

Cours-TD n° 1 : Introduction à Mathematica et l'utilisation des variables

Table des matières

1	Plan et organisation de l'UE	3
1.1	Organisation	3
1.1.1	Enseignants :	3
1.1.2	Buts de l'UE :	3
1.1.3	Organisation de l'UE :	3
1.1.4	Évaluation des étudiants :	3
1.1.5	Ressources :	3
1.2	Plan des cours-TD	3
2	Introduction à Mathematica	4
2.1	Introduction	4
2.2	Liens vers d'autres tutoriels/cours	4
2.2.1	Wolfram Education Portal	4
2.2.2	Livres numériques disponible à l'intérieur de l'UPMC :	5
2.2.3	Livres papier disponible dans les bibliothèques de l'UPMC :	5
2.3	Utiliser Mathematica chez soi et dans les salles de l'UTES	5
2.3.1	Se logger dans les salles de l'UTES	5
2.3.2	Sans installation : Bureau de l'UTES	6
2.3.3	Avec installation : MonUPMC	6
3	Organisation de Mathematica et Raccourcis clavier	6
3.1	Noyau et interface graphique	6
3.2	Fichier Mathematica = Notebook (*.nb)	7
3.3	Mon premier calcul en Mathematica	7
4	Documentation de Mathematica	7
4.1	Documentation Center	8
4.2	Aide depuis un notebook	8
4.3	Wolfram Demonstrations	8
5	Mathematica comme système de calcul symbolique ou numérique	9
5.1	Calculs arithmétiques simples	9
5.2	Calculs arithmétiques plus compliqués	9
6	Écrire un rapport interactif avec Mathematica	10
6.1	Introduction	10
6.2	Types de cellules : Input/Output, Texte, Titres, Sous-titres,	10
6.3	Commentaires	11
6.4	Exporter	11

6.5	Présentations avec Mathematica	11
6.6	Correcteur orthographique	11
7	Définition et utilisation de variables ou d'expressions en général	11
7.1	Exemples de code Mathematica	11
7.2	Introduction	12
7.3	= ou :=	13
7.4	==	14
7.5	Substitution avec règles	14
7.5.1	ReplaceRepeated	15
7.6	Expressions	15
8	Annexe	16
8.1	Séparer deux notebooks	16
8.2	Wolfram Alpha	16
8.2.1	Wolfram Alpha depuis Mathematica	16

1 Plan et organisation de l'UE

1.1 Organisation

1.1.1 Enseignants :

Benoit Eble (1 groupe), Andrea Ciardi (1 groupe), Dirk Stratmann (1 groupe, responsable de l'UE), Gary Mamon (remplacements), Wilfrid DA SILVA (1 groupe)

1.1.2 Buts de l'UE :

- ▷ Apprentissage des éléments de base de Mathematica avec un fort accent sur le calcul symbolique et les plots.
- ▷ Montrer des applications en trois domaines : les maths, la physique et l'informatique.
- ▷ Ces deux points devront permettre aux étudiants de devenir autonome à l'utilisation de Mathematica, afin qu'ils puissent l'utiliser comme outil précieux lors de leur études (et au-delà).

1.1.3 Organisation de l'UE :

1. 12 séances de cours-TD de 2h le mercredi à partir du 21 janvier jusqu'au mercredi 8 avril dans les salles info de l'UTES à l'Atrium.
2. Toutes les séances de cours-TD sont obligatoires, les absences doivent être justifiées avec un certificat à déposer au secrétariat.
3. Chaque étudiant travaille individuellement sur son propre poste.

1.1.4 Évaluation des étudiants :

1. A la fin de chaque séance, chaque étudiant doit déposer son notebook Mathematica sur SAKAI (boîte de dépôt de l'étudiant) en tant que compte rendu. Les comptes rendus comptent 40% de la note finale. Les comptes rendus ne seront pas corrigés individuellement et il n'y aura pas de correction générale des cours-TD.
2. Quatre C.C. de 30 min environ lors des séances de cours-TD. 60% de la note finale. Les C.C. seront fait en général sur machine et feuille.

1.1.5 Ressources :

- ▷ SAKAI :
http://australe.upmc.fr/access/content/group/1XM02_01/
- ▷ Un bon livre surtout pour les applications en math :
http://australe.upmc.fr/access/content/group/1XM02_01/livres/Hazrat_Mathematica_AproblemC

1.2 Plan des cours-TD

Voici la liste des cours-TD qui peut encore changer en cours de route :

Partie I : Mathematica

1. Introduction à Mathematica et l'utilisation des variables
2. Éléments de langage Mathematica
3. Listes et simplification d'expressions

Partie II : Mathématiques et Mathematica

4. Limites, dérivées, primitives, vecteurs et matrices + **CC partie I**
5. Développement limités et résolution d'équations
6. Étude de fonction
7. Équations différentielles ordinaires

Partie III : Physique et Mathematica

8. Projectile dans le champ de pesanteur + **CC partie II**
9. Pendule simple et autres exemples de physique

Partie IV : Informatique et Mathematica

10. Traitement de données + **CC partie III**
11. Intégration numérique, programmer avec Mathematica
12. Traitement d'image d'astrophysique + **CC partie IV**

2 Introduction à Mathematica

2.1 Introduction

Mathematica est un logiciel de calcul formel et numérique développé par Wolfram Research. Il permet essentiellement de faire du calcul formel (manipulation d'expressions mathématiques sous forme symbolique, par exemple : calcul de dérivées, de primitives, simplification d'expressions, etc...) et du calcul numérique (évaluation d'expressions mathématiques sous forme numérique ; par exemple : calcul des premières décimales du nombre p , évaluation approchée d'intégrales, etc...). Mathematica incorpore un langage de programmation sophistiqué et permet aussi de faire des graphiques. C'est un logiciel très utilisé en enseignement, dans la recherche scientifique et dans l'industrie.

2.2 Liens vers d'autres tutoriels/cours

2.2.1 Wolfram Education Portal

Sur le Wolfram Education Portal :

<https://education.wolfram.com/>

qui est assez récent, on trouve des cours de math et physique niveau lycée et supérieur. Ces cours sont enrichis avec des applications ("Widgets") ou démos de Mathematica. À essayer et surveiller, car ça évolue encore.

Wolfram a aussi fondé cette initiative pour promouvoir l'utilisation de l'ordinateur (avec Mathematica ;-)) dans l'apprentissage des maths dès l'école :

<http://www.computerbasedmath.org/>

2.2.2 Livres numériques disponible à l'intérieur de l'UPMC :

Le point d'entrée pour chercher qc dans les bibliothèques papier ou numérique est Jubil : <http://www.jubil.upmc.fr>

En haut à droite sur la page d'accueil on peut directement chercher un livre papier ou numérique (**Rechercher dans le catalogue**).

Alternativement si on cherche uniquement des livres ou revues numériques on peut choisir à gauche **Ressources en ligne**>**Les livres numériques**, puis la recherche **2. dans la liste A-Z des e-books** est plus adaptée si on connaît déjà le titre.

Pour une introduction à Mathematica d'un point de vue de mathématicien le livre de Hazrat est très intéressant, car il utilise Mathematica pour résoudre des problèmes mathématiques autour des nombres :

- ▷ Hazrat : "Mathematica : A Problem-Centered Approach"

Ce livre est également disponible sur SAKAI :

- ▷ http://australe.upmc.fr/access/content/group/1XM02_01/livres/Hazrat_Mathematica_AproblemC

Pour ceux qui veulent voir de quoi Mathematica est capable, il y a le livre de Wagon, qui a un niveau assez haut :

- ▷ Stan Wagon : Mathematica in action

2.2.3 Livres papier disponible dans les bibliothèques de l'UPMC :

Une bonne référence très complète pour les physiciens est :

- ▷ Patrick T. Tam : A Physicists guide to Mathematica

Une introduction courte à Mathematica et très accessible est donné dans ce livre, qui applique Mathematica pour faire des calculs numérique de trajectoire de systèmes simples jusqu'au chaos :

- ▷ Marvin L. De Jong : Mathematica for calculus-based physics

Un livre un peu ancien, mais avec beaucoup d'exemples et exercices sur Mathematica :

- ▷ Abell et Braselton : Mathematica by example

Une série de livres en français, qui utilise Mathematica d'une manière très approfondie pour faire des maths assez poussés (niveau prépa) :

- ▷ Jean-Pierre Xémard : Mathematica théorie et pratique en 4 tomes (Applications en arithmétique, en Analyse, en géométrie et en algèbre)

2.3 Utiliser Mathematica chez soi et dans les salles de l'UTES

2.3.1 Se loger dans les salles de l'UTES

Il faut se loger sur la session "Bureau de l'UTES" (première entrée) dans les salles de l'UTES. Le login est votre login étudiant habituel. Avec cette session vos fichiers seront gardés sur votre compte personnel (indépendamment de la machine utilisée) et vous pouvez même les reprendre depuis chez vous (voir en bas). ATTENTION : faire quand même des sauvegardes de vos fichiers en dehors de l'UTES et SAKAI, il est déjà arrivé à un étudiant de perdre les deux en même temps !

Remarque : Sous Windows, le raccourci clavier Alt + Maj change le clavier de AZERTY en QWERTY ou vice versa, si jamais les deux claviers sont installés sous Windows, ce qui est le cas avec la session sans login "Mathematica" dans les salles de l'UTES. C'est un problème, car on utilise Alt+Maj+7 ou 9 pour changer le type d'une cellule. Pour cela le conseil : N'utiliser que la session "Bureau de l'UTES" (première entrée) dans les salles de l'UTES, qui a d'ailleurs l'avantage qu'on garde les fichiers grâce au login.

2.3.2 Sans installation : Bureau de l'UTES

Si vous êtes sous Windows, vous pouvez utiliser Mathematica via une connexion Internet sans rien installer chez vous. Il suffit pour cela d'aller sur le **bureau de l'UTES** : <http://lutes.upmc.fr/ts/>

et suivre les instructions (aide via ?) pour ouvrir votre bureau de l'UTES à distance. Une fois sur le bureau de l'UTES, il faut choisir **PEDAGOGIE** (en haut à droite), puis **MATHEMATIQUES**, puis plus bas dans la liste dans la rubrique **LOGICIELS DE CALCUL** on trouve **MATHEMATICA**.

>>> Pour lancer Mathematica directement dans les salles de l'UTES il faut faire la même chose !

La connexion à distance est aussi un moyen pour récupérer / travailler sur vos fichiers créés lors des cours-TD dans les salles de l'UTES.

Actuellement il n'y a uniquement la version 9 de Mathematica à l'UTES.

2.3.3 Avec installation : MonUPMC

L'UPMC a une licence globale permettant d'installer Mathematica sur tous les ordinateurs d'enseignement. En particulier, il est disponible sur les ordinateurs du L'UTES (Bâtiment Atrium), y compris ceux en libre service. La licence globale permet également aux enseignants et aux étudiants d'installer Mathematica sur n'importe quel ordinateur personnel (à la maison). Pour cela, connectez vous sur le site <https://mon.upmc.fr>, allez dans la rubrique "Outils", puis suivez les instructions pour télécharger et installer Mathematica. L'activation se fait par un mot de passe et nécessite l'appartenance à l'UPMC.

La version actuelle en téléchargement est la version 10 qui a quelques fonctionnalités en plus de la version 9 disponible à l'UTES.

3 Organisation de Mathematica et Raccourcis clavier

3.1 Noyau et interface graphique

Mathematica est composé de deux parties : le noyau ("kernel") et l'interface graphique ("front end"). Le noyau constitue le cœur du logiciel ; il interprète les instructions d'entrée (écrites en langage Mathematica), puis calcule et retourne le résultat. L'interface graphique s'occupe de l'interaction avec l'utilisateur. Elle gère le fichier de travail (souvent appelé "feuille Mathematica" ou "notebook"), permet de taper les instructions et de visualiser les résultats. Le logiciel dispose aussi d'un traitement de texte, permettant ainsi d'inclure du texte parmi les calculs effectués. Plusieurs palettes d'outils sont disponibles pour aider à l'édition aussi bien de textes que d'expressions mathématiques (voir menu "Palettes").

3.2 Fichier Mathematica = Notebook (*.nb)

Un fichier Mathematica, aussi appelé "notebook", a une extension ".nb". Il est structuré en cellules ("cells"). Une cellule est constitué d'une ou de plusieurs lignes et est repérée par un crochet à droite du fichier. On peut avoir des cellules contenant des instructions Mathematica (indiqué avec "In"), des résultats de calculs (indiqué avec "Out"), du texte, un titre de paragraphe, etc ... Une cellule peut contenir plusieurs sous-cellules, formant ainsi des groupes structurés de cellules. Pour faciliter la lecture du fichier, on peut ouvrir ou fermer des groupes de cellules en double-cliquant sur le crochet correspondant (ou en cliquant sur le triangle à gauche du titre).

- ▷ Pour créer un nouveau notebook utiliser le raccourci clavier **Ctrl+N** (appuyer sur Ctrl et N en même temps, d'abord Ctrl ensuite N en plus) et pour le sauvegarder : **Ctrl+S**
- ▷ Dans cette UE on essaye d'utiliser Mathematica surtout avec la clavier et le moins possible avec la souris, ceci vous permet de être plus rapide et nous pouvons vous donner des explications plus concises. C'est pour cela que la fiche **Raccourcis clavier** doit être utilisée à chaque séance dès le début.

3.3 Mon premier calcul en Mathematica

On crée un nouveau notebook avec le raccourci clavier **Ctrl + N** (appuyer sur Ctrl et N en même temps, d'abord Ctrl ensuite N en plus). Dans ce notebook, on tape une instruction (par exemple "1+2"), puis on l'exécute en maintenant enfoncé la touche "Maj" ou "Shift" (↑) et en appuyant sur la touche "Entrée" (↵), le résultat ("3") s'affichant sur une nouvelle ligne.

Après exécution, la ligne d'instruction est désignée par "In" suivi du numéro de l'instruction depuis le démarrage du noyau. La ligne de résultat est désignée par "Out" suivi du numéro de l'instruction correspondante.

Le noyau ("kernel") de Mathematica est démarré lors du premier calcul. Si un calcul prend trop de temps et que l'on décide d'y renoncer en cours d'évaluation, on peut utiliser le menu "Evaluation", puis "Abort Evaluation". Parfois, il peut être également utile de quitter puis redémarrer le noyau, afin d'effacer de la mémoire tous les résultats des calculs précédents. Pour cela, on utilise le menu "Evaluation" puis "Quit Kernel". Le noyau sera alors redémarré lors du prochain calcul.

1. Créer un nouveau notebook et essayer les raccourcis clavier de la partie **Cellules et Édition** de la fiche **Raccourcis clavier**. Le but est créer plusieurs cellules et de pouvoir les sélectionner, copier, coller, effacer sans utiliser la souris.

4 Documentation de Mathematica

Toute la documentation fournit par Wolfram sur Mathematica est exclusivement en anglais. Mais même avec des connaissances d'anglais de base on arrive à tirer profit de cette aide, car elle très riche en exemples. D'ailleurs comme l'anglais est omniprésent dans notre vie (Internet, logiciels, publications scientifiques, livres en anglais, ...), il serait dommage de ne pas pouvoir profiter de ces ressources à cause des lacunes en anglais. Par exemple, il existe des livres en français sur Mathematica, mais le choix est plus grand en anglais et souvent les livres en anglais sont écrit d'une façon plus accessible ou pédagogique. Alors profitez de cette UE de Mathematica aussi pour améliorer votre niveau d'anglais si nécessaire.

4.1 Documentation Center

Depuis le menu **Help** on peut accéder au **Documentation Center** (raccourcis clavier : touche **F1**). Dans la fenêtre qui s'ouvre on trouve en haut une barre de recherche ainsi que trois icônes à gauche de la barre de recherche. On peut savoir plus sur ces icônes en laissant le pointeur de la souris immobile sur un des icônes. Les trois icônes sont :

1. **Home** : retour au point de départ dans le documentation center
 2. **Function Navigator** : similaire au Documentation Center, mais les thèmes sont organisés un peu différemment. En cliquant sur les triangles on ouvre/ferme les sous-rubriques et en cliquant sur le nom on ouvre l'aide correspondante dans le Documentation Center. Le Function Navigator ne semble rien apporter de plus par rapport au Documentation Center à part le fait qu'il organise la même aide d'une façon hiérarchique à trois niveaux ou plus, tandis que le Documentation Center n'a que deux niveaux hiérarchie.
 3. **Virtual Book** : comme un livre numérique sur Mathematica. Regroupe tous les tutoriels et les "How to" (instructions pas à pas). En cliquant sur les triangles on ouvre/ferme les sous-rubriques et en cliquant sur le nom on ouvre l'aide correspondante dans le Documentation Center.
2. Chercher la fonction **sin** dans l'aide de Mathematica. L'aide de Mathematica est interactif : on peut changer directement les exemples dans l'aide. Changer un paramètre d'un exemple (lignes avec **In**) puis lancer l'évaluation de cet exemple avec Maj+Entrée, la ligne **Out** en dessous devrait être changée.
 3. En dessous des exemples on trouve quatre autres catégories d'aide : **See Also**, **Tutorials**, **More About (Related Guides en version 9)** et **Related Links**. Regarder par exemple **More About>Trigonometric Functions**.
 4. Ouvrir le **Virtual Book** et survoler le chapitre Introduction>Getting Started. Comme on peut voir (voir barre de recherche) il s'agit ici de l'aide de type **tutorial**. Ensuite survoler le chapitre Mathematics and Algorithms>"How to" Topics>Do Basic Calculations.

4.2 Aide depuis un notebook

On peut aussi obtenir de l'aide directement depuis un notebook.

5. Dans un notebook vide taper **Sin**, placer le curseur sur **Sin**, puis appuyer sur la touche **F1** du clavier (Mac OS X : **cmd+Maj+F** ou encore **Fn+F1** sur des portables). La même aide qu'on avait obtenue dans l'exercice précédente devrait apparaître.
6. Placer un ? devant **Sin** (**?Sin**) puis évaluer la cellule avec Maj+Entrée, une aide sommaire devrait apparaître directement dans le notebook. En cliquant sur >> on ouvre le documentation center sur **Sin**.

4.3 Wolfram Demonstrations

Wolfram Demonstrations Project (<http://demonstrations.wolfram.com>) regroupe presque 10000 démos de documents interactives Mathematica pour visualiser et expérimenter avec une large collection de sujets. Ils montrent les fonctionnalités dont Mathematica est capable, même si la création d'une telle démo par soi-même est assez compliqué et hors programme

pour cette UE. Néanmoins leur utilisation permet de mieux comprendre un sujet en mathématiques, physique, chimie, biologie, etc.

7. Essayer cette démo : <http://demonstrations.wolfram.com/WorldMapProjections/>
Comparer la carte **Mercator** (une carte bien connue) avec **{CylindricalEqualArea, 0}** (surfaces y sont fidèles)

5 Mathematica comme système de calcul symbolique ou numérique

5.1 Calculs arithmétiques simples

Comme avec une calculatrice, on peut bien sûr faire de simples calculs arithmétiques avec Mathematica. Nous avons déjà vu l'exemple d'une addition.

8. Voici un exemple d'un calcul avec une soustraction (-), une multiplication (*) et une division (/) sur des nombres décimaux (à taper dans un notebook) :

▷ $(10.2 - 3.1) * 6.2 / 2.9$

Voici l'exemple d'un calcul avec une puissance (la touche \wedge est à côté du **P** sur le clavier et le symbole n'apparaît seulement quand on a tapé 4) :

▷ 2^4

Par défaut, Mathematica simplifie les fractions mais ne donne pas de valeur décimale :

▷ $4/6$

Pour avoir une valeur décimale approché d'une expression, on peut utiliser la fonction "N" en donnant l'argument entre crochets (touche **Alt Gr** + 5 ou ° (à côté de 0)) :

▷ $N[4/6]$

Pour calculer une valeur de la fonction sinus (attention au majuscules!) :

▷ $\text{Sin}[\text{Pi}/4]$ ou encore $N[\text{Sin}[\text{Pi}/4]]$

5.2 Calculs arithmétiques plus compliqués

9. Si on n'utilise pas la fonction "N", Mathematica donne des résultats exactes sans approximation ou arrondi :

▷ Comparer 3^{100} avec $N[3^{100}]$ et 3.0^{100}

Les calculs symboliques qui donnent des résultats exactes peuvent prendre beaucoup plus de temps dans certains cas que les calculs numériques qui donnent des résultats approchés :

▷ Comparer 3^{10^8} ; // Timing avec 3.0^{10^8} ; // Timing

10. D'avoir des résultats exacts est utile pour par exemple vérifier que

$$2682440^4 + 15365639^4 + 18796760^4 = 20615673^4$$

Cet exemple contredit une conjecture d'Euler disant que trois nombres de puissance quatre ne peuvent jamais sommer à un autre nombre de puissance quatre. Il a fallu 200 ans pour que ce premier contre-exemple a été trouvé, par Noam Elkies de Harvard en 1988 (voir le livre de R. Hazrat, "Mathematica : A Problem-Centered Approach").

▷ Comparer le résultat exact de $(2682440^4 + 15365639^4 + 18796760^4)$ avec 20615673^4

Un autre exemple trouvé dans le livre de R. Hazrat, qui démontré la capacité de Mathematica de gérer des nombres avec une quantité de chiffres très grandes :

▷ $2^{9941}-1$

Si un nombre du type $2^n - 1$ est un nombre premier, on l'appelle un nombre premier de *Mersenne*. En 1963, Gillies a trouvé que $2^{9941} - 1$ est un nombre premier de Mersenne. Mathematica permet de vérifier cela avec la fonction "PrimeQ" (prime number = nombre premier, Q pour question) :

▷ PrimeQ[$2^{9941}-1$]

Comparer les deux résultats :

▷ $2^{9941} - (2^{9941} - 1)$

▷ N[2^{9941}] - (N[2^{9941}] - 1)

6 Écrire un rapport interactif avec Mathematica

6.1 Introduction

On peut écrire un rapport interactif avec Mathematica en ajoutant des éléments de texte explicatifs directement dans le notebook. On parle de rapport *interactif* comme un notebook peut contenir des éléments dynamiques comme des animations ou encore des *Manipulate* (voir TP 2). Un notebook peut être exporté en format CDF (computational document format) de Wolfram, un format qui peut être lu par tout le monde un fois un lecteur gratuit du format CDF installé. On peut alors distribuer ses rapports écrits avec Mathematica à des personnes qui n'ont pas une licence pour Mathematica.

Pour éviter de confondre les cellules de texte avec les cellules de type Input/Output, il est très utile de changer le style du notebook via le menu **Format>Stylesheet>Report>Standard Report**. Ce style distingue bien visuellement entre les cellules de type Input/Output et du texte.

6.2 Types de cellules : Input/Output, Texte, Titres, Sous-titres,

...

Pour changer le type d'une cellule, regarder dans la liste des raccourcis clavier le point **Type de cellule**. Le plus souvent on a besoin de changer entre du texte (Alt+7) et le Input (Alt+9). Pour vérifier le type d'une cellule, activer la barre à outils dans le notebook (Menu **Window>Show Toolbar**). Le type d'une cellule sera affiché en haut à gauche dans le notebook. ATTENTION : ne pas modifier le type d'une cellule avec le menu déroulant de cette barre à outils, vous risquez de mélanger les types à l'intérieur d'une même cellule. Toujours utiliser les raccourcis clavier pour modifier le type d'une cellule.

En plus du texte simple on peut aussi mettre des titres et sous-titres (voir raccourcis clavier).

Pour pouvoir corriger vos comptes rendu de TP qui seront en forme de notebook Mathematica, il est impératif de mettre au moins le numéro de l'exercice en question à laquelle vous répondez et si possible aussi un peu de texte explicatif.

11. Mettre en forme et commenter votre notebook des exercices précédentes avec des titres et du texte.

6.3 Commentaires

Alternativement au changement de type de cellule, on peut aussi ajouter des commentaires dans des cellules de type Input sans changer le format de la cellule avec
(* commentaire *)

6.4 Exporter

On peut exporter un notebook en entier dans d'autres format comme PDF, CDF ou tex via le menu **File->Save As** (Ctrl+Maj+S) en choisissant un autre type de fichier dans la liste sous **Save as type** : On peut par exemple exporter le notebook en PDF simplement en choisissant **PDF Document (*.pdf)** dans cette liste. Si on veut garder la possibilité de pouvoir interagir avec le document ou garder les éléments dynamiques (animations, Manipulate, ...), il faut choisir **Computable Document (*.cdf)**. Ces fichiers peuvent être ouvert avec un lecteur gratuit, le CDF player, disponible sur le site de Wolfram.

On peut aussi exporter uniquement une partie du notebook, par exemple pour enregistrer un plot on fait un clique-droit avec la souris sur plot pour ouvrir le menu contextuel puis on choisit **Save Graphic As...** Le format par défaut est PDF pour les graphiques, comme il représente le graphique d'une manière vectorielle et non en bitmap (agrandir ce PDF pour voir l'effet). Alternativement on peut aussi directement copier&coller le graphique (Ctrl+C puis Ctrl+V) pour le mettre dans Word par exemple.

Les formules s'exportent aussi individuellement, soit avec copier&coller pour Word, soit avec le menu contextuel (clique-droit) puis **Copy As** pour \LaTeX ou LyX par exemple.

6.5 Présentations avec Mathematica

Il est possible de créer des présentations avec Mathematica. Comme ce sujet dépasse les objectifs de cette UE, on vous renvoie vers l'aide de Mathematica : Dans la barre de recherche du Documentation Center entrer : **howto/CreateASlideShow**

6.6 Correcteur orthographique

Malheureusement Mathematica n'a pas de correcteur orthographique pour le Français, mais uniquement pour l'Anglais (Menu **Edit->Check Spelling...**).

7 Définition et utilisation de variables ou d'expressions en général

7.1 Exemples de code Mathematica

Tous les exemples de code Mathematica montrés dans l'énoncé ne contiennent que des cellules de type Input. C'est pour cela que c'est indispensable de tester ces exemples soi-même avec Mathematica. Chaque ligne d'un exemple est une nouvelle cellule de type Input

et doit être évaluée dans l'ordre. Les exemples peuvent être copiés (Ctrl+C puis Ctrl+V) dans Mathematica depuis la version PDF de l'énoncé présent, mais attention de séparer la commande Quit dans une cellule à part.

7.2 Introduction

En Mathematica le nom d'une variable doit respecter à peu près les mêmes règles que dans d'autres langages de programmation, comme ne pas commencer avec un chiffre (ex : 2x) et ne pas contenir des caractères spéciaux (ex : %, #, {, }) ni des accents. Un nom de variable ne peut pas contenir des espaces. En Mathematica il ne peut non plus contenir des underscores (tiret bas) (ex : x_point), car ce symbole est réservé. Toutes les expressions (variables, fonctions, ...) qu'on définit soi-même doivent commencer avec une minuscule pour éviter une confusion avec les expressions déjà définies de Mathematica, qui commencent toutes avec un majuscule, par contre on peut mettre des majuscules ailleurs qu'au début (ex : xPoint). Mais attention 'xPoint' est différent de 'xpoint'.

Le signe = permet d'**affecter** une valeur à une variable. Tester ces exemples et observer le changement de couleur des variables. Qu'est-ce qu'indique la couleur noir ? et la couleur bleue ?

```
x=3
y=4
x^2 + y^2
Sqrt[x^2 + y^2]
```

Ouvrir un nouveau notebook (Ctrl+N). Par défaut les variables de l'ancien notebook seront aussi connues dans le nouveau (voir Annexe pour changer cela). On peut tester cela tout simplement en évaluant le nom de la variable :

```
x
y
```

Normalement l'évaluation de ces deux inputs renvoie les valeurs données en haut. Si l'évaluation de ces deux inputs renvoie le nom de chaque variable, alors ces deux variables ne sont pas encore définies soit en général soit dans le notebook actuel (voir Annexe).

Pour ne pas avoir à ouvrir un nouveau notebook avec chaque nouveau exemple, il est fortement conseillé de commencer tout nouveau exemple avec la commande `Quit`. La commande `Quit` permet de redémarrer le Kernel et donc d'effacer toute la mémoire sur les variables déjà définies dans tous les notebooks.

Si on ne veut pas que le résultat de l'évaluation d'une cellule Input soit affiché ou encore si on veut mettre plusieurs instructions sur une même ligne, on utilise le point-virgule. Tester ceci (ATTENTION mettre `Quit` dans une cellule à part qui sera évaluée en premier) :

```
Quit
x
x=3; y=4;
x
y
```

L'ordre des évaluations des cellules est très important. L'ordre est indiqué par les numéros après **In** et **Out**. Essayer cet exemple :

```
Quit
x^2 + y^2
x=3; y=4;
```

Dans cet exemple, la cellule $x^2 + y^2$ doit être évaluée en dernier, autant la placer en dessous des autres cellules. D'une manière générale il est préférable de placer les cellules dans l'ordre de l'évaluation, au moins après avoir terminé les essais et erreurs dans un notebook.

7.3 = ou :=

En plus du signe = pour l'affectation immédiate, il existe aussi le signe :=. Tester ces deux exemples pour comprendre la différence entre = et := (attention à bien respecter l'ordre des évaluations d'en haut en bas, ligne par ligne) :

```
Quit
x=5; y=x+2;
y
x=10
y
?y
```

Changer le $y=x+2$ en $y:=x+2$ donne un autre comportement :

```
Quit
x=5; y:=x+2;
y
x=10
y
?y
```

Qu'est-ce qui a changé ?

On voit bien ici que le signe = affecte la *valeur* de $x+2$ à y , tandis que le signe := définit la règle comment on obtient y avec n'importe quelle valeur de x . Les deux opérateurs, = et :=, ont une direction : du côté droit vers le côté gauche (*left hand side (lhs)* et *right hand side (rhs)* en anglais), par exemple on ne peut pas écrire $5=x$. La différence entre = et := est à quel moment donné *rhs* est évalué :

- ▷ $lhs = rhs$ *rhs* est évalué immédiatement et le résultat est copié à *lhs*
- ▷ $lhs := rhs$ *rhs* est évalué à chaque fois que *lhs* est utilisé

Comme dans le premier exemple la valeur de x est déjà connue au moment de l'affectation $y=x+2$, le *rhs* $x+2$ est évalué et donne 7. C'est cette valeur qui sera copié sur y et non $x+2$. Le fait de changer x après coup ne change rien à y qui est toujours égale à 7. La commande `?y` à la fin donne plus d'information sur la définition de y .

Si on veut que y dépende de x *tout le temps*, on peut utiliser le signe :=. Mais il est possible aussi d'avoir cette dépendance avec le signe =, comme montré dans cet exemple :

```
Quit
y=x+2
x=5
y
x=10
y
?y
```

On voit ici que y est égale à $x+2$ et non à une valeur, car au moment de l'affectation x n'a pas encore de valeur, donc l'évaluation de $x+2$ donne $x+2$. Du coup à chaque fois que la valeur de x change, on obtient une autre valeur pour y .

Un autre exemple qui illustre la différence entre $=$ et $:=$. Pour savoir ce que fait la fonction `Random[]`, placer le curseur sur `Random[]` puis appuyer sur F1.

```
Quit
x=Random[]
x
x
x:=Random[]
x
x
x
```

Ces exemples ont seulement un but pédagogique ici. S'il y a une dépendance entre deux variables, il est préférable d'indiquer la dépendance d'une variable sur une autre en écrivant une fonction.

7.4 ==

Comme le signe $=$ est déjà utilisé pour l'affectation, on teste avec un double signe égal $==$ l'égalité entre deux expressions. Par exemple :

```
Quit
x=3
x==6
x==3
```

Le résultat du teste d'égalité est donné en valeur booléenne, soit **True** (Vrai), soit **False** (Faux).

7.5 Substitution avec règles

Au lieu de définir des variables globalement pour tout le notebook on peut aussi remplacer localement une variable par une valeur sans jamais faire une affectation du type $x=2$. Ce remplacement est effectué avec une *règle* qui s'écrit : $x \rightarrow 2$. Il suffit d'appliquer cette règle à l'expression souhaité avec l'opérateur $/.$ (qui correspond à la fonction `ReplaceAll`) :

```
Quit
x + y /. x -> 2
x
```

Comme on voit dans cet exemple, x est remplacé dans l'expression $x + y$ par la valeur 2, sans affecter réellement une valeur à x .

Si on veut remplacer plusieurs variables à la fois, on utilise une liste de règles :

```
Quit
x + y /. {x -> a, y -> b}
```

La fonction `Solve` permet de résoudre des équations et fournit les solutions sous forme d'une liste de règles. Pour convertir cette liste de règles en liste de valeurs, il suffit de l'appliquer à la variable des règles, ici à x :

```
Quit
solutions = Solve[x^3 - 2*x + 1 == 0]
x /. solutions
```

7.5.1 ReplaceRepeated

L'opérateur `/.` ou la fonction correspondante `ReplaceAll` applique les règles qu'une seule fois à l'expression. Ceci peut être observé avec cet exemple, car il reste un y après l'application des règles :

```
Quit
x + 2*y /. {x -> y, y -> a}
```

Si on veut que les règles soient appliquées plusieurs fois, jusqu'à ce qu'aucun remplacement n'est plus possible, on utilise la fonction `ReplaceRepeated` ou encore l'opérateur `//.`. Essayer l'opérateur `//.` sur l'exemple au dessus pour voir l'effet.

`ReplaceRepeated` permet aussi de limiter le nombre d'itérations de remplacement, ce qui peut être pratique pour construire certains types de fonctions, comme par exemple :

```
ReplaceRepeated[1/(1+x), x -> 1/(1+x), MaxIterations -> 4]
```

On peut ajouter la fonction `Quiet` pour éviter l'affichage de messages :

```
Quiet[ReplaceRepeated[1/(1+x), x -> 1/(1+x), MaxIterations -> 4]]
```

7.6 Expressions

Tout objet en Mathematica (valeur, formule, graphique, ...) peut être mis en mémoire dans une variable en utilisant l'affectation `=`

Exemple : $\text{fraction} = \frac{x^3 + 2x^2 - x - 2}{x^3 + x^2 - 4x - 4}$

Si on veut évaluer cette fraction pour une valeur de x donnée (par exemple 4), on peut appliquer la règle $x \rightarrow 4$ à la variable `fraction` :

```
Quit
fraction = (x^3 + 2*x^2 - x - 2) / (x^3 + x^2 - 4*x - 4)
fraction /. x -> 4
```

8 Annexe

8.1 Séparer deux notebooks

Par défaut, les expressions (variables, fonctions, ...) définies dans un notebook sont aussi connues dans un autre notebook. Pour bien séparer deux notebooks on peut changer cette option avec le **Options Inspector** :

1. Ouvrir le Options Inspector via (Ctrl + Maj + O) ou sous Mac OS X : (Cmd + Maj + O)
2. Dans le Options Inspector choisir tout en haut dans la liste nommée **Show option values**, choisir **Global Preferences**
3. Chercher **CellContext** dans la case **Lookup** en dessous
4. Changer la valeur de **CellContext** en cliquant sur la flèche à droite de la valeur de **CellContext**, puis choisir **Notebook** à la place de "**Global**".
5. Pour finir appuyer sur le bouton **Apply**, puis fermer le Options Inspector.

8.2 Wolfram Alpha

Wolfram Alpha (www.wolframalpha.com) est un outil en ligne gratuit répondant à toutes sortes de questions (qui doivent être posées en anglais) et qui utilise une grande base de donnée et des calculs Mathematica. Il permet d'accéder avec un simple navigateur internet à beaucoup de fonctionnalités de Mathematica. Par exemple, la demande "derivative of sin(x)" (dérivée de sin(x)) calcule la réponse "cos(x)" et donne au passage d'autres informations utiles (propriétés de la fonction, courbes, développements limités, etc...). A essayer!

12. Tester sur Wolfram Alpha les requêtes suivantes :
 - ▷ derivative of sin(x)
 - ▷ Plot sinus from 0 to 10
 - ▷ UPMC
13. Un peu d'économie avec Wolfram Alpha, essayer les requêtes suivantes :
 - ▷ GDP France (ici on peut changer l'échelle de logarithmique en linéaire)
 - ▷ GDP Greece
 - ▷ Unemployment Greece
 - ▷ Unemployment young Greece
 - ▷ Unemployment Portugal
 - ▷ Unemployment Spain
 - ▷ coal china production
 - ▷ population of russia

8.2.1 Wolfram Alpha depuis Mathematica

Wolfram Alpha peut être interrogé directement depuis Mathematica avec une connexion Internet.

14. Dans un nouveau notebook (Ctrl + N) (voir en bas), taper :
== GDP France

Si un message d'erreur apparait c'est que la connexion Internet n'est pas bien configurée. Sur les postes de l'UTES ou le bureau à distance de l'UTES il faut configurer Mathematica pour qu'il puisse accéder à Internet : Dans Mathematica aller dans le menu **Edit->Preferences** puis dans l'onglet **Internet Connectivity** choisir l'onglet **Proxy Settings** puis cocher la case **Use the following settings** et entrer **proxyweb.upmc.fr** dans la case **HTTP Proxy** et 3128 dans la case **Port**. Tester la connexion Internet avec le bouton **Test Internet Connectivity**.