cette estimation de l'incertitude est  $6.10^{-5}$ .

Avec une distance de Manhattan (Verley, 1997) à la place de la distance euclidienne, on aurait :

$$sM_c = \left(\frac{1}{\text{moym}}\right) \cdot \text{ecartpm} + \left(\frac{-\text{moym}}{\text{moyM}^2}\right) \cdot \text{ecartpM}$$

(8)

pour laquelle, la valeur numérique est également  $6.10^{-5}$ . On observe que, avec les règles des arrondis des écarts-types (Taylor, 1997), les deux valeurs sont égales.

Par la méthode de Monte-Carlo, enfin, une hypothèse doit être explicitement faite sur la répartition des valeurs de  $m$  et de  $M$ , puisqu'il s'agit de tirer au hasard des valeurs et de calculer les valeurs correspondantes de  $c$ , pour, finalement, déterminer l'écart-type.

Le GUM spécifie les conditions d'application de la technique, mais on observera que, pour des mesures courantes, le théorème central limite (Suquet, 2005) stipule qu'un bruit résultant de l'action indépendante de différents facteurs physiques obéit à la loi de probabilité normale.

Pour cette troisième méthode, on commence par créer une population expérimentale gaussienne de moyenne 1,00017 et d'écart type 0,00006 pour  $m$ . Puis on crée, pour  $M$ , une population expérimentale de moyenne 10 et d'écart-type 0,0002. On tire maintenant au hasard un grand nombre  $N$  de fois des valeurs de  $m$  et de  $M$  (le GUM préconise d'effectuer  $10^6$  tirages), et, pour chaque tirage, on calcule la concentration  $conc$ , la moyenne des concentrations  $meanConc$  et l'écart-type  $sdConc$ .

Sur cet exemple, on observe que la valeur obtenue ( $6.10^{-6}$ ) est plus petite d'un ordre de grandeur que celles qui sont calculées par la méthode qui utilise les dérivées partielles. Cela n'est pas inadmissible, étant donné que l'écart-type d'un échantillon ne donne qu'un ordre de grandeur de l'écart-type réel, comme on le

verra plus loin, mais on observe que si l'on avait pris une autre répartition, on aurait obtenu une autre valeur : par exemple, pour une distribution uniforme, l'écart-type calculé est de  $1.10^{-5}$ , ce qui justifie que le JCGM recommande une étape d'optimisation entropique. Cet exemple montre, de surcroît, les précautions à prendre lors de l'utilisation d'une méthode de Monte-Carlo, pour laquelle un soin particulier doit être apporté à la recherche d'une répartition des valeurs (Bédiat, 2006). Notamment on ne doit sélectionner qu'une loi de répartition qui ne donne pas plus d'information que l'on en a : si la seule information sur une variable est une valeur minimale ou une valeur maximale, on doit utiliser une loi uniforme.

Comparons maintenant ces valeurs à celle qui serait obtenue la première méthode fautive. L'écart-type serait  $7.10^{-6}$ , plus petit que ce qui est trouvé par la méthode préconisée. Pour la méthode – également fautive- qui consiste à produire 9 valeurs de la concentration massique en prenant tous les couples pour les 3 valeurs de  $m$  et pour les 3 valeurs de  $M$ , là encore le résultat ( $5.10^{-6}$ ) est plus petit d'un ordre de grandeur de celui qui est préconisé par le JCGM.

Pour ces deux valeurs, on pourrait considérer qu'elles ne sont pas plus mauvaises que celles qui sont données par la méthode de Monte-Carlo sans optimisation entropique, mais on observera que le JCGM préconise explicitement de procéder à une telle optimisation. En outre, il faut éviter des estimations qui donneraient des valeurs plus petites que celles qui sont recommandées par le JCGM, car s'il est vrai que l'écart-type est une description conventionnelle de la dispersion des données, il n'en reste pas moins qu'on doit tenir compte des valeurs maximales.

Pour illustrer le fait que l'écart-type, calculé par les techniques du JCGM, est un indicateur de la dispersion des données qui vaut principalement par son ordre de grandeur (tout ce qui suit se démontre : voir Verley,

## Documents didactiques

1997), créons une population normalement distribuée autour d'une valeur 100, avec un écart-type égal à 1 ; puis à 200 reprises, tirons trois échantillons (ce qui correspond à une pratique courante de laboratoire) et calculons leur écart-type. L'affichage de ces 200 écarts-types est représenté sur la figure 1.

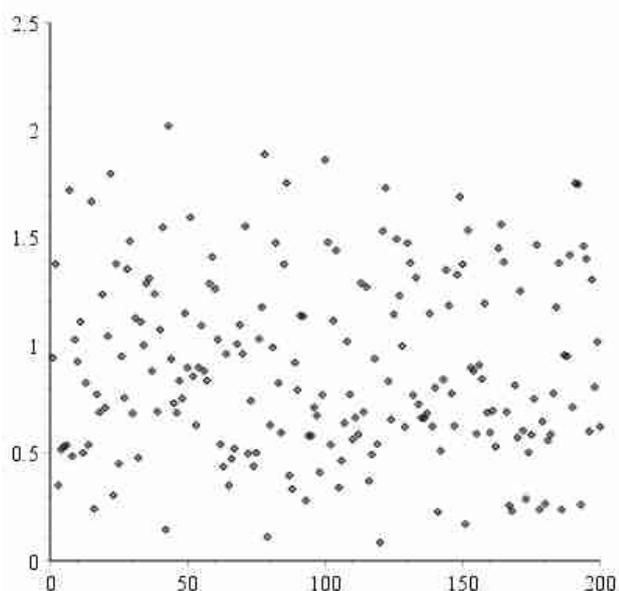


Figure 1. L'écart-type n'est qu'une estimation (ordre de grandeur) de la dispersion de données autour de la moyenne. Ici répétition de 200 tirages de 3 valeurs dans une population gaussienne conduit à des écarts-types très dispersés autour de la valeur moyenne. On ne peut s'étonner d'une telle dispersion, car la population d'où proviennent les échantillons était ici une distribution normale d'écart-type égal à 1.

Sans surprise, la variabilité est considérable : alors que l'écart-type est fixé à 1, par construction du problème, les écarts-types expérimentaux sont répartis entre 0 et 2. A titre d'exercice, on peut ainsi proposer à des étudiants de reprendre ces valeurs pour vérifier les lois statistiques. Évidemment une détermination d'un écart-type expérimental sur plus de 3 valeurs donne un meilleur résultat.

Par exemple, sur la figure 2a, on a représenté le même résultat, mais avec 6 valeurs, et sur la figure 2b avec 15 valeurs.

Pourquoi des pratiques qui ne sont pas les bonnes restent-elles parfois utilisées ? On a signalé en introduction que l'on ne trouve pas sur *Internet* de guide centralisé de bonnes pratiques scientifiques (même si l'on trouve des documents qui cadrent les pratiques, tel le GUM ou le *Guide Eurachem*), couvrant la totalité de ces pratiques, ce qui semble devoir être une condition au moins nécessaire pour que les scientifiques en aient connaissance, les discutent, et les appliquent le cas échéant. D'autre part, les guides relatifs aux incertitudes des mesures expérimentales ne sont pas toujours connus des étudiants, lesquels ne sont guère familiers des publications du *Laboratoire national d'essai* ou du *Bureau international des étalons et mesures*. Bien sûr, on pourrait regrouper dans un site « universitaire » de tels documents, mais il demeurera que la lecture de textes tels que le GUM (50 pages) pour le Guide CG4 (131 pages) n'est guère pédagogique, d'autant que ces documents sont produits à l'attention de professionnels : l'application d'un sain principe de réalité conduit à la production de documents simplifiés, à l'usage d'étudiants en premier cycle des universités.

Indiquons d'autre part que, ici, on n'a considéré qu'un détail de l'activité scientifique : la description des résultats expérimentaux, et seulement sur l'exemple, sans entrer dans des considérations théoriques indispensables, mais on propose de considérer qu'il est sans doute préférable, pour les premières années de l'enseignement supérieur, de faire venir la théorie après l'exemple, parce que les apprenants comprennent mieux, alors, l'intérêt des formalismes qu'ils devront ensuite découvrir.

Les académies pourraient jouer le rôle de dépositaires de documents utiles à l'activité scientifique, puisque c'est un fait que les institutions scientifiques ne se sont pas donné cette mission.

## Documents didactiques

### Références

ACS. 1980. *ACS Guidelines for Data Acquisition and Data Quality Evaluation in Environmental Chemistry*. *Anal. Chem.*, 52, 2242-2249.

Bacon F. 1988. *Novum Organum*, P.F. Collier and son, New York, 1902, Cité dans *Bacon, inventer la science*, Editions Belin, Paris, collection Un savant une époque.

Bédiat N. 2006. *Méthode numérique de propagation des incertitudes de mesure (Méthode de Monte-Carlo)*, NTV 06/022, Note technique internet CETIAT.

Eurachem. 2012. *Quantifying Uncertainty in Analytical Measurement*. <https://www.eurachem.org/index.php/publications/guides/quantifying-uncertainty-in-measurement>, dernier accès 1 juillet 2016.

Harris D. C. 2007. *Quantitative Chemical Analysis*, W. H. Freeman and Co, New York, USA. 7e ed.

HAS. 2016. [http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c\\_1101438/fr/tableau-des-recommandations-de-bonne-pratique](http://www.has-sante.fr/portail/jcms/c_1101438/fr/tableau-des-recommandations-de-bonne-pratique), dernier accès 16 mars 2016.

Inra Mission Qualité. 2016 a. *Référentiel Qualité Inra*, Mission Qualité 2003-2005, [https://www6.bordeaux-aquitaine.inra.fr/st\\_pee/.../referentiel-inra1.pdf](https://www6.bordeaux-aquitaine.inra.fr/st_pee/.../referentiel-inra1.pdf), dernier accès 16 mars 2016.

Inra. 2016 b. <http://inra-dam-front-resources-cdn.brainsonic.com/ressources/afile/246617-c621b-resource-charte-de-deontologie.html>, dernier accès 16 mars 2016.

JCGM. 2015. [www.bipm.org](http://www.bipm.org), dernier accès 6 avril 2015.

JCGM. 2008. *Evaluation of measurement data. Supplement 1 to the "Guide to the expression*

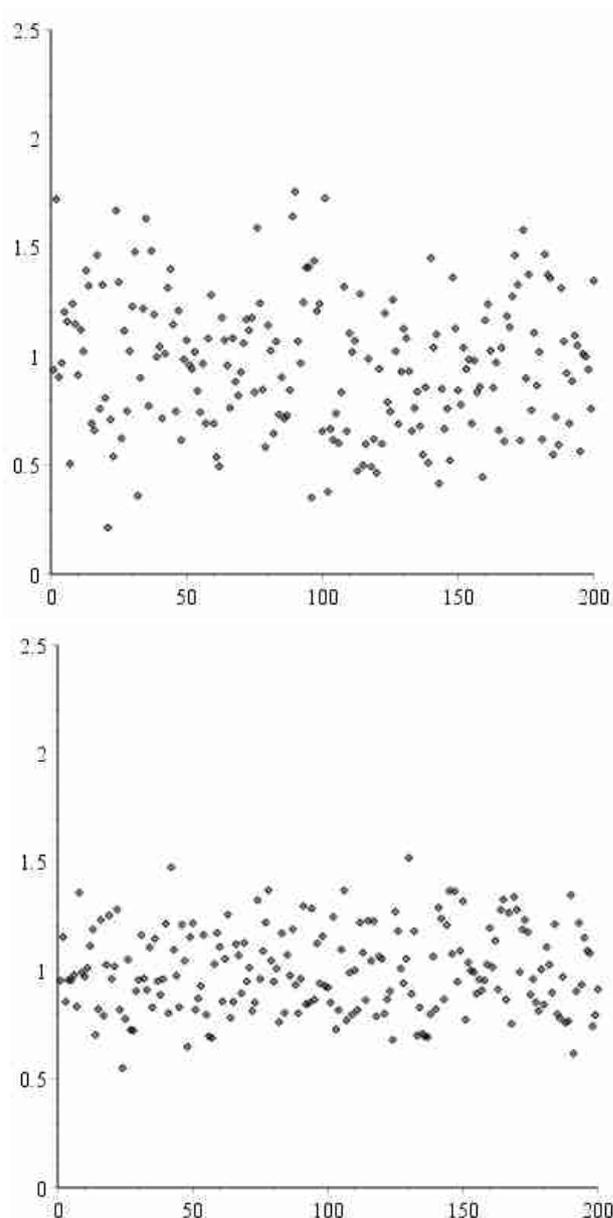


Figure 2. Écart-types calculés pour des répétitions de 6 tirages (a) et de 15 tirages (b).

of uncertainty in measurement". BIPM 101.

Piskounov N. 1980. *Calcul différentiel et intégral*, Edition Mir, Moscou.

Rivier C, Balère B. 2003. *Guide*

## Documents didactiques

méthodologique pour l'estimation des incertitudes en chimie analytique, Laboratoire national d'essais, LNE C370 X18, [http://www.lne.fr/publications/metreau\\_guide\\_incertainitudes.pdf](http://www.lne.fr/publications/metreau_guide_incertainitudes.pdf), dernier accès 1 juillet 2016.

Robert C, Casella G. 2010. *Monte-Carlo Statistical Methods*. Springer-Verlag, coll. « Springer Texts in Statistics ».

Saporta G. 2006. *Probabilités, Analyse des données et Statistiques*. Éditions Technip, Paris.

Suquet C. 2005. <http://math.univ-lille1.fr/~suquet/Polys/TLC.pdf>, dernier accès 16 mars 2016.

Taylor J. R. 1997. *Error analysis: The study of uncertainties in physical measurements*. University Science Books (2nd ed.), Sausalito, CA.

This H. 2015. Aidez les enfants !, *Lettre de l'Académie d'agriculture de France*, N°27, 15 février 2015, 8-9.

This H. 2011. *Cours de gastronomie moléculaire N°1 : Science, technologie, technique (culinaires) : Quelles relations ?* Editions Quae/Belin, Paris.

This, H. 2013. *Cours de gastronomie moléculaire N°2 : Les précisions culinaires*. Editions Quae/Belin, Paris.

Verley J.-L. 1997. *Espaces métriques*, in *Dictionnaire des mathématiques ; algèbre, analyse, géométrie*. Albin Michel, Paris, 652-653.

Wiley, <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1742-1241.2006.01230.x/full>, dernier accès 15 mars 2016.

### Edité par :

Dominique Job, CNRS, Membre de l'Académie d'agriculture de France.

### Rapporteurs :

Jean-Marc Boussard, Membre de l'Académie d'agriculture de France  
Jérôme Vial, Maître de conférence ESPCI Paris

### Rubrique :

Cet article a été publié dans la rubrique « Enseignement » des *Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France*

**Reçu :** 8 février 2016

**Accepté :** 6 juillet 2016

**Publié :** 6 juillet 2016

**Citation :** This, H. 2016. La question des bonnes pratiques en sciences de la nature : comment exprimer des incertitudes de mesure, *Notes Académiques de l'Académie d'agriculture de France / Academic Notes from the French Academy of Agriculture (N3AF)*, 2(1), 1-8. <https://doi.org/10.58630/pubac.not.a204666>



Hervé This est physico-chimiste Inrae (UMR 0702 SayFood), professeur consultant à AgroParisTech, directeur de l'*Inrae-AgroParisTech International Centre for Molecular and Physical Gastronomy*. Il est membre de l'Académie d'agriculture de France.