

# UTILISER GUM\_MC POUR CALCULER DES INCERTITUDES-TYPE

Lancer le logiciel



Gum\_MC: logiciel de calcul d'incertitudes composées

Fichier Options Aide

Bienvenue | Expression de la grandeur de sortie | Grands d'entrée | Résultats par propagation | Résultats simulation de Monte Carlo | Commentaires

[Bienvenue dans GUM\\_MC](#)

Le but de ce logiciel est de faciliter le calcul des incertitudes

Il tente de suivre les recommandations du BIPM données dans les documents de référence du "GUM"  
("Guide to the expression of Uncertainty in  
[http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM\\_100\\_2008\\_F.pdf](http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_F.pdf)  
et son supplément sur la méthode de Monte-Carlo:  
[http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM\\_101\\_2008\\_E.pdf](http://www.bipm.org/utls/common/documents/jcgm/JCGM_101_2008_E.pdf)

La démarche est la suivante:

- 1) Vous saisissez l'expression de la grandeur (mesurande) Y dont on veut déterminer les caractéristiques (grandeur "de sortie") en fonction des "grandeurs d'entrée" mesurées, les Xi:  $Y=f(X1,X2,...,XN)$
- 2) Vous saisissez les caractéristiques des grandeurs d'entrée mesurées (mesurandes) Xi:
  - a) estimation xi
  - b) incertitude type ("standard")
  - c) type de loi de densité probabilité ("PDF")
- 3) GUM\_MC vous fournit l'estimation y de Y, son incertitude-type uc(Y) , les intervalles de confiance, et ce par calcul de propagations des variances, en suivant le "GUM uncertainty
- 4) Enfin, GUM\_MC vous fournit une deuxième estimation de ces quantités par simulation de Monte-Carlo ("MCM") (la procédure adaptative n'est pas encore implémentée).

Remarques:  
1) à partir de la version 2, les grandeurs d'entrée peuvent être corrélées.  
2) la virgule décimale est le point "."

Cliquez ici pour commencer

Cliquer à droite sur « Cliquez ici pour commencer »

## I. ENTRÉE DE LA FORMULE

1) Dans la fenêtre qui s'ouvre, remplir en haut, successivement, le **symbole de la grandeur de sortie** (Ex : « c0 »), son **expression** en fonction des mesurandes d'entrée (Ex : « c\*Ve/V0 »), le **symbole de l'unité** (Ex : « mol/L »).

*Attention :* → le logiciel ne fait **pas la différence entre majuscule et minuscule**. Si vous entrez « v » et « V », il considérera dans la suite des calculs que c'est la même grandeur.

*Astuce :* → en cas de doute, un rappel du fonctionnement du logiciel est donné au centre de chaque page de la démarche.

Fichier Options Aide

Bienvenue Expression de la grandeur de sortie Grandeurs d'entrée Résultats par propagation Résultats simulation de Monte Carlo Commentaires

**Symbole** **Expression en fonction des mesurandes d'entrée:** **Symbole de l'unité:**

grandeur de

=

Les symboles des grandeurs d'entrée doivent commencer par une lettre ou par \_ et peuvent comporter lettres, chiffres, et le symbole "\_".  
Exemples: X, toto,alpha, r2p2, t6\_po.

Les fonctions suivantes peuvent être utilisées:

- trigonométriques: cos() sin() tan() cotan() arcsin() arccos() arctan()
- diverses: sqr() (carré) sqrt() (racine carrée)
- exponentielles, logarithmiques et hyperboliques: exp() ln() log10() ou log() log2() sinh() cosh() tanh() arcsinh() arccosh() arctanh()
- heav(), fonction de Heaviside: 1 si argument>0, 0 sinon
- trunc(): partie entière
- min(), max(), arg()

Les opérateurs disponibles sont: + - \* / ^.  
Pi est la variable prédéfinie Pi.

**Exemples:**

=

=

=

Valider et passer aux grandeurs d'entrée

2) Cliquer sur « Valider et passer aux grandeurs d'entrée »

## II. ENTRÉE DES INCERTITUDES-TYPE

1) Dans la deuxième colonne, **cliquer sur successivement chaque case verte** pour **entrer l'estimateur**, à savoir la valeur de la mesurande. Ex : « 0.02 » pour  $c = 0,02 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ ; « 10 » pour  $V_0 = 10 \text{ mL}$ ;...

*Attention :* → pensez aux choix des **unités** !  
→ le séparateur entre unité et décimales est le **point** (convention anglo-saxonne).

*Astuce :* → si la formule met en jeu un rapport de volumes, autant les laisser en mL plutôt qu'en litre, la concentration finale en est évidemment indépendante.

Fichier Options Aide

Bienvenue Expression de la grandeur de sortie Grande

Mesurande	Estimateur	Ajouter source erreur	Su
<b>C</b>	0.02	+	
<b>V0</b>	10	+	
<b>VE</b>	17.25	+	

Saisie de l'estimateur

Estimateur:

OK

2) Pour ajouter une **source d'incertitude** sur une mesurande, cliquer sur le « + » **vert** dans la troisième colonne.

Type d'évaluation de l'incertitude ×

**Evaluation de type A**

**Je possède N mesures répétées indépendantes de cette grandeur.  
L'évaluation de l'incertitude-type sera faite par l'analyse statistique de cette série d'observations.**

**Evaluation de type B**

**Je possède une seule mesure de cette grandeur.  
L'évaluation de l'incertitude-type sera faite par des moyens autres que l'analyse statistique de série d'observations:**

- spécifications constructeur
- certificats de calibration
- connaissances par l'expérience du comportement du matériel
- incertitudes sur des données extraites de bases de référence

✔ OK

✘ Annuler

- 3) Cocher, *a priori*, « Évaluation de type B » puis sur « OK »
  - 4) Choisir la loi de densité de probabilité :
    - « **Normale** » pour la solution titrante pour laquelle vous connaissez l'incertitude-type relative ;
    - « **Rectangulaire** » pour les autres sources d'incertitude (matériel, repérage de l'équivalence, ...) pour lesquelles vous connaissez la demi-étendue (ou précision ou tolérance).
  - 5) Dans la case « **Nom** », préciser la **source d'incertitude**. Ex « Sol titrante » pour une solution réalisée par un préparateur qui vous a été fournie comme solution titrante.
  - 6) Selon les cas, cocher « **demi-étendue** » ou « **incertitude-type** » et indiquer la valeur. Ex : « 0.0002 » si vous estimez que la valeur fournie pour la concentration (0,02 mol.L<sup>-1</sup>) est connue à 1 % près.
- Attention :* → ne pas diviser les demi-étendues par  $\sqrt{3}$ , c'est le logiciel qui le fera pour vous !  
→ ne pas toucher aux autres réglages (loi rectangulaire, colonne à droite, ...)
- 7) Cliquer à droite sur « Valider et générer l'échantillon »

12345 Caractéristique de cette nouvelle source d'erreur:

Loi de densité de probabilité ("PDF"): Type d'évaluation de l'incertitude-type:

Normale  Type A  Type B

Paramètres de la loi:

Nom: Sol titrant

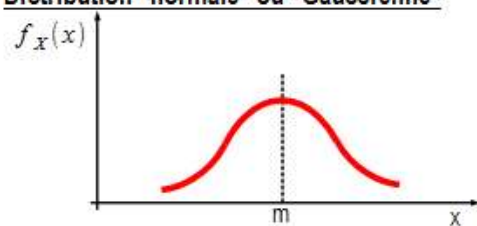
Et au choix:

Incertitude-type: 0.0002

Incertitude élargie:

Au taux de: %

Distribution "normale" ou "Gaussienne"



Loi de densité:  $f_x(x) = \frac{1}{s\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x-m}{s}\right)^2\right)$

Moyenne m, écart-type s, variance  $s^2$ .

Exemples d'utilisation:

- moyenne d'un grand nombre de mesures répétées indépendantes
- certificat d'étalonnage
- incertitude standard ou élargie fournie par constructeur

Valider et générer l'échantillon

Une ligne supplémentaire est apparue dans le tableau.

Mesurande	Estimateur	Ajouter source erreur	Supprimer source erreur	Symbole erreur	Type estimation	Incertain-tude-type	Type de distribution	Tracé distribution	Tracé densité	D
C	0.02	+	-	Sol titrant	B	0.0002	Normale(Gaussienne)	Clic ici	Clic ici	

**Astuce :**

- si vous avez un doute ou si vous voulez modifier l'incertitude entrée, cliquer sur la lettre « B »
- si vous voulez supprimer cette incertitude-type, cliquer sur le « - »

8) Pour ajouter d'autres incertitudes de type B, cliquer sur le « + » qui correspond à la mesurande souhaitée et recommencer les opérations 3) à 7).

9) Pour ajouter une **incertitude de type A** sur une mesurande, cliquer sur le « + » vert dans la troisième colonne correspondant à cette mesurande puis cocher « Évaluation de type A » puis sur « OK »

10) Choisir « **2<sup>nd</sup> cas** » de façon à ce que ce soit le logiciel qui calcule la moyenne et cliquer sur « OK ».

11) **Entrer les valeurs pour la mesurande** puis cliquer sur « Valider et reporter les valeurs ».

1er cas

J'ai déjà calculé la moyenne et l'écart-type expérimental.

Je vais saisir l'écart-type ici et je donnerais la moyenne comme estimateur.

2nd cas

Je n'ai pas calculé la moyenne et l'écart-type expérimental.

Je vais saisir mes mesures et le logiciel va les calculer.

12) Dans la boîte suivante, entrer un **nom pour l'incertitude**. Ex « Type A ». Ne pas toucher aux autres réglages ! Cliquer à droite sur « Valider et générer l'échantillon ».

On revient alors au tableau maintenant complet. On remarquera, en cas d'ajout d'une incertitude de type A, que la moyenne a été calculée par le logiciel pour la mesurande concernée.

	Mesures
1	26.7
2	24.5
3	26.4
4	27.5
5	25.9
6	26.3
7	25
8	25.3
9	25.5
10	27
11	25

**Loi de densité de probabilité ("PDF"):**

Student

**Paramètres de la loi:**

Saisie des N mesures

Ou alors saisie directe

Nom

Type A

Mesurande	Estimateur	Ajouter source erreur	Supprimer source erreur	Symbole erreur	Type estimation	Incertitude-type	Type de distribution	Tracé distribution	Tracé densité
C	0.02	+							
			-	Sol titrant	B	0.0002	Normale(Gaussienne)	Clic ici	Clic ici
V0	10	+							
			-	pipette	B	0.0173205080756888	Rectangulaire	Clic ici	Clic ici
VE	17.25	+							
			-	matériel	B	0.0173205080756888	Rectangulaire	Clic ici	Clic ici
			-	méthode	B	0.0866025403784439	Rectangulaire	Clic ici	Clic ici

**Astuce :** → à tout moment, si on veut **modifier une donnée**, il est possible de revenir en arrière en **cliquant sur l'onglet adapté en haut**.

Fichier	Options	Aide
Bienvenue	Expression de la grandeur de sortie	Grandeurs d'entrée
Résultats par propagation	Résultats simulation de Monte Carlo	Commentaires

### III. EXPLOITATION DES RÉSULTATS

#### III.1 MÉTHODE ANALYTIQUE – COMPOSITION D'INCERTITUDES

13) Cliquer sur « Valider et calculer la grandeur de sortie ».

Vous êtes dans l'onglet « Résultats par propagation »

Bienvenue	Expression de la grandeur de sortie	Grandeurs d'entrée	Résultats par propagation	Résultats simulation de Monte Carlo	Commentaires
Estimations	Intervalle de confiance: version 1	Intervalle de confiance: version 2	Comparaison à une valeur de référence		

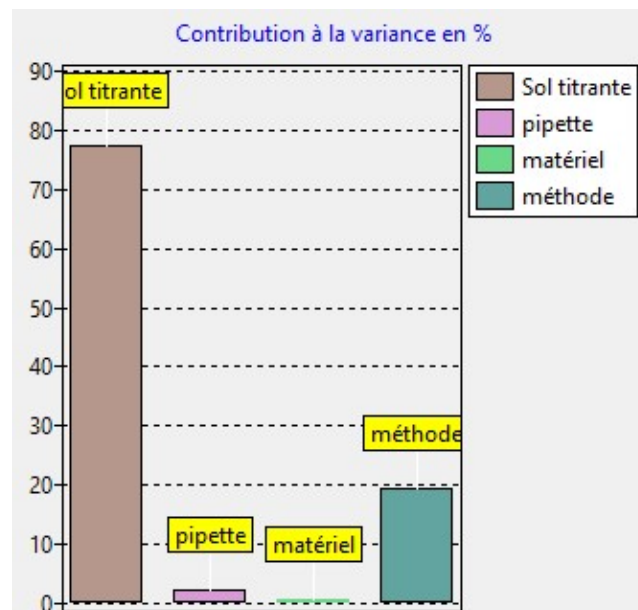
Les données intéressantes sont regroupées dans le tableau en bas à gauche :

Estimateur de c0	Incertitude-type uc(c0)	Incertitude-type relative uc(c0)/c0
0.034500 mol/L	0.000392 mol/L	0.0114 = 1.14%

Ici, on a donc :

- $u(c_0) = 0,039.10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  (on arrondit à DEUX chiffres significatifs au plus proche)
- $c_0 = (3,450 \pm 0,039).10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$
- $u(c_0)/c_0 = 1,14 \%$

Le diagramme à droite permet de comparer les incertitudes-type et leur contribution relative. Cela fournit des éléments de discussion pour le rapport. Dans l'exemple proposé ici, l'incertitude de type B sur la préparation de la solution titrante contribue à plus de 50 % de l'incertitude-type.



**Astuce :** → pour les fans de la Normandie ou du Trivial Pursuit®, il est possible de choisir un mode de représentation « camembert » en cliquant au-dessus du diagramme.

### III.2 MÉTHODE NUMÉRIQUE – MONTE CARLO

Gum\_MC code en Python pour vous !

Cliquez sur l'onglet « Résultats simulation de Monte Carlo »

Bienvenue	Expression de la grandeur de sortie	Grandeurs d'entrée	Résultats par propagation	<b>Résultats simulation de Monte Carlo</b>	Commentaires
Estimateurs	Fonction de distribution	Histogramme de densité	Intervalles de confiance	Analyse de sensibilité	Code Python

Les données intéressantes sont regroupées dans le tableau à gauche :

<b>Estimateur</b>	<b>0.0345 mol/L</b>
<b>Ecart-type expérimental</b>	<b>0.000392 mol/L</b>
<b>Coefficient de dissymétrie (skewness)</b>	<b>0.0114</b>
<b>Excès d'aplatissement (kurtosis normalisée)</b>	<b>-0.0389</b>

On retrouve le même résultat que par la méthode analytique.

**Astuce :** → si vous cliquez dans le sous-onglet Code Python, vous pouvez récupérer le code.

## CONCLUSION

Si vous maîtrisez le contenu de ce document, vous savez faire l'essentiel avec Gum\_MC. Il y a beaucoup d'autres options, peu utiles en TP de chimie mais qui peuvent vous servir en physique ou dans le cadre du TIPE.

Le logiciel est libre de droit et téléchargeable à l'adresse suivante :

[http://jeanmarie.biansan.free.fr/gum\\_mc.html](http://jeanmarie.biansan.free.fr/gum_mc.html)

## LU DANS LES RAPPORTS DU JURY...

« Trois logiciels sont à disposition des candidats :

- Un logiciel permettant d'exécuter des scripts informatiques en langage Python afin de réaliser des programmes de simulation Monte Carlo ou des régressions linéaires. Il est à noter que le jury propose aux candidats 3 programmes à compléter (régression linéaire, incertitude par la méthode de Monte Carlo dans le cas général et dans le cas d'un titrage). Les scripts doivent être montrés au jury avant toute éventuelle impression.
- Le logiciel *Gum MC* permettant d'estimer les incertitudes liées aux résultats expérimentaux obtenus.
- Le logiciel *Dozzaqueux* permettant de simuler des courbes de titrage. Le jury rappelle cependant que si les informations fournies dans le sujet sont insuffisantes (pKa, concentration, ...) la simulation sur *Dozzaqueux* n'est pas toujours possible et conduit parfois à une perte de temps. Il est attendu une certaine autonomie dans l'utilisation de ce logiciel (notamment au niveau des espèces apparaissant au cours du titrage).

Le jury rappelle que ces logiciels sont librement accessibles en ligne, et encourage les candidats à s'y familiariser en amont de l'épreuve. (Mines2024/2025) »