

Semestre : Automne 2013

Rapport de projet de TITS

La physique sans équation



SOMMAIRE

1. REMERCIEMENTS	3
2. INTRODUCTION	3
3. ANALYSE DIMENSIONNELLE	4
3.1. LES DIMENSIONS FONDAMENTALES	4
3.2. QU'EST CE QUE L'ANALYSE DIMENSIONNELLE ?	4
3.3. MÉTHODES D'ANALYSE DIMENSIONNELLE	4
3.4. THÉORÈME PI	4
4. PRESENTATION DES PROBLEMES	5
5. METHODE ANALYSE DIMENSIONNELLE 1.....	6
5.1. BRAINSTORMING DES PARAMÈTRES.....	6
5.2. HIÉRARCHIE DES PARAMÈTRES ET ORDRE DE GRANDEUR	6
5.3. CALCUL AVEC LA MÉTHODE 1	7
5.4. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	8
5.5. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	9
6. ANALYSE DIMENSIONNELLE : MÉTHODE 2	10
6.1. BRAINSTORMING DES CONSTANTES	10
6.2. HIÉRARCHIE DES PARAMÈTRES ET ORDRE DE GRANDEUR	10
6.3. CALCUL AVEC LA MÉTHODE 2	11
6.4. INTERPRÉTATION	12
6.5. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS	13
7. PROGRAMME.....	14
7.1. ECRAN D'ACCUEIL (VOIR CI-DESSOUS FIGURE 4)	14
7.2. EXTRAIT DE CODE PLACÉ DANS LE MODULE 1:	14
7.3. APERÇU DU CODE (REMPLISSAGE DES TABLEAUX D'INFORMATIONS).....	15
7.4. PROCÉDURES, AIDES ET CONTRÔLES	17
7.5. EXÉCUTION DE LA MACRO	18
7.6. APERÇU DU CODE	20
7.7. PROCÉDURE DE CRÉATION DES COMBINAISONS	21
7.8. QUELQUES ÉLÉMENTS DE CODE	21
7.9. QUELQUES ÉLÉMENTS DE CALCULS (ON RETROUVERA LES ÉLÉMENTS DU CODE EN ANNEXE).....	23
7.10. CONCERNANT EXCEL :	25
8. THEOREME PI.....	26
8.1. NOMBRE N ET DIMENSIONS DES PARAMÈTRES DÉCRIVANT LE PROBLÈME	26
8.2. NOMBRE DE VALEURS ADIMENSIONNÉS.....	26
8.3. CHOIX DES PARAMÈTRES QUI REPRÉSENTERONT J	26
8.4. DÉTERMINATION DES K	26
8.5. ECRITURE DU RÉSULTAT ISSU DU THÉORÈME PI.....	27
9. COMPARAISON.....	28
9.1. SIMULATION	28
9.2. EQUATION PARABOLIQUE (VOIR FIGURE 35)	29
9.3. COMPARAISONS	30
9.4. REMARQUES	30
10. METHODES D'ANALYSES DIMENSIONNELLES : AVANTAGES/INCONVENIENTS	31
11. CONCLUSION	31
12. ANNEXE 1 : DIAGRAMME DE GANTT INITIAL ET FINAL	32
13. ANNEXE 2 : ANALYSE DIMENSIONNELLE 1	33
14. ANNEXE 3 : ANALYSE DIMENSIONNELLE METHODE 2.....	39
15. ANNEXE 4 : CODE DU PROGRAMME.....	43
16. BIBLIOGRAPHIE	61

1. REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Monsieur Benoit Panicaud, notre encadrant pour cette UV.

Nous le remercions d'avoir pris le temps de nous guider, de nous avoir conseillé tout au long du semestre.

2. INTRODUCTION

« La physique sans équation » nous a tout de suite interpellé lors de notre choix du sujet. Comment peut-on faire de la physique sans équation ? Il est vrai que dans la vie de tous les jours, on associe souvent « physique » à « équation ». Nous avons choisi ce sujet pour découvrir une nouvelle approche et un nouvel outil : l'analyse dimensionnelle.

Nous avons déjà entendu ce terme d'analyse dimensionnelle dans d'autres UVs (comme la MS11 par exemple) mais nous nous sommes très vite aperçus via les explications de notre encadrant qu'il s'agissait d'un outil plus complexe et plus puissant que ce que l'on pouvait imaginer.

L'objectif était clairement défini : Appliquer à différents exemples de la vie quotidienne (nous les avons choisis) les différentes méthodes de l'analyse dimensionnelle pour pouvoir trouver un résultat au problème concerné. Au terme de ce travail, nous devions réaliser un programme permettant d'automatiser ces méthodes.

Nous allons présenter les différentes parties sur lesquelles nous avons travaillé tout au long du semestre pour remplir cet objectif.

Dans un premier temps nous rappellerons les dimensions fondamentales, nous présenterons les 2 méthodes de l'analyse dimensionnelle, ensuite nous présenterons nos différents problèmes physiques de la vie quotidienne et nous appliquerons les 2 méthodes à ces problèmes. Nous expliquerons la réalisation de notre programme. Nous expliquerons la démarche du théorème pi via un de nos problèmes et nous terminerons par une comparaison entre le résultat obtenu lors de l'analyse dimensionnelle, lors de l'équation et au cours d'une simulation.

3. ANALYSE DIMENSIONNELLE

3.1. Les dimensions fondamentales

[AC-NANCY-METZ « Les unités du système international »]

Il existe 7 dimensions fondamentales qui permettent de déterminer les différentes unités que nous trouvons aujourd'hui. Ces dimensions sont :

1. L → la longueur dont l'unité fondamentale est le Mètre (m) ;
2. T → le temps dont l'unité fondamentale est la Seconde (s) ;
3. M → la masse dont l'unité fondamentale est le Kilogramme (kg) ;
4. K → la température dont l'unité fondamentale est le Kelvin (K) ;
5. I → l'intensité du courant dont l'unité fondamentale est l'Ampère (A) ;
6. n → la quantité de matière dont l'unité fondamentale est la Mole (mol) ;
7. IL → l'intensité lumineuse dont l'unité fondamentale est le Candela (cd).

3.2. Qu'est ce que l'analyse dimensionnelle ?

[WIKIPEDIA « Analyse dimensionnelle »]

L'analyse dimensionnelle repose sur la mise en équation de plusieurs de ces dimensions.

Une des façons de procéder est de rechercher une grandeur à partir de paramètres. La réponse est une fonction de phénomènes tels que la température, la pression, la géométrie de l'objet, etc. d'où la nécessité de faire un « brainstorming » des variables et paramètres mis en jeu pour répondre aux problèmes posés.

3.3. Méthodes d'analyse dimensionnelle

Il existe 2 méthodes, la première qui regroupe la fonction puissance et la matrice potentiellement singulière, la deuxième qui part du même principe mais au lieu d'utiliser les paramètres que nous listerons pour nos problèmes, nous nous servons de constantes de référence :

1. La méthode de la fonction puissance consiste à faire un produit entre ces variables et les élever à des puissances quelconques. Le but étant de déterminer les dimensions de ces paramètres et la valeur de leurs exposants pour pouvoir décomposer le résultat final en un produit de dimensions à leurs puissances respectives. La méthode de la matrice potentiellement singulière consiste en la résolution d'un calcul matriciel mettant en jeu le produit d'une matrice carrée (7,7) et d'un vecteur vertical (7,1) formé des 7 dimensions fondamentales. Ce produit donne le résultat d'un vecteur dont les coefficients seront les valeurs des paramètres à rechercher.

2. Un autre type d'analyse dimensionnelle se fait en partant de constantes fondamentales ou des constantes dérivées de ces dernières. Ces constantes sont elles mêmes construites avec les dimensions fondamentales (certaines sont adimensionnées) comme la célérité de la lumière « c », la constante de Boltzmann « k » ou encore la constante gravitationnelle « G ». La création et la mise en équation de ces constantes a permis d'inventer de nouvelles grandeurs de références comme la longueur de Planck « l_p », le temps de Planck « t_p » ou la masse de Planck « m_p ». Une fois les constantes choisies nous pouvons revenir à la méthode 1.

3.4. Théorème Pi

Le théorème pi est une toute autre approche de l'analyse dimensionnelle. En effet il consiste à écrire une fonction de plusieurs nombres adimensionnés suivant une démarche précise qu'on appliquera.

4. PRESENTATION DES PROBLEMES

Pour pouvoir mettre en œuvre les méthodes d'analyse dimensionnelle, nous avons proposé 5 problèmes faisant intervenir des domaines différents de la physique

1. Comment faire en sorte que les personnes étant dans un grand huit soient le plus longtemps en apesanteur ?

Ce problème repose principalement sur de la mécanique du point. Tous les concepteurs de nouvelles montagnes russes se posent ce genre de question pour impressionner les clients. Être en apesanteur est une sensation très recherchée pour les fans de sensations fortes.

2. Comment réduire la distance de freinage d'une voiture en préservant les pneus ?
Ce problème repose également sur la mécanique du point. Les concepteurs de nouvelles voitures peuvent se poser ce genre de question pour garantir à l'utilisateur une plus grande sécurité.

3. Comment diminuer le plus possible la traînée du vortex présent lors de l'atterrissage des avions.

Ce problème repose principalement sur la mécanique des fluides. Ce genre de vortex est très dangereux lors de l'atterrissage : il peut en effet dévier l'avion.

4. Quel est l'apport en énergie pour chauffer une piscine de telle façon qu'elle atteigne une certaine température ?

Ce problème repose principalement sur la thermodynamique. Ce genre de question peut être posée par des gérants de complexe aquatique pour limiter le coût énergétique tout en chauffant suffisamment les piscines.

5. A quelle distance maximale un utilisateur peut-il utiliser une télécommande pour fermer par exemple un portail électrique ?

Ce problème repose principalement sur l'électromagnétisme. C'est une application que l'on peut rencontrer souvent dans notre vie (fermeture portail électrique, voiture...).

Dans les parties qui suivent nous allons détailler les 2 méthodes de l'analyse dimensionnelle à l'exemple du freinage de la voiture.

5. METHODE ANALYSE DIMENSIONNELLE 1

5.1. Brainstorming des paramètres

[ADILCA « L'aérodynamique et la résistance de l'air »] [LA BEREZINA « Formule 1 – Les freins 2 »]

Comme nous l'avons dit dans le paragraphe A2, nous devons lister tous les paramètres qui a une influence sur le problème posé : Comment réduire la distance de freinage d'une voiture en préservant les pneus ?

- Vitesse du véhicule
- Masse du véhicule (masse totale et répartition sur l'ensemble des trains de roues)
- Coefficient d'adhérence du véhicule par rapport au terrain
- Pression des pneumatiques
- Type de pneumatique
- Type et qualité du revêtement de contact du véhicule (route, chemin, eau, air, espace)
- Qualité des matériaux utilisés (éviter l'échauffement, efficacité des freins)
- Revêtement de surface du véhicule (rugosité par rapport à l'air)
- Répartition du freinage sur les roues
- Influence de la pente ou du dévers de la chaussée
- Mode de commande : câblé, hydraulique
- Procédé employé pour freinage : disque et/ou tambour \Rightarrow surface de contact
- Construction du système de freinage (qualité d'usinage (tolérances et de montage)
- Dimensionnement selon efficacité voulue (surface de contact, nombre de plaquettes)
- Profil du véhicule (C_x , résistance à l'air)
- Influence des conditions météo (pluie, neige, vent)

5.2. Hiérarchie des paramètres et ordre de grandeur

[BELHOCINE « *Etude thermomécanique des disques de freins* »] [CHRONO-PNEUS « Tout savoir sur les pneus »] [VAL Gilbert « Gonflage et pression de pneus pour votre voiture »]

Après avoir posé le problème et listé les paramètres associés, nous avons hiérarchisé et regroupé les paramètres similaires afin de trouver les dimensions fondamentales liées pour chaque paramètre et y associer des ordres de grandeur. Sachant que la solution du problème est une fonction des différentes grandeurs, nous devons aussi compter le nombre total de dimensions que l'on retrouve. En faisant une combinaison de ces grandeurs et dimensions, on retrouve un certain nombre de combinaisons entre les grandeurs qui permettra la résolution du problème.

1. Vitesse du véhicule
2. Masse du véhicule (masse totale et répartition sur l'ensemble des trains de roues)
3. Type de pneumatique
 - Pression des pneumatiques
 - Coefficient d'adhérence du véhicule par rapport au terrain

- Type et qualité du revêtement de contact du véhicule (route, chemin, eau, air, espace)
 - Surface de contact
4. Influence des conditions météo (pluie, neige, vent)
 5. Revêtement de surface du véhicule (rugosité par rapport à l'air)
 6. Profil du véhicule (Cx, résistance à l'air)
 7. Influence de la pente ou du dévers de la chaussée
 8. Mode de commande : câblé, hydraulique
 9. Procédé employé pour freinage : disque et/ou tambour \Rightarrow surface de contact
 10. Construction du système de freinage (qualité d'usinage (tolérances et de montage)
 11. Dimensionnement selon efficacité voulue (surface de contact, nombre de plaquettes)
 12. Répartition du freinage sur les roues
 13. Qualité des matériaux utilisés (éviter l'échauffement, efficacité des freins)
 14. Système d'amortisseur ou de propagation du transfert de charge (déplacement de la charge vers l'avant lors du freinage)
 15. Usure du système de freinage et des pneumatiques
 16. Embrayage
 17. Utilisation du système de freinage : compétence à l'utilisation (exemple en montagne)

Pour terminer le listing des paramètres, nous enlevons les paramètres adimensionnés puis nous faisons des hypothèses simplificatrices pour enlever d'autres paramètres. La vitesse du vent peut être négligeable quand elle est faible. Nous décidons également de négliger la température extérieure.

1. Masse du véhicule : $M=1000 \text{ kg}$
2. Vitesse du véhicule : $V=70 \text{ km/h} = 19.4 \text{ m/s}$
3. Pression des pneumatiques : $P_{pn}=2.5 \text{ bars} = 250000 \text{ kg/(m.s}^2\text{)}$
4. Pression freinage : $P_{fr}=10 \text{ bars} = 1000000 \text{ kg/(m.s}^2\text{)}$
5. Surface de contact $S=0,04\text{m}^2$
6. Température du système de freinage $T_f=723\text{K}$
7. Température des pneus avant freinage $T_{pn}=343\text{K}$

La hiérarchie et les ordres de grandeur des autres exemples seront détaillés dans les annexes.

5.3. Calcul avec la méthode 1

Tout d'abord réfléchissons sur le nombre de combinaisons de fonctions possibles pour la distante que l'on recherche. Le résultat que nous obtiendrons ne sera pas forcément la distance de freinage mais une distance d'un point de vue dimension. C'est avec le résultat obtenu qu'on pourra juger s'il s'agit d'une distance de freinage (voir interprétation des résultats).

Nous retrouvons dans notre problème 4 dimensions fondamentales : L,M, K et T et nous avons retenu 7 paramètres. Il y a donc 4 dimensions fondamentales parmi 7 grandeurs physiques.

Nous effectuons le calcul de probabilité suivant : $7! / (4!(7-4)!)=35$.

Nous effectuons tout d'abord une série de combinaisons sur papier pour comprendre les mécanismes de cette méthode afin de l'automatiser sur Excel 2010.

Voici l'exemple détaillé d'une combinaison sur papier :

Nous choisissons donc 4 grandeurs parmi les 7

M,V,Tfr, Pfr et nous écrivons $d1=f(M,V,Tfr,Pfr)$.

Nous affectons une puissance pour chaque dimension. On obtient $d1=M^a V^b Tfr^c Pfr^d$ puis nous attribuons les puissances a,b,c et d pour chaque dimension.

Ainsi on a $M^a L^b T^{-b} K^c M^d L^{-d} T^{-2d}$.

Puis nous formons un système d'équation simple que nous résolvons.

(L) : $1=b-d$ (1)

(T) : $0=-b-2d$ (2)

(M) : $0=a+d$ (3)

(K) : $0=c$ (4)

Avec ce système on obtient les résultats suivants $a=1/3$, $d=-1/3$, $b=2/3$ et $c=0$

Donc $d1= \sqrt[3]{(MV^2)/Pfr} = 0.72m$

Nous allons entrer ces différents paramètres sur Excel pour que la macro puisse nous afficher les 35 combinaisons possibles.

Nous obtenons principalement les résultats ci dessous. (voir Figure 1)

$d=f(Mvoiture,Ppn,Sc,Tfr)$		$d=f(Vvoiture,Pfr,Tfr,Tpn)$		$d=f(Mvoiture,Vvoiture,Pfr,Tpn)$	
$L=(M)^{a1}*(M/LT^2)^{a2}*(L^2)^{a3}*(\Theta)^{a4}$		$L=(L/T)^{a1}*(M/LT^2)^{a2}*(\Theta)^{a3}*(\Theta)^{a4}$		$L=(M)^{a1}*(L/T)^{a2}*(M/LT^2)^{a3}*(\Theta)^{a4}$	
valeurs	exposants	valeurs	pas de solutions réelles : le déterminant est nul !	exposants	valeurs
0	a1 =	0		a1 =	0,333333333
0	a2 =	0		a2 =	0,666666667
0,5	a3 =	0,5		a3 =	-0,333333333
0	a4 =	0		a4 =	0
application numérique =0,2 m^1				application numérique =0,72 m^1	

Figure 1: résultats des 35 combinaisons possibles

Beaucoup de combinaisons sont insolubles (matrice non carrée ou déterminant nul). Nous obtenons principalement le même résultat que sur le papier (0.72m) et un autre résultat (0,2m).

5.4. Interprétation des résultats

[MALLEPLATE Jean-Pierre « Enseigner les maths sciences en LP Distance de freinage »] [BRISOU Florent « Dynamique du freinage »]

D'après la figure ci-dessous (voir Figure 2) l'ordre de grandeur de la distance de freinage pour une vitesse de 70km/h est de 25m.

Les résultats que nous avons trouvés avec la méthode 1 sont faibles (0,1m et 1,15m). Ces distances ne sont pas celles que l'on recherche. Dans notre étude nous n'avons pas pris en compte les paramètres adimensionnés et nous avons fait des hypothèses simplificatrices. Mais comme on obtient des résultats homogènes à une distance il existe

un coefficient, absent de ce résultat, qui est une fonction des grandeurs non considérées au vu des hypothèses et des choix réalisés.

Nous allons le vérifier par une équation.

Nous allons utiliser le théorème de l'énergie cinétique.

$$\frac{1}{2} \times M \times V_f^2 - \frac{1}{2} \times M \times V_i^2 = W(F) = F \times d \text{ avec } d = \text{distance de freinage}$$

$V_f=0$, F = la force de freinage opposée au mouvement $F = -u \times P_{fr} \times S_c$ u = coefficient de frottement des plaquettes $u=0,2$

$$\text{On obtient } -\frac{1}{2} \times M \times V_i^2 = -u \times P_{fr} \times S_c \times d$$

$$\text{On a donc } d = (\frac{1}{2} \times M \times V_i^2) / (u \times P_{fr} \times S_c) = 24 \text{ m}$$

On peut remarquer que l'expression de cette distance s'apparente à l'expression trouvée par analyse dimensionnelle « $d_1 = 3 \text{ rac} ((MV^2)/P_{fr})$ »

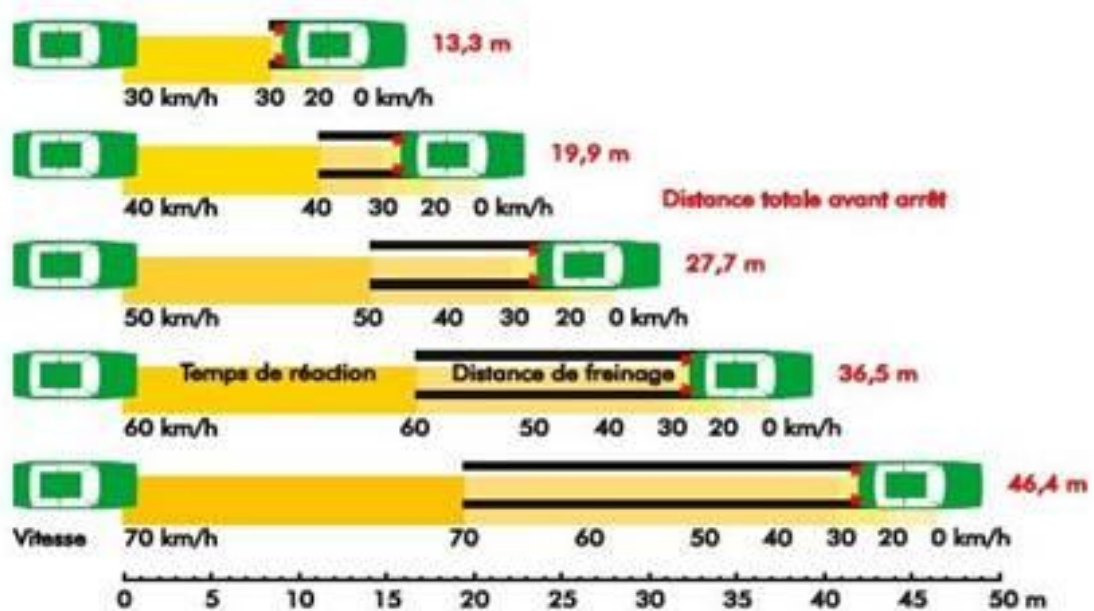


Figure 2: comparaison distances de freinage selon vitesses

Nous allons procéder de la même façon pour les autres problèmes (Brainstorming, hiérarchisation des paramètres, ordres de grandeur, résultats) (voir ANNEXE 2 : ANALYSE DIMENSIONNELLE 1, page 33)

5.5. Avantages et inconvénients

Cette méthode nous permet d'avoir un ordre de grandeur du résultat attendu. Les paramètres à poser sont assez intuitifs.

Nous obtenons des résultats dimensionnellement homogènes au paramètre recherché. Cette méthode comme tout autre méthode d'analyse dimensionnelle ne prend pas en compte les paramètres adimensionnés, aussi nous avons fait des hypothèses simplificatrices.

6. ANALYSE DIMENSIONNELLE : MÉTHODE 2

Nous procédons de la même manière que la première méthode, nous devons utiliser et lister des constantes physiques et/ou chimiques, les hiérarchiser et les mettre en équation. Il est nécessaire d'être premièrement exhaustif pour éviter de laisser de côté des constantes qui pourraient être primordiales afin de résoudre le problème. Nous ferons des hypothèses simplificatrices pour garder quelques constantes.

6.1. Brainstorming des constantes

[H&K « main.dvi – adc.ps_annexes.physique.pdf »] [ENI GENERALIC « Constantes physiques fondamentales »]

En reprenant le problème du freinage de la voiture, nous allons répertorier les constantes en relation avec ce problème : Comment réduire la distance de freinage d'une voiture en préservant les pneus ?

Nous connaissons les paramètres qui entrent en jeu (voir paragraphe 5.15.1 6). Nous pouvons utiliser des constantes spécifiques à un domaine précis, par exemple, s'il y a une notion de thermodynamique qui entre en jeu, nous pouvons lister la constante de Boltzmann, la constante des gaz parfait, la pression standard de l'atmosphère.

Dans notre problème nous avons une masse, une longueur, une vitesse et une température qui entrent en jeu, nous allons donc ajouter la masse des nucléons, la masse de la Terre, la célérité de la lumière, le rayon de la Terre et le rayon de Bohr pour conserver nos dimensions caractéristiques.

Nous trouvons donc, de façon exhaustive, ce qui suit :

- Célérité de la lumière : $c = 299\,792\,458\text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$
- $m_{\text{nucléon}} : m_n = 1,7 \cdot 10^{-27}\text{ kg} \Rightarrow \text{M}$
- Température de fusion de l'aluminium : $T_0 = 933,47\text{ K} \Rightarrow \text{K}$
- Rayon de Bohr : $a_0 = 0,52919 \cdot 10^{-10}\text{ m} \Rightarrow \text{L}$
- Accélération de la pesanteur : $g_0 = 9,80665\text{ m.s}^{-2} \Rightarrow \text{L.T}^{-2}$
- Constante de Boltzmann : $k_B = 1,38065 \cdot 10^{-23}\text{ J.K}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}$
- Pression standard de l'atmosphère : $\text{atm} = 101\,325\text{ Pa} \Rightarrow \text{M.L}^{-1}.\text{T}^{-2}$
- Constante gravitationnelle : $G = 6,6742 \cdot 10^{-11}\text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2} \Rightarrow \text{L}^3.\text{M}^{-1}.\text{T}^{-2}$
- Constante Gaz parfait : $R = 8,3144\text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
- Masse de la Terre : $M_T = 5,9736 \cdot 10^{24}\text{ kg} \Rightarrow \text{M}$
- rayon de la terre $R_T = 6378,14\text{ km} \Rightarrow \text{L}$

6.2. Hiérarchie des paramètres et ordre de grandeur

Comme pour la méthode 1, il faut hiérarchiser les constantes, car certaines ont plus d'influences que d'autres, ou que certaines constantes dépendent d'autres listées. Nous créons plusieurs groupes qui déterminent l'importance de la constante considérée (le groupe 1 comprend les constantes qu'on gardera pour notre étude). L'accélération de la pesanteur dépend de la constante gravitationnelle qui dépend elle-même de la masse de la Terre et son rayon. Nous pouvons placer la constante gravitationnelle dans le 2^e groupe sachant que son influence est quasi-inexistante au sein du problème de même que les constantes dont elle dépend. Nous garderons la constante de Boltzmann (notion thermodynamique). Nous ajouterons dans le groupe 1 la masse des nucléons (masse de

la voiture = $N_{\text{nucléon}} \times m_{\text{nucléon}}$) et le rayon de Bohr (responsable de la cohésion de la matière).

GROUPE 1

1. Célérité de la lumière : $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$
2. $m_{\text{nucléon}} : m_n = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$
3. Température de fusion de l'acier : $T_0 = 1755 \text{ K} \Rightarrow \text{K}$
4. Rayon de Bohr : $a_0 = 0,52919 \cdot 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$
5. Constante de Boltzmann : $k_B = 1,38065 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}$
6. Pression standard de l'atmosphère : $\text{atm} = 101\,325 \text{ Pa} \Rightarrow \text{M.L}^{-1}.\text{T}^{-2}$

GROUPE 2

1. Constante Gaz parfait : $R = 8,3144 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$
2. Accélération de la pesanteur : $g_0 = 9,80665 \text{ m.s}^{-2} \Rightarrow \text{L.T}^{-2}$
3. Masse de la Terre : $M_T = 5,9736 \cdot 10^{24} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$
4. rayon de la terre $R_T = 6378,14 \text{ km} \Rightarrow \text{L}$
5. Constante gravitationnelle : $G = 6,6742 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2} \Rightarrow \text{L}^3.\text{M}^{-1}.\text{T}^{-2}$

Par analogie avec la méthode 1, nous allons utiliser les constantes les plus importantes pour traiter ce problème, donc celles du 1^{er} groupe. Nous nous retrouvons finalement avec 6 constantes physiques pour traiter le problème.

1. Célérité de la lumière : $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$
2. $m_{\text{nucléon}} : m_n = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$
3. Température de fusion de l'acier : $T_0 = 1755 \text{ K} \Rightarrow \text{K}$
4. Rayon de Bohr : $a_0 = 0,52919 \cdot 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$
5. Constante de Boltzmann : $k_B = 1,38065 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}$
6. Pression standard de l'atmosphère : $\text{atm} = 101\,325 \text{ Pa} \Rightarrow \text{M.L}^{-1}.\text{T}^{-2}$

6.3. Calcul avec la méthode 2

Nous allons procéder de la même façon que la méthode 1

Nous retrouvons dans notre problème 4 dimensions fondamentales : L, M, K et T et nous avons retenu 6 constantes. Il y a donc 4 dimensions fondamentales parmi 6 constantes

Nous effectuons le calcul de probabilité suivant : $6! / (4!(6-4)!)=15$

De même, nous obtiendrons bien évidemment une distance d'un point de vue dimensionnel, et non la distance de freinage à proprement parler considérant les ordres de grandeur. Les applications numériques nous indiqueront si les valeurs sont cohérentes ou non.

Tout d'abord, nous choisissons un groupe de 4 constantes physiques parmi lesquelles apparaissent les 4 dimensions fondamentales.

Prenons comme choix de constantes : c , k_B , T_0 , atm . Nous observons d'après la liste des constantes ci-dessus qu'aucune n'est combinaison linéaire d'une autre (risque sinon d'avoir une matrice insolvable). On obtient donc :

$$D_1 = f_1(c, k_B, T_0, \text{atm}) = c^a \times k_B^b \times T_0^c \times \text{atm}^d = (L \cdot T^{-1})^a \times (M \cdot L^2 \cdot T^{-2} \cdot K^{-1})^b \times K^c \times (M \cdot L^{-1} \cdot T^{-2})^d$$

Nous formons ensuite un système d'équations que nous cherchons à résoudre.

$$(L) : 1 = a + 2b - d$$

$$(T) : 0 = -a - 2b - 2d$$

$$(M) : 0 = b + d$$

$$(K) : 0 = -b + c$$

Après calculs, on obtient les valeurs des 4 exposants :

$$a = 0$$

$$b = 1/3$$

$$c = 1/3$$

$$d = -1/3$$

Au final on obtient bien un résultat homogène à une distance :

$$D_1 = (k_B \times T_0 / \text{atm})^{1/3}$$

$$D_1 = 5,028 \times 10^{-9} \text{ m.}$$

6.4. Interprétation

Nous voyons que cette distance n'est pas celle que l'on recherche, car la valeur est infiniment petite. Ce résultat est par contre homogène à une distance, il existe un coefficient multiplicateur, absent de ce résultat, qui est une fonction de constantes non considérées au vu des hypothèses et des choix réalisés, et qui nous permettrait de retrouver un résultat numériquement correct.

Avec le programme nous trouvons également des ordres de grandeur infiniment grand par rapport à la réalité (voir Figure 3 ci-dessous).

$d=f(c, M_{\text{nucléon}}, T_{\text{facier}}, K_b)$		$d=f(c, M_{\text{nucléon}}, T_{\text{facier}}, P_o)$
$L=(LT)^{a1} \cdot (M)^{a2} \cdot (\Theta)^{a3} \cdot (L^2 M / T^2 \Theta)^{a4}$		$L=(LT)^{a1} \cdot (M)^{a2} \cdot (\Theta)^{a3} \cdot (M / LT^2)^{a4}$
exposants	valeurs	exposants
a1 =	0,5	a1 =
a2 =	-0,25	a2 =
a3 =	0,25	a3 =
a4 =	0,25	a4 =
application numérique $d=1063869,36 \text{ m}^1$		application numérique $d=5,35684520502989E+48 \text{ m}^1$

Figure 3: écran de résultats

Comme pour la méthode 1, nous allons procéder de la même façon pour les autres problèmes : brainstorming, hiérarchisation des constantes, valeurs des constantes, résultats (voir ANNEXE 3 : ANALYSE DIMENSIONNELLE METHODE 2, page 39).

6.5. Avantages et inconvénients

Nous retrouvons les mêmes avantages que pour la méthode 1 à savoir que les résultats obtenus ont la ou les mêmes dimensions que la grandeur que l'on recherche. Il y a donc un facteur multiplicateur devant notre résultat. Mais la deuxième méthode nous donne des résultats plus éloignés de la réalité que la première.

De plus, la deuxième méthode est moins intuitive : nous devons chercher des constantes physiques. Il faut avoir beaucoup de recul pour savoir quelles sont les constantes qui peuvent entrer en jeu dans les problèmes.

7. PROGRAMME

[SEHAN JF « Fonctions et Macros Excel 2010 »] [BELLAN P. « Excel pour l'ingénieur : bases, graphiques, calculs, macro, VBA »]

Comme nous avons pu le voir certaines applications physiques font appels à de nombreuses combinaisons, d'où l'intérêt d'utiliser Excel pour automatiser les 2 méthodes qui précèdent qui permettront d'établir les résultats en quelques secondes.

L'ensemble du code de cette partie est disponible ici : ANNEXE 4 : CODE DU PROGRAMME, page 43.

7.1. Ecran d'accueil (voir ci-dessous Figure 4)

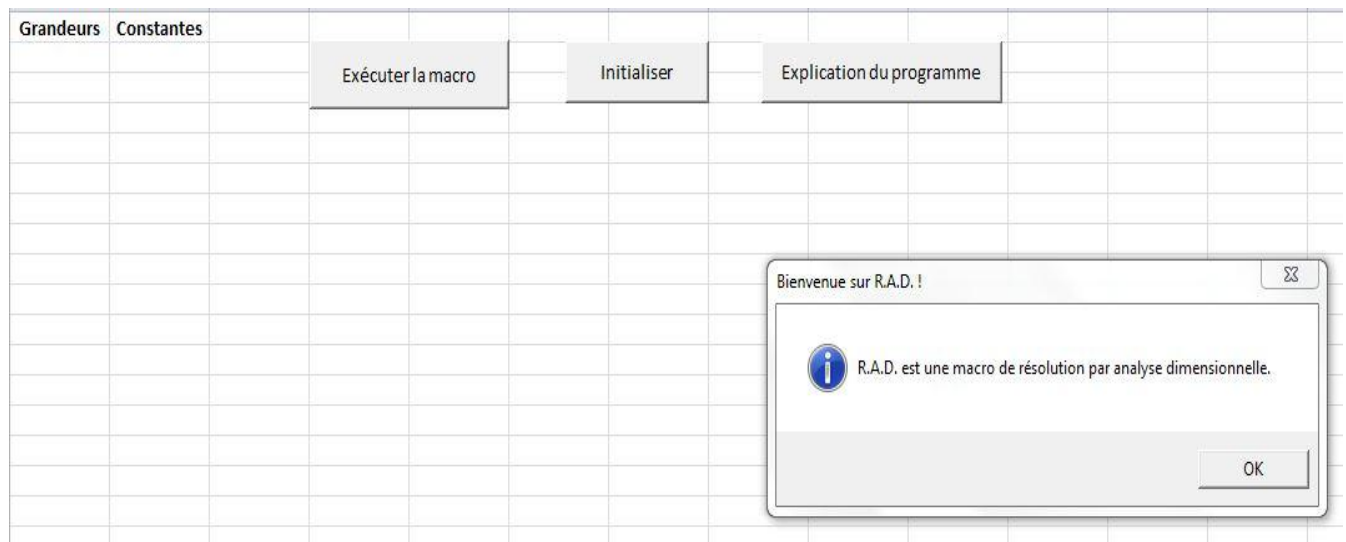


Figure 4: écran d'accueil du programme

Il est important pour l'utilisateur de connaître le nom du programme et de prendre connaissance de la fonction du programme.

Une fois cet écran validé une nouvelle fenêtre s'ouvre avec quelques explications pour l'utilisation du programme. Nous pouvons à tout moment retrouver ce texte d'aide en cliquant sur le bouton "Explication du programme".

7.2. Extrait de code placé dans le Module 1:

On utilise une fonction dans laquelle on affiche un message par l'intermédiaire de la commande *MsgBox* qui une fois validée affiche le message d'explications (voir Figure 5 et Figure 6 ci-dessous)

```
Private Sub Explication()  
    MsgBox "R.A.D. est une macro de résolution par analyse dimensionnelle." & Chr(10) &  
    MsgBox "1) Compléter vos bases de données (variables et constantes) en n'oubliant p  
End Sub
```

Figure 5: extrait de code illustrant la fonction MsgBox

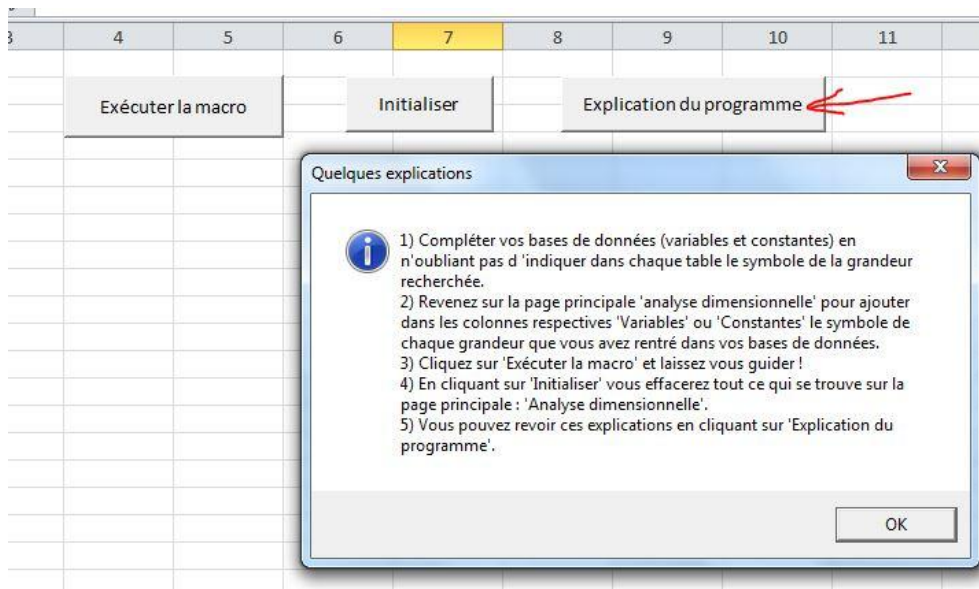


Figure 6: message d'explications du programme

En suivant ce mode d'emploi on commence par renseigner la base de données des grandeurs en utilisant les différents boutons pour Ajouter, supprimer, modifier... une grandeur, une description.... (voir Figure 7 ci-dessous)

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1																				
2																				
3																				
4																				
5																				

Figure 7: boutons de choix du programme

7.3. Aperçu du code (remplissage des tableaux d'informations)

Le code utilisé est composé de différentes fonctions: AjouterGrandeur(), ModifierGrandeur(), SupprimerGrandeur()... réunies dans le Module 2. Chaque fonction récupère les informations entrées puis les vérifie une fois qu'elles sont validées.

Par exemple pour le bouton "**Ajouter une grandeur**":

La procédure ci-dessous (voir Figure 8) vérifie une à une les lignes du tableau et détermine la valeur d'une variable (nbVariables) qui sera utilisée comme référence de cellule.

C'est à partir de cette cellule que seront utilisées des références relatives pour entrer les informations saisies dans les différentes boîtes de saisie des données.

Par exemple la cellule Ligne 3, colonne 2 est activée puis on vérifie qu'elle n'est pas vide, si c'est le cas on rajoute 1 à la variable nbVariables qui représente le n° relatif de la ligne, la boucle reprend alors en vérifiant la cellule du dessous de la cellule précédente (0+1) représentée par la valeur nbVariables.

Tant que la cellule n'est pas vide, la cellule de la ligne suivante est sélectionnée et on vérifie de nouveau la condition. A partir du moment où une cellule vide est rencontrée la boucle prend fin et la valeur de la variable nbVariables est conservée. Imaginons qu'elle vaille 7 et suivons l'exemple décrit sous la copie d'écran ci-dessous Figure 8 ci-dessous.


```

nbVariables = 0

Cells(3, 2).Select
While Not (IsEmpty(ActiveCell.Offset(nbVariables, 0)))
    nbVariables = nbVariables + 1
Wend

```

Figure 8: initialisation de la variable nbVariables

Lorsque vient le moment de placer les données saisies dans les boîte de dialogue, on réutilise la valeur de la variable nbvariables.

Exemple:

- plus haut, nous lui avons attribuée comme valeur 7. Une fois la procédure lancée on lui ajoute 3 (puisque le tableau commence à la ligne 3) ce qui nous donne 10. La cellule active devient donc la 10ème cellule de la colonne 2. A ce moment pour conserver la mise en forme du tableau (avec son contour en trait gras), une ligne est insérée, ou vont se placer successivement les données saisies dans les boîtes de dialogue (voir Figure 9 ci-dessous).

```

If nbVariables > 0 Then
    Cells(nbVariables + 3, 2).Select
    ActiveCell.EntireRow.Insert
    description = ""
    While (description = "")
        description = InputBox("Saisir une descri
    Wend
    ActiveCell.Offset(0, 1).Value = description
    ActiveCell.Value = Left(grandeur, InStr(grand
    ActiveCell.Offset(0, 2).Select

```

Figure 9: procédure d'insertion d'une ligne vide en bas du tableau et affichage de la fenêtre de saisie

Ensuite

- la commande *InputBox* (voir Figure 9 ci-dessus) affiche une boîte de saisie demandant d'entrer une grandeur ;
- Puis une fois validée, la commande *If grandeur = ""* vérifie qu'une saisie à bien été effectuée ;
- la fonction *NbOc* vérifie que les parenthèses sont présentes ainsi que le nombre de « , » séparant les chiffres;
- si une erreur est trouvée la fonction *MsgBox* renvoie dans ce cas un message d'erreur (voir Figure 10 ci-dessous).

```

grandeur = InputBox("Saisir la grandeur à ajouter :" & Chr(10) & "Syntaxe : variable(L,M,T,I,
If grandeur = "" Then
    MsgBox "Vous devez saisir une grandeur !", vbCritical, "AjouterGrandeur"
    ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
End
ElseIf NbOc(grandeur, "(") <> 1 Or NbOc(grandeur, ")") <> 1 Or NbOc(grandeur, ",") <> 6 Then
    MsgBox "Vous n'avez pas correctement saisi la grandeur. Respectez la syntaxe !", vbCriti
    ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
End
End If

```

Figure 10: affichage de la fenêtrde saisie de la grandeur puis contrôle de la saisie effectuée

- Une boucle est ensuite utilisée pour placer les informations entrées dans la boîte de saisie à l'intérieur de chaque cellule appropriée (voir Figure 11 ci-dessous).

```

j = 1
k = 1
For i = 0 To 6
    If Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j) = "-" Then
        j = 2
    End If
    ActiveCell.Offset(0, i).Value = Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j)
    If j = 2 Then
        k = k + 1
        j = 1
    End If
Next

```

Figure 11: placement des infos saisies dans les bonnes cellules

Il est à noter que le fichier est protégé en écriture et qu'en début de procédure il est déprotégé par la commande *ActiveSheet.Unprotect* ("motdepasse") puis une fois les informations entrées il est de nouveau protégé par la commande *ActiveSheet.Protect* ("motdepasse")

7.4. Procédures, aides et contrôles

Dans chaque fenêtre de saisie, un texte d'aide est visible (voir figure Figure 12 ci-dessous).

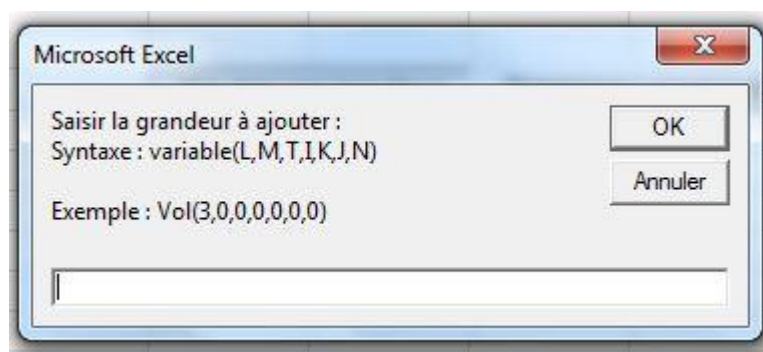


Figure 12: texte d'aide disponible dans chaque fenêtre de saisie

Des contrôles sont également effectués dans chaque fenêtre, évitant les erreurs de saisie. Dans la fenêtre précédente, par exemple, si le nombre d'entrée entre les parenthèses est insuffisante, au moment de valider le message d'erreur ci-dessous apparaît (voir Figure 13 ci-dessous).

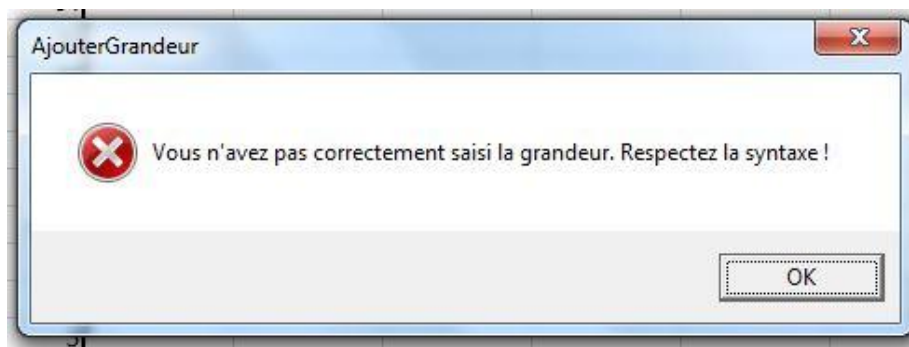


Figure 13: contrôle des données saisies et message d'erreur éventuel

Comme nous l'a indiqué le programme à l'ouverture, nous revenons sur la feuille analyse dimensionnelle, pour entrer dans la colonne "**grandeurs**" les symboles des grandeurs entrés dans la Base de données des grandeurs.

La même chose est faite avec les symboles de la base de données des constantes pour la colonne "**Constantes**" (voir Figure 14 ci-dessous)

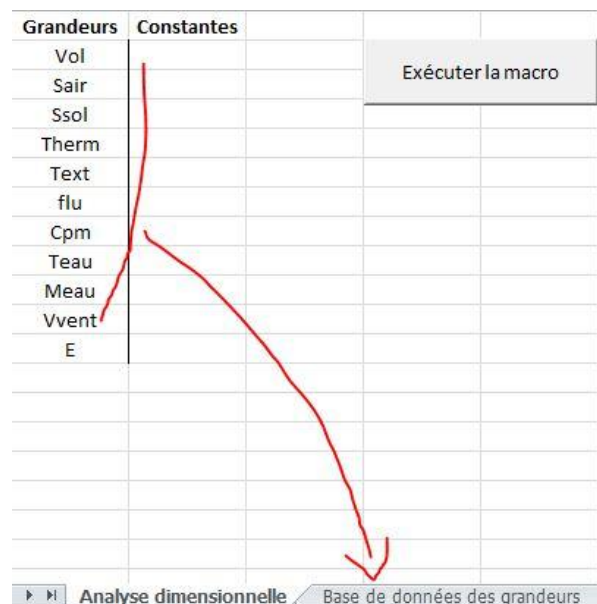


Figure 14: insertion des symboles des variables ou des constantes

7.5. Exécution de la macro

- Une fois ces paramètres listés, l'exécution de la macro est lancée en cliquant sur le bouton "Exécuter la macro". A ce moment l'utilisateur peut choisir la méthode d'analyse dimensionnelle basée soit sur les variables soit sur les constantes (voir Figure 15 ci-dessous).

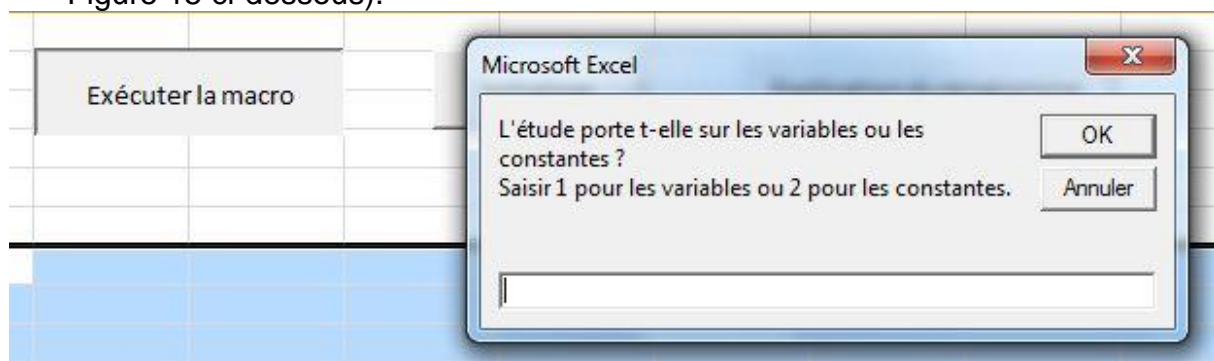


Figure 15: choix des variables ou des constantes

Au moment de la validation de la saisie de cette boîte de dialogue, deux contrôles sont effectués:

- Si par exemple l'utilisateur a saisi 1 pour faire une analyse sur les variables et que cette colonne est vide un message d'erreur apparaîtra. Il en sera de même si un 2 est entré alors que la colonne « Constantes » est vide.
- Le deuxième contrôle est effectué sur la syntaxe des variables ou des constantes entrées qui doivent correspondre à celles présentes dans leur base de données respective (voir Figure 16 ci-dessous).

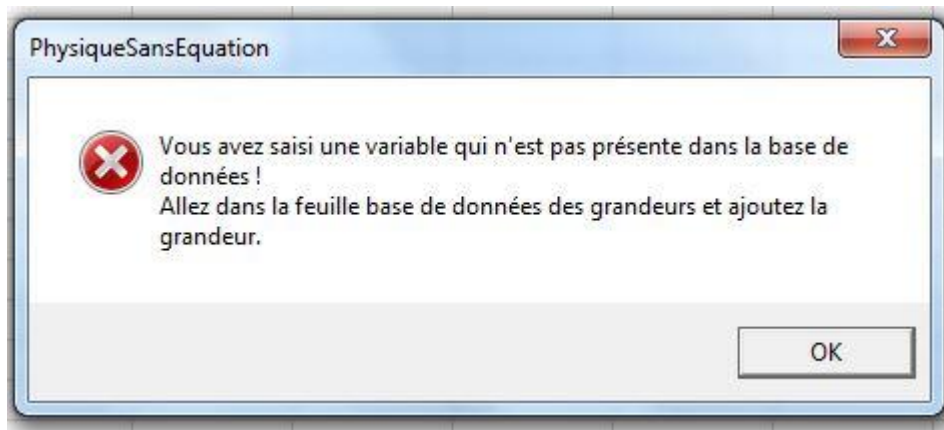


Figure 16: contrôle effectué sur la syntaxe des variables ou des constantes

L'utilisateur est ensuite guidé pendant toute l'utilisation de la macro par des boîtes de dialogue lui demandant d'entrer certaines informations:

- Ligne de la variable isolée. C'est la ligne de la variable ou de la constante pour laquelle on désire obtenir une réponse au problème posé (voir Figure 17 ci-dessous).

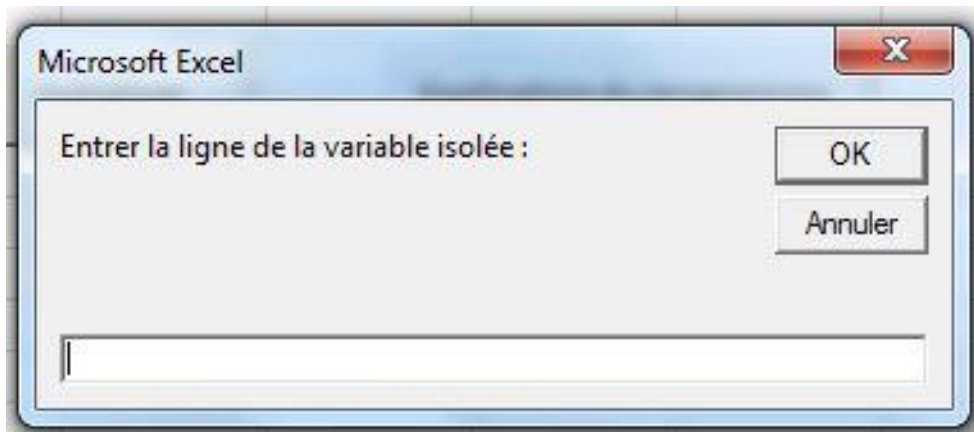


Figure 17: entrée de la variable isolée

- k parmi n . C'est le nombre de combinaison de fonctions possibles. Il faut poser pour trouver ce nombre les dimensions fondamentales de chaque paramètre (voir Figure 18 ci-dessous).

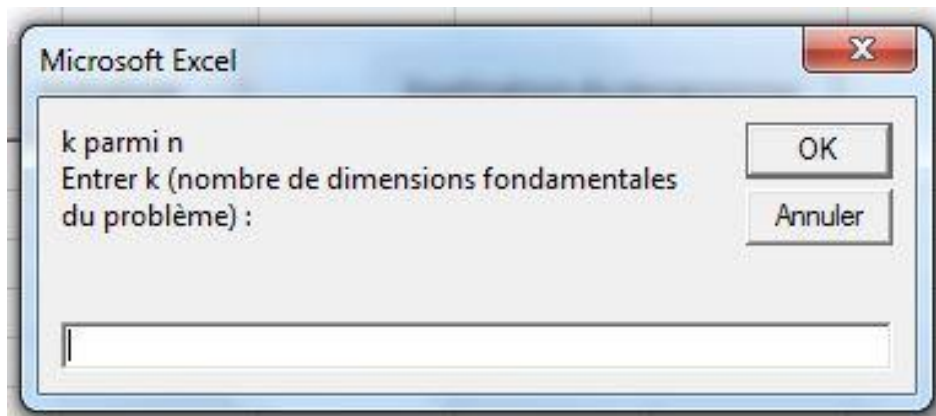


Figure 18: entrée du nombre de dimensions fondamentales

- L'écran suivant sert à indiquer le nombre de variables à prendre en compte (voir Figure 19 ci-dessous).

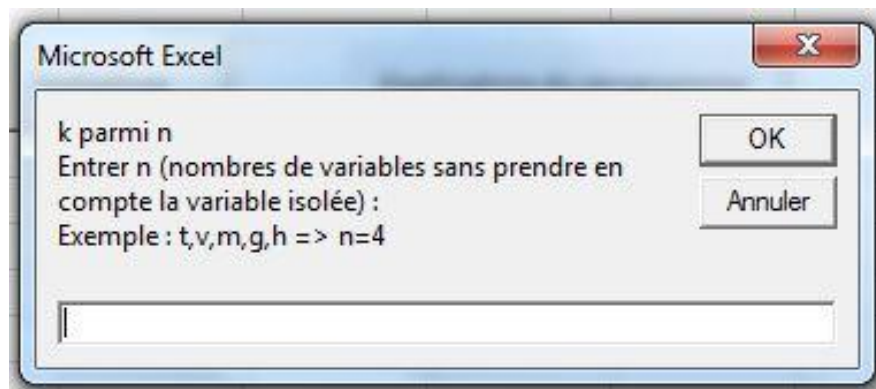


Figure 19: entrée du nombre de variables

Ce calcul: (k parmi n) sert à calculer le nombre de combinaisons différentes.

- La macro s'exécute ensuite et fait apparaître l'ensemble des résultats (voir Figure 20 ci-dessous).

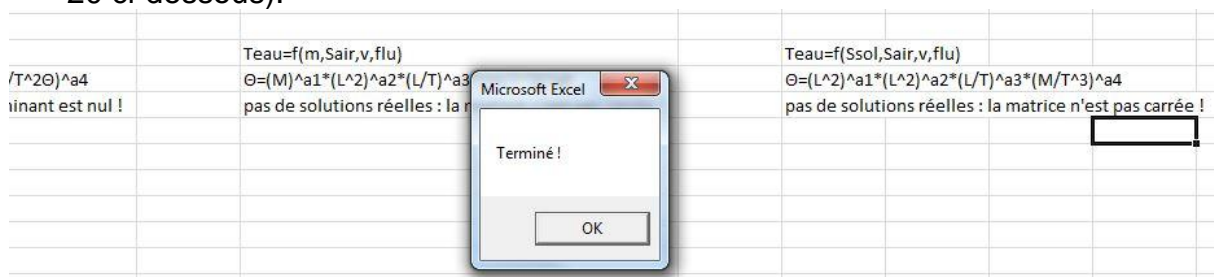


Figure 20: écran final une fois la macro exécutée

7.6. Aperçu du code

- Dans le Module 1 les variables *choixEtude* et *nbVariables* vont servir à déterminer les coordonnées des lignes et colonnes où il faudra aller récupérer les informations nécessaires aux calculs. Une procédure de contrôle permet de vérifier l'entrée des informations saisies (1 ou 2) dans la boîte de dialogue. Une autre procédure détermine la valeur de la variable *nbValeurs* qui détermine où se termine le tableau (voir Figure 21 ci-dessous).

```
While (choixEtude <> 1 And choixEtude <> 2)
    choixEtude = InputBox("L'étude porte t-elle sur les ")
Wend

nbVariables = 0
Cells(2, choixEtude).Select
While Not (IsEmpty(ActiveCell.Offset(nbVariables, 0)))
    nbVariables = nbVariables + 1
Wend
```

Figure 21: détermination des coordonnées où récupérer les informations

- La valeur entrée dans la valeur *choixEtude* détermine ensuite la feuille qui sera sélectionnée pour la recherche et la vérification de la syntaxe des grandeurs/constantes (voir Figure 22 ci-dessous)

```

If choixEtude = 1 Then
    For indGrandeur = 0 To nbVariables - 1
        i = 3
        'On recherche la variable dans la base de données des grandeurs
        While Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(i, 2).Value = ""
            i = i + 1
            If IsEmpty(Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(i, 2).Value) Then
                MsgBox "Vous avez saisi une variable qui n'est pas reconnue", vbExclamation, "Erreur de saisie"
                Exit Sub
            End If
        End While
    Next indGrandeur
End Sub

```

Figure 22: choix de la bonne feuille et contrôle de saisie

- On initialise les paramètres qui vont servir à créer les combinaisons (voir Figure 23 ci-dessous)

```

Dim j As Integer
Dim compteur As Integer
Dim indCombinaison As Integer
Dim choix As Integer
Dim IsPresent As Boolean
Dim combinaison() As Integer
ReDim combinaison(nbCombinaisons - 1, k - 1)

```

Figure 23: initialisation des paramètres pour les combinaisons

- La cellule où s'affichera la première analyse dans la feuille "Analyse dimensionnelle" est sélectionnée par les lignes de code suivantes:

```

Cells(7, 3).Value = "Fonctions :"
Cells(7, 4).Select

```

- Ensuite, en fonction du choix initial (1 pour Grandeur, 2 pour Constantes), on se rend dans la feuille désignée (fonction *Worksheets*) pour récupérer les grandeurs désignées, puis on affiche dans la cellule active de la feuille "Analyse dimensionnelle" le début du texte qui introduira chaque analyse: =f(

7.7. Procédure de création des combinaisons

[VVDD « ttes les combinaisons possibles parmi 8 chiffres »]

- Une fois une combinaison de grandeur initialisée (Voir Figure 24 ci-dessous), elle est créée (Voir Figure 25 ci-dessous), puis les grandeurs à l'intérieur de cette combinaison sont triées selon leur ordre d'apparition dans la colonne Grandeurs ou Constantes de la feuille "Analyse dimensionnelle" (voir Figure 26 ci-dessous)
- On vérifie ensuite si cette combinaison créée n'existe pas déjà (voir Figure 27 ci-dessous), auquel cas on ne l'affiche pas et on passe à la création d'une autre combinaison, sinon elle est affichée et on passe également à la création d'une autre combinaison (voir Figure 28 ci-dessous).

7.8. Quelques éléments de code

- Je compare la première variable k-1 car l'indice commence à 0 (*indGrandeur*) et non à 1 (voir Figure 25 ci-dessous).
- La première combinaison est affichée. A partir des combinaisons suivantes, on va à chaque fois vérifier, après l'avoir triée (voir Figure 26 ci-dessous), s'il elle est

identique (comparaison variable par variable) à une combinaison déjà créée (utilisation d'une boucle) (voir Figure 27 ci-dessous)

- Si elle est identique on ne l'affiche pas (la variable *compteur* s'incrémente dès qu'une même variable est reconnue dans 2 combinaisons - si compteur est égal au nombre de paramètres dans une combinaison c'est que les 2 combinaisons sont identiques) et la procédure de création d'une nouvelle combinaison est relancée (*Next* de la dernière ligne de Figure 28 ci-dessous).

```
For indCombinaison = 0 To nbCombinaisons - 1
    If choixEtude = 1 Then
        ActiveCell.Value = Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(tabC
    Else
        ActiveCell.Value = Worksheets("Base de données des constantes").Cells(tab
    End If
```

Figure 24: choix de la bonne feuille

```
For indGrandeur = 0 To k - 1
    Do
        choix = Int(nbVariables * Rnd)
        Loop While choix = variableIsolée - 2
        IsPresent = False
        For i = 0 To indGrandeur
            If combinaison(indCombinaison, i) = choix Then
                IsPresent = True
                Exit For
            End If
        Next
        If Not (IsPresent) Then
            combinaison(indCombinaison, indGrandeur) = choix
        Else
            indGrandeur = indGrandeur - 1
        End If
    Next
```

Figure 25: Création des combinaisons

```
For i = 0 To k - 1
    For j = i To k - 1
        If combinaison(indCombinaison, i) > combinaison(indCombinaison, j) Then
            Temp = combinaison(indCombinaison, j)
            combinaison(indCombinaison, j) = combinaison(indCombinaison, i)
            combinaison(indCombinaison, i) = Temp
        End If
    Next
Next
```

Figure 26: Tri des combinaisons

```
IsPresent = False
If indCombinaison <> 0 Then
    For i = 0 To indCombinaison - 1
        compteur = 0
        For indGrandeur = 0 To k - 1
            If combinaison(i, indGrandeur) = combinaison(indCombinaison, indGrandeur) Then
                compteur = compteur + 1
            End If
        Next
        If compteur = k Then
            IsPresent = True
            Exit For
        End If
    Next
End If
```

Figure 27: Vérification si la combinaison existe déjà

```

'On l'affiche ou pas
If Not (IsPresent) Then
    'On écrit la combinaison
    For indGrandeur = 0 To k - 1
        If indGrandeur <> 0 Then
            ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & ","
        End If
        If choixEtude = 1 Then
            ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & Worksheets("Ba:
        Else
            ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & Worksheets("Ba:
        End If
    Next
    ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & ")"
    ActiveCell.Offset(0, 2).Select
Else
    indCombinaison = indCombinaison - 1
End If
Next

```

Figure 28: Affichage ou non de la combinaison

- Sur la deuxième ligne du tableau on va inscrire les dimensions avec leur exposant associé, précédée de la dimension de la variable isolée (voir Figure 29 ci-dessous).

```

Dim colonne As Integer
Cells(8, 4).Select
For indCombinaison = 0 To nbCombinaisons - 1
    ActiveCell.Value = DimensionText(tabGrandeur(variab
    ActiveCell.Offset(0, 2).Select
Next

'Inscrit les dimensions avec leur exposant associé
Cells(8, 4).Select
For indCombinaison = 0 To nbCombinaisons - 1
    For indGrandeur = 0 To k - 1
        If indGrandeur <> 0 Then
            ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & "*"
        End If
        ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & Dimension
    Next
    ActiveCell.Offset(0, 2).Select
Next

```

Figure 29: Affichage des dimensions

7.9. Quelques éléments de calculs (on retrouvera les éléments du code en annexe)

Des matrices vont être utilisées pour résoudre les équations. Pour cela:

On va résoudre une équation matricielle du type: $AX=Y$, avec Y comme dimensions fondamentales de la grandeur recherchée. X représente les exposants $a_1, a_2, a_3, a_4, \dots$. A est une matrice. Chaque colonne de la matrice A représentant les coefficients qui sont devant les exposants. On va résoudre $X=Y/A$ (voir Figure 30 ci-dessous).

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \begin{matrix} L \\ M \\ t \end{matrix}$$

v g h X Y dimensions

Figure 30: Matrice $AX = Y$ de 3 lignes

- La fonction *Randomize* est initialisée. *Randomize* renvoie une valeur retournée par l'horloge système (qui change continuellement). Cela permet à la fonction *Rnd* de générer à chaque appel une nouvelle valeur. Ici elle va servir à générer un nombre aléatoire entre 0 et 1 pour créer les combinaisons de variable.
- On crée A et Y avec 7 lignes (7 correspondant aux 7 dimensions fondamentales) car on ignore encore les dimensions fondamentales qui entrent en jeu. Le nombre de colonne correspondant au nombre de paramètres qu'il y a dans chaque combinaison.
- On remplit A avec les dimensions des variables et Y avec la dimension de la variable isolée.
- On cherche les lignes de A qui sont toutes à zéro et on les supprime car cela signifie que la dimension relative à la ligne n'intervient pas dans l'analyse dimensionnelle.
Pour cela:
- On regarde si la ligne à toutes ses valeurs à zéro (voir Figure 31 ci-dessous)

```

For j = 0 To k - 1
    If A1(j, i) = 0 Then
        nbZero = nbZero + 1
    End If
Next

```

Figure 31: vérification valeurs 0

- On inverse ensuite les lignes de la matrice afin qu'Excel en lise la totalité puis on en diminue la taille.
- Sur Excel pour supprimer des lignes d'une matrice on déplace vers le bas (sous la dernière ligne de la matrice) la ligne que l'on veut supprimer et on redimensionne la matrice en supprimant les lignes inférieures (voir Figure 32 ci-dessous).

```

If nbZero = k And i <> 6 Then
    IsPresent = False
    For choix = i + 1 To 6
        For j = 0 To k - 1
            If A1(j, choix) <> 0 Then
                IsPresent = True
                Exit For
            End If
        Next
        If IsPresent = True Then
            Exit For
        End If
    Next
    If IsPresent Then
        For j = 0 To k - 1
            A1(j, i) = A1(j, choix)
            A1(j, choix) = 0
        Next
        Y(i) = Y(choix)
        Y(choix) = 0
    Else
        ReDim Preserve A1(k - 1, i - 1)
        ReDim Preserve Y(i - 1)
        Exit For
    End If
ElseIf nbZero = k And i = 6 Then
    ReDim Preserve A1(k - 1, i - 1)
    ReDim Preserve Y(i - 1)
    Exit For
End If

```

Figure 32: procédure de redimensionnement de la matrice

- ```
If UBound(A1, 1) <> UBound(A1, 2) Then
 ActiveCell.Offset(-1, -1).Value = "pas de solutions réelles : la matrice n'est pas carrée !"
 ActiveCell.Offset(k, 0).Select
Else
```

| Initialiser                            |                                                                                            |                                     |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
| $\sqrt{2/T^2\Theta}^{a3}(\Theta)^{a4}$ | $e=f(\text{Vol},m,v,\text{flu})$<br>$L^2M/T^2=(L^3)^{a1}*(M)^{a2}*(L/T)^{a3}*(M/T^3)^{a4}$ | $e=f(m,v,\text{Th})$<br>$L^2M/T^2=$ |
| valeurs                                | pas de solutions réelles : la matrice n'est pas carrée !                                   | pas de solu                         |
|                                        | 2                                                                                          |                                     |
|                                        | -1,5                                                                                       |                                     |
|                                        | 0,25                                                                                       |                                     |
|                                        | 2,25                                                                                       |                                     |
| $s^{-2}$                               |                                                                                            |                                     |

- Puis on la transpose.
- On l'inverse ensuite avec la méthode du pivot de Gauss. C'est une résolution mathématique très rapide pour la résolution par inversion des matrices. [VB Lover « Visual/Basic / VB.NET : 'Inversion de matrices – CodeS Sources' »]
- On calcul les solutions grâce à la fonction *CalculSolution*.
- Et on affiche les résultats.

### Advantages :

- Limites :

- Page 25/64

## 8. THEOREME PI

Nous allons appliquer le théorème pi à l'exemple du vortex (voir ANNEXE 2 : ANALYSE DIMENSIONNELLE 1, page 33). Nous allons suivre plusieurs étapes :

Énoncé théorème Pi :

« Théorème Pi: Une relation physique qui contient n variables dimensionnelles peut être réduite en une relation entre k variables adimensionnelles. La réduction  $j=n-k$  est inférieure ou égale au nombre de dimensions décrivant le problème » [UNIVERSITE DU QUEBEC « Mécanique des fluides »]

### 8.1. Nombre n et dimensions des paramètres décrivant le problème

Nous avons retenu 7 paramètres dimensionnés et nous avons 3 dimensions pour ce problème.

$\rho_{air}$ ,  $V_{air}$ ,  $\mu$ ,  $M_{avion}$ ,  $L$ ,  $I$ ,  $D_{vortex}$

### 8.2. Nombre de valeurs adimensionnés

On note k = nombre de valeurs adimensionnés

On note n= le nombre de paramètres dimensionnés du problème

On note j = le nombre de dimension du problème

On applique le théorème pi :  $k=n-j = 7-3=4$ , il faut établir 4 nombres adimensionnés.

On aura alors  $0 = f(k_1, k_2, k_3, k_4)$

### 8.3. Choix des paramètres qui représenteront j

Dans notre cas,  $j=3$ , il faut choisir 3 paramètres qui doivent représenter nos 3 dimensions (L, M et T).

Ces paramètres :

- a) doivent représenter toutes les dimensions du problème (on ne peut pas prendre 3 longueur par exemple).
- b) ne doivent pas contenir le paramètre recherché (ici  $D_{vortex}$ )
- c) ne doivent pas contenir deux fois la même dimension (par exemple on ne peut pas choisir L et I)
- d) ne doivent pas être adimensionnés.

On prendra soin de vérifier que le produit des dimensions des 3 paramètres ne s'adimensionnent pas.

Nous choisirons dans notre cas  $\rho_{air}$ ,  $V_{air}$ , et I

### 8.4. Détermination des k

Pour déterminer les k, on écrit les dimensions des 3 paramètres choisis puis pour chaque k on ajoute 1 paramètre non choisis (Différent à chaque fois) et on lui pondère un exposant =1.

$$k_1 = \rho_{air}^a V_{air}^b I^c \mu^1 = M^a L^{-3a} L^b T^{-b} L^c M^1 L^{-1} T^{-1}$$

Nous obtenons une résolution semblable aux deux premières méthodes.

$$(M) : 0 = a+1 \quad (1)$$

$$(L) : 0 = -3a+b+c-1 \quad (2)$$

$$(T) : 0 = -b-1 \quad (3)$$

On obtient  $a = -1$   $b = -1$  et  $c = -1$

On a donc  $k_1 = \mu / (\rho_{\text{air}} V_{\text{air}} l) = 1/Re$  où  $Re$  est le nombre de Reynolds, caractéristique des fluides.

Le nombre de Reynolds permet de déterminer la nature de l'écoulement d'un fluide, s'il est turbulent ou laminaire.

Lorsque  $Re = (\rho_{\text{air}} V_{\text{air}} l) / \mu$  est supérieur à 2000 (c'est-à-dire lorsque la viscosité du fluide  $\mu$  est faible – « parfaite »), l'écoulement est turbulent.

Lorsque, à l'inverse, il est inférieur à 2000 (c'est-à-dire lorsque la viscosité du fluide  $\mu$  est élevée), l'écoulement est laminaire [SCIENCE ÉTONNANTE. Le nombre de Reynolds | Science étonnante].

On applique la même méthode pour les autres  $k$  et on obtient :

$k_2 = D_{\text{vortex}} / l$  un rapport entre la longueur du vortex et la longueur de l'aile de l'avion.

$k_3 = M / (\rho_{\text{air}} l^3)$ , cette expression ressemble à celle de la poussée d'Archimède (Nous avons une masse, une masse volumique et une longueur au cube)

$k_4 = l/L$ , c'est le rapport entre la largeur de l'aile de l'avion et sa longueur.

### 8.5. Ecriture du résultat issu du théorème Pi

$$0 = f(1/Re, D_{\text{vortex}}/L, M/(\rho_{\text{air}} l^3), l/L)$$

Nous pouvons également ajouter le rayon d'incidence (nombre adimensionné).

Le théorème Pi ne nous donne pas une forme exacte de l'expression recherchée. Il permet néanmoins d'établir une fonction de nombres adimensionnés liés au problème.

Il permet d'appliquer des lois de similitudes. Comme il est difficile d'effectuer des tests à taille réelle (avion, bateau...), lors de la conception, les ingénieurs créent des maquettes pour pouvoir réaliser des essais à plus petite échelle, comme par exemple la stabilité d'un bateau vis-à-vis des vagues dans un bassin de tests des carènes, ou la stabilité d'un avion quand il traverse une zone de turbulence, où encore l'aérodynamisme d'un véhicule terrestre (essais en soufflerie). Le nombre de Reynolds adimensionné permet donc de simuler l'influence des fluides sur un matériau et une surface, à n'importe quelle échelle.

## 9. COMPARAISON

Dans cette partie, nous allons comparer le résultat trouvé lors de l'analyse dimensionnelle avec le résultat donné à partir des équations puis, comme tout ingénieur, nous allons créer une simulation avec le logiciel « No limit ».

Nous allons comparer les résultats de cette simulation au calcul effectué avec l'analyse dimensionnelle puis au résultat trouvé avec les équations.

### 9.1. Simulation

« No limit » est un logiciel utilisé par les professionnels de conception de coasters. Nous avons une version publique (moins de fonctions).

Voici (Figure 35 ci-dessous), l'un des aspects du logiciel.

Le but de cette simulation est de faire varier l'un des paramètres les plus importants dans un grand huit qui est adimensionné : l'angle de la parabole. Nous avons donc réalisé 3 paraboles que l'on peut considérer comme parfaite. Nous avons également réalisé des autres "bosses" pour montrer que la géométrie avait son importance. (voir Figure 36).

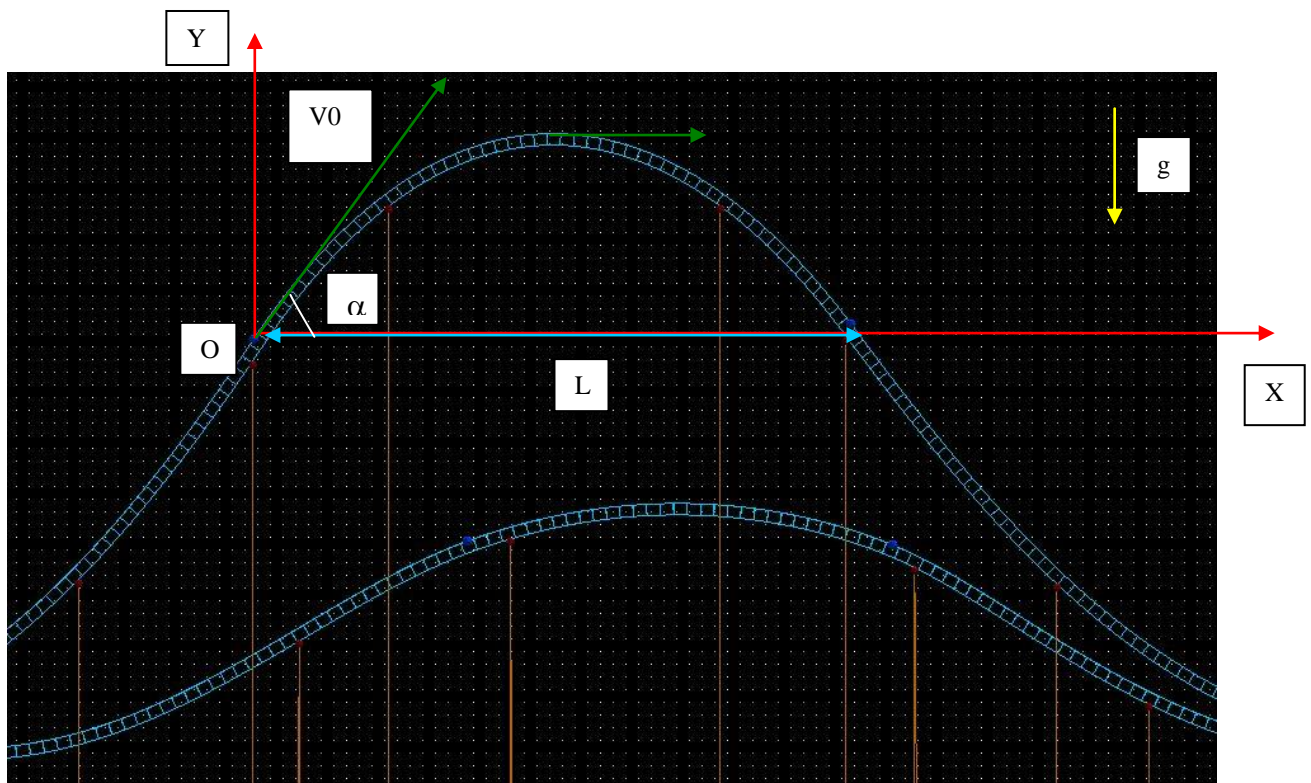


Figure 35: un des aspects du logiciel No limit

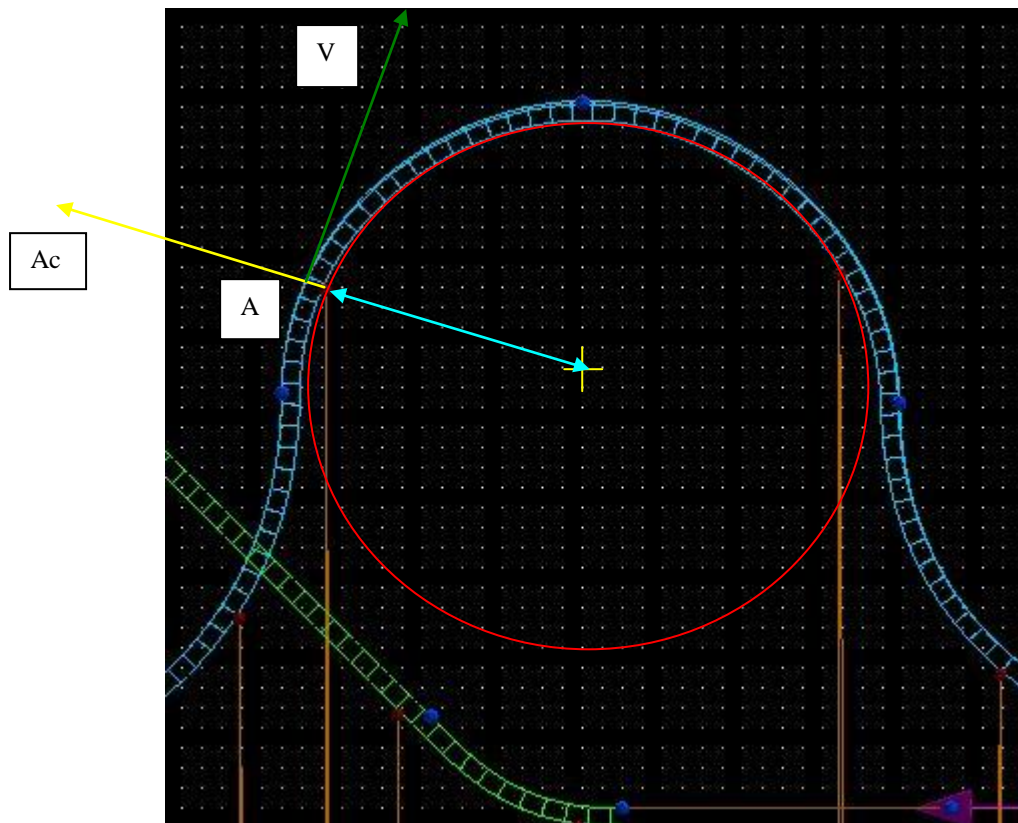


Figure 36: dessin d'une parabole avec No limit

## 9.2. Equation parabolique (voir Figure 35)

[CHIGNARD « L'impesanteur. La vie en impesanteur est-elle si formidable »] [NOVESPACE « apesanteur, missions d'observation »]

Nous supposons qu'une fois en apesanteur, les passagers ne seront soumis qu'à leur poids.

Il n'y a aucune force de frottement.

O correspond au centre du repère

$V_0$  est la vitesse au moment où les passagers commencent à être en état d'apesanteur.

$L$  = la distance entre le début et la fin de l'apesanteur (parabole parfaite sans frottement)

Nous posons de simples équations

$$a_x = 0 \Rightarrow v_x(t) = C_1 \text{ ici à } t=0 \text{ } v_x(t) = V_0 \cos \alpha$$

$$a_y = -g \Rightarrow v_y(t) = -gt + C_2 \text{ à } t=0 \text{ } C_2 = V_0 \sin \alpha$$

$$v_x(t) = V_0 \cos \alpha$$

$$v_y(t) = -gt + V_0 \sin \alpha$$

$$x(t) = V_0 \cos \alpha \cdot t + C_3 \text{ et ici } C_3 = 0 \text{ à } t = 0$$

Nous allons nous intéresser à cette équation pour déterminer  $t$

$$t = L / (V_0 \cos \alpha)$$

### 9.3. Comparaisons

Nous allons nous concentrer sur les 3 paraboles "parfaites".

| Analyse dimensionnelle<br>( $t=h/V_0$ ) | Equation<br>( $t=L/V_0\cos\alpha$ ) | Simulation |
|-----------------------------------------|-------------------------------------|------------|
| $T=50/22=2.25s$                         | $T=50/(22\times\cos 45)=3.18s$      | $T=3s$     |
| $T=10/26.4=0.4s$                        | $T=40/(26.4 \times \cos 25)=1.8s$   | $T=2s$     |
| $T=5/27.8=0.18s$                        | $T=30/(27.8 \times \cos 10)=1s$     | $T=1s$     |

Nous avons choisi des vitesses et des longueurs qui sont assez proches pour montrer que l'angle d'inclinaison de la parabole avait une grande importance. L'apesanteur dans un coaster a une durée assez courte mais les ingénieurs font en sorte d'augmenter cette durée (et même d'une seconde c'est déjà énorme).

### 9.4. Remarques

Les autres bosses qui ne sont pas de parfaites paraboles ont une influence surtout sur la valeur de la force qui produit l'éjection du passager. Cependant cette durée est d'autant plus courte que la vitesse est élevée et que la hauteur est faible.

En effet si on se réfère au point A de la Figure 36, d'après le logiciel nous atteignons une valeur de "-3g", cette valeur est maintenue pendant 0.25 s. On obtient très rapidement une plus faible valeur (-0.4g).

Nous pouvons vérifier cette valeur en considérant que l'on peut tracer un cercle tangent à la trajectoire de la bosse de la Figure 36, on peut appliquer ainsi la relation qui lie accélération centripète, vitesse et rayon.

Nous obtenons  $A_c=-V^2/R =21^2/15=-29.4m/s^2$ . On a donc bien la valeur "-3g"  $=29,43m/s^2$ .

Le dilemme des concepteurs de coasters est de trouver le meilleur rapport entre la force et la durée de l'apesanteur pour donner aux passagers le maximum de sensations tout en respectant les normes (Interdiction au delà de -2g) [FLEURENT Patrice « Entretien privé »].

## 10. METHODES D'ANALYSES DIMENSIONNELLES : AVANTAGES/INCONVENIENTS

| Méthodes      | Avantages                                                                                                                                                                            | Inconvénients                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Paramètres | <ul style="list-style-type: none"><li>– Paramètres imposés intuitifs ;</li><li>– Résultats dimensionnellement homogènes ;</li><li>– Ordre de grandeur correct du résultat.</li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>– Ne prend pas en compte les paramètres adimensionnés ni géométriques.</li></ul>                                                                                                            |
| 2. Constantes | <ul style="list-style-type: none"><li>– Résultats dimensionnellement homogènes.</li></ul>                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"><li>– Ne prend pas en compte les paramètres adimensionnés ni géométriques ;</li><li>– Constantes difficiles à choisir</li><li>– Ordre de grandeur trouvé soit infiniment grand/petit.</li></ul> |

## 11. CONCLUSION

L'analyse dimensionnelle est un outil certes puissant mais qui connaît des limites.

Comme nous avons pu le voir durant tout ce projet, l'analyse dimensionnelle ne prend pas en compte ni les paramètres adimensionnés ni l'aspect géométrique. Nous l'avons constaté en réalisant la simulation du coaster.

Les résultats de l'analyse dimensionnelle ne nous représentent qu'un ordre de grandeur (plus ou moins élevé par rapport à la réalité). Nous l'avons bien vu avec l'exemple de la voiture, avec l'analyse dimensionnelle 1 nous trouvons un résultat d'environ 1m alors qu'avec l'équation physique nous trouvons environ 24m.).

Avec l'analyse dimensionnelle 2 nous trouvons soit des résultats infiniment petits soit infiniment grands. Cette 2ème méthode est particulière car nous utilisons des constantes physiques pour étudier nos problèmes ce qui explique ces différences entre l'infiniment petit et l'infiniment grand.

Monsieur Panicaud a rendu ce sujet encore plus intéressant du fait que nous avons choisi nos propres problèmes pour appliquer les différentes méthodes.

TITS nous a appris à gérer un grand projet, indispensable dans le métier d'ingénieur.

Nous avons déjà fait une UV de conduite de projet MM01 et TITS nous a permis de mettre en application ce que nous avons vu en MM01.

Nous avons donc réalisé un diagramme de Gantt pour avoir une vision globale des différentes tâches à réaliser (voir ANNEXE 1 : DIAGRAMME DE GANTT INITIAL ET FINAL, page 32). Puis à la fin du projet nous avons modifié notre premier diagramme de Gantt.

Nous pouvons constater que nous avons globalement respecté notre organisation initiale.

Cependant on peut noter quelques différences : nous avons peut être passé beaucoup de temps sur la première méthode de l'analyse dimensionnelle. Nous pensions également terminer le rapport pendant les vacances mais la date a été avancée.

Cette UV nous a également permis d'appliquer nos connaissances sur les matrices, pour créer un programme en VBA.



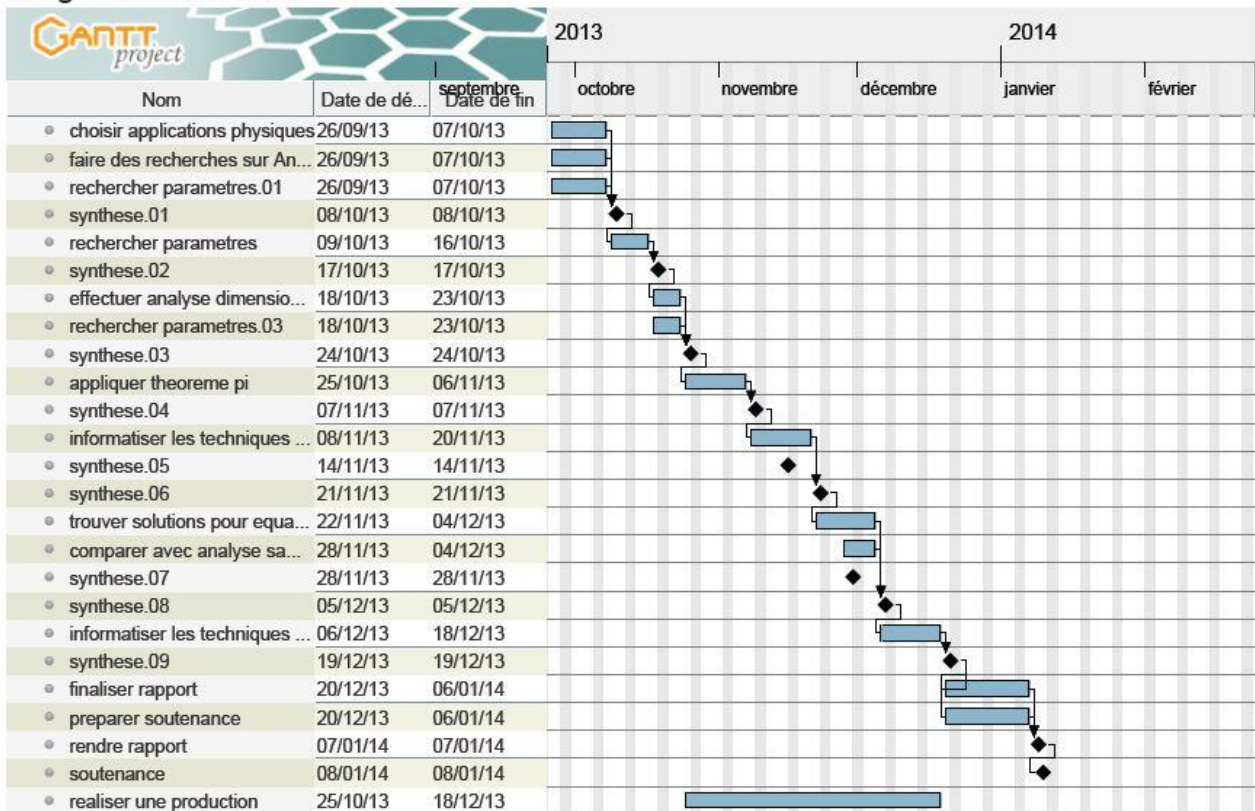
## 12. ANNEXE 1 : DIAGRAMME DE GANTT INITIAL ET FINAL

Untitled Gantt Project

19 déc. 2013

Diagramme de Gantt

4

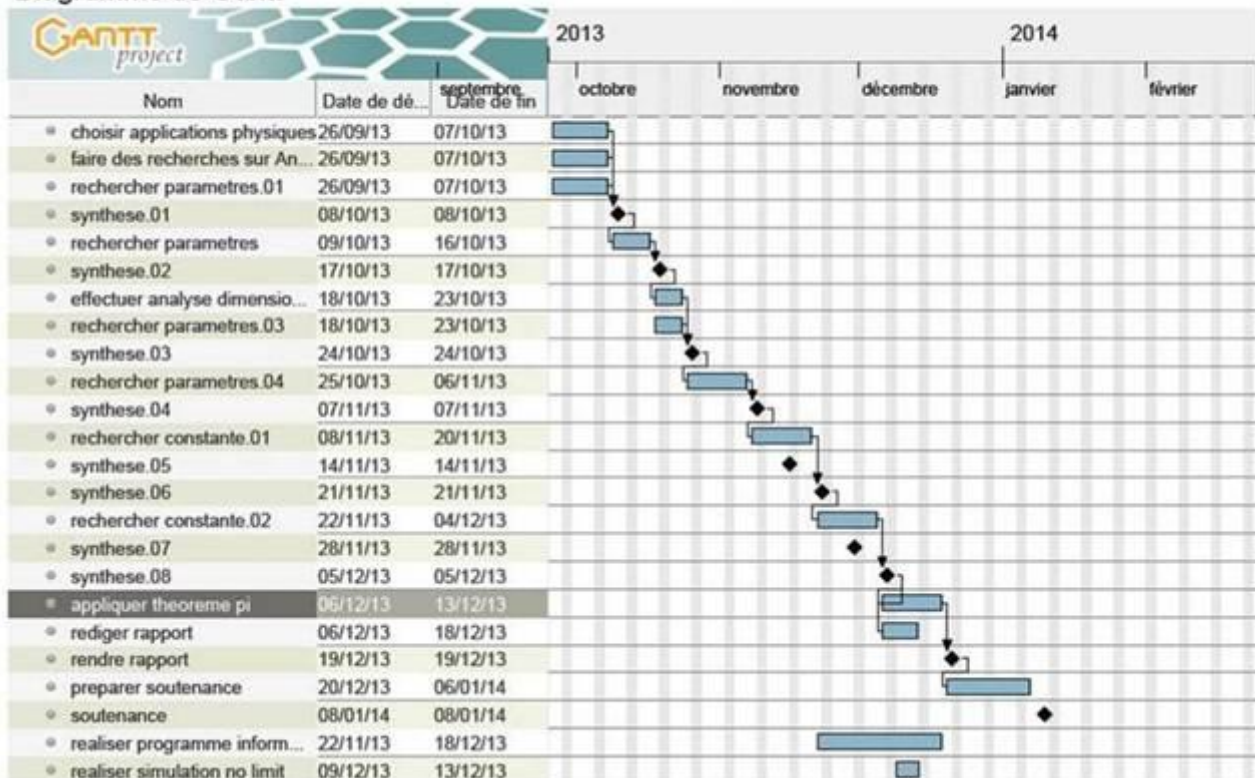


Untitled Gantt Project

18 déc. 2013

Diagramme de Gantt

4





## 13. ANNEXE 2 : ANALYSE DIMENSIONNELLE 1

**Vortex avion** [WIKIPEDIA « Tourbillon marginal »] [MINIX « Minix – les avions et le vortex »] [UNIVERSITE DU QUEBEC « Mécanique des fluides »]

### 1. Vitesse de l'avion

- Vitesse du vent et de l'angle du vent, qualité du vent (turbulent, laminaire), direction du vent
- angle incident de l'aile => Plus l'incidence augmente plus l'écoulement sera turbulent. (voir Figure 37 ci-dessous) [MECAFLUX « ailes calcul d'une aile suivant son profil incidence vitesse »]

### 2. Viscosité des fluides (nombre de Reynolds) [WIKIPEDIA « Viscosité des fluides »]

- masse volumique de l'air

### 3. Aile de l'avion [HOERNER « Viscosité des fluides »] [LE SITE D'EOLE « Les principes aérodynamiques »]

- Profil de l'aile (vue en coupe goutte d'eau)
- Forme de l'aile en plan (vue de dessus)
- Allongement (longueur transversale) de l'aile par rapport à sa largeur => Rapport de la longueur de l'aile sur sa largeur
- Vrillage de l'aile à l'extrémité de l'aile plus en plus plate => réduction de la traînée

### 4. Masse de l'avion

### 5 Altitude

### 6. Hygrométrie

### 7. Type de matériau : métal (alu)

- Rugosité des matériaux de construction
- Qualité de la construction

Pour simplifier notre application nous supposerons qu'il n'y pas de vent au moment de l'atterrissage donc le vent apparent ressenti par l'avion sera égale à la vitesse de l'avion lors de l'atterrissage.

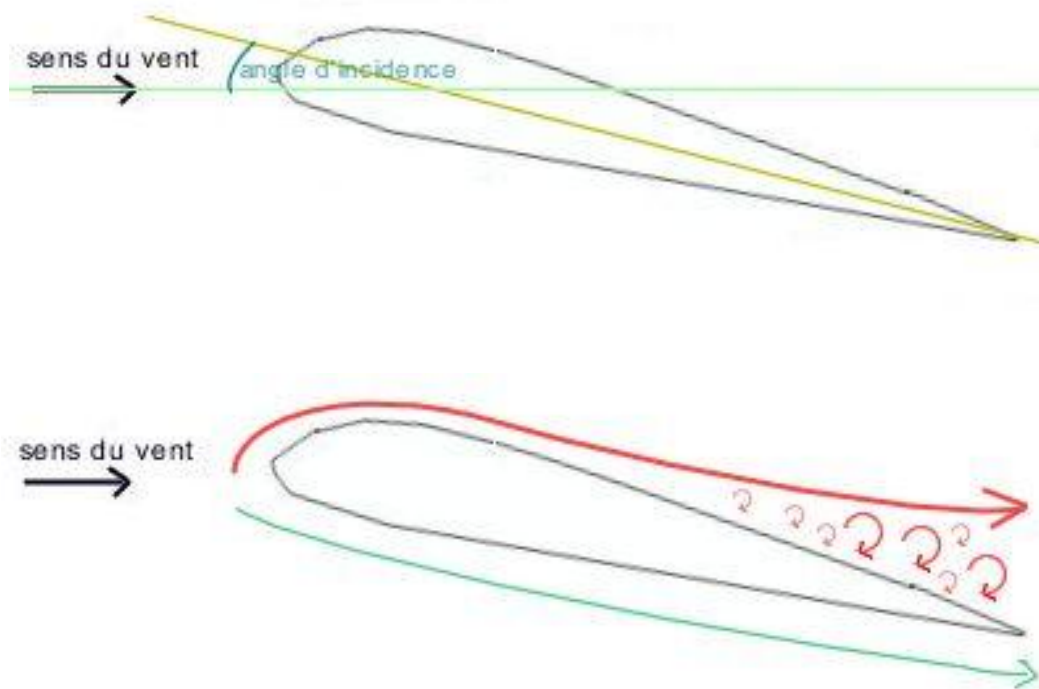
L'étude commence à l'atterrissage, autrement dit l'altitude  $z=0\text{m}$ . Nous enlevons également tous les paramètres adimensionnés.

Donc nous travaillerons sur les paramètres suivants :

1. Masse volumique de l'air :  $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg/m}^3 \Rightarrow \text{M.L}^{-3}$
2. Vitesse du vent apparent à l'atterrissage  $= V_{\text{air}} = 450\text{km/h} = 125\text{m/s} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$
3. Viscosité air  $= \mu = 1.9 \times 10^{-5} \text{ Pa.s} \Rightarrow \text{M.L}^{-1}\text{T}^{-1}$
4. Masse  $M = 140\,000\text{kg} \Rightarrow \text{M}$
5. Longueur aile  $L = 40\text{m} \Rightarrow \text{L}$
6. Largeur aile  $I = 8\text{m} \Rightarrow \text{L}$

Nous retrouvons dans notre problème 3 dimensions fondamentales : L, M, et T et nous avons 6 paramètres retenus. Il y a donc 3 dimensions fondamentales parmi 6 grandeurs physiques.

Nous effectuons le calcul de probabilité suivant :  $6! / (3!(6-3)!)=20$



**Figure 37: angle d'incidence**

$$D1 = L = 40\text{m}$$

$$D2 = l = 8\text{m}$$

$$D3 = \rho_{\text{air}}^{-1/3} \times M^{1/3} = 48,86\text{m}$$

## **Coaster** [WARDLEY « Creating my own Nemesys »]

1. Vitesse au moment où le corps est en apesanteur
2. Forme de la parabole (hauteur, longueur, angle d'inclinaison, géométrie de la parabole)
3. Masse du train
  - Masse des passagers
4. Durée Accélération G-
5. Température externe
  - Hygrométrie
6. Surface de prise au vent
  - Forme du wagon (résistance à l'air)
  - Rugosité de surface du revêtement du wagon
  - Vitesse, angle et qualité (turbulent, laminaire) du vent
7. Type de support (acier contre acier, acier contre nylon)
8. Type de roues
  - Qualité des roulements
  - Propriétés des composants
  - Usure d'utilisation
9. Respect des réglementations légales quant aux G- et retour en G+

Pour simplifier nos résultats, on commencera l'étude lorsque les passagers seront en apesanteur autrement.

Nous pouvons négliger pour cette courte durée d'apesanteur les forces de frottement, résistance à l'air. Nous enlevons également tous les paramètres adimensionnés.

coefficient de pesanteur  $g=9,8\text{m/s}^2 \Rightarrow L/T^{-2}$

vitesse au moment où le corps est en apesanteur  $V_i \Rightarrow L/T^{-1}$

$M$  = masse du train et des passagers

$h$  = hauteur de la parabole

$V_i$ ,  $M$ ,  $h$  dépendent du coaster en lui même.

**Chauffage piscine** [CASTEL Lucie « Comment bien choisir Etape par Etape »] [WHENNI Jean-Marc « Quel type de piscine choisir ? »] [CHATELAIN Antoine « Chauffage piscine (PAC ou Solaire) »]

1. Volume d'eau

- Masse d'eau
- Masse volumique/densité

2. Surface d'échange (eau-sol et eau-air)

- Conduction (transferts thermiques eau-sol)/Convection (eau-air) (vitesse du vent, densité de l'air, qualité du vent)
- Radiation : taux d'ensoleillement, composition atmosphérique, inclinaison et orientation du soleil, flux solaire (activité solaire), distance par rapport au soleil, météo (ensoleillé, nuage...).
- Capacité calorifique massique de l'eau.

3. Intérieur/extérieur de l'habitation

- Enterrée ou hors-sol
- Couverture ou non et type (bâche, écran)

4. Type d'eau utilisée (mélangée à produits sanitaires, pH)

5. Emplacement géographique (latitude, longitude, altitude)

- Température extérieure

6. État physique (évaporation)

7. Moyen de chauffage : pompe à chaleur, résistance électrique, chauffe-eau gaz, fuel, solaire...

Prenons un exemple d'une piscine ayant les dimensions suivantes  $L=8\text{m}$ , Hauteur =  $2\text{m}$  et largeur  $4\text{m}$  (voir Figure 38 ci-dessous)

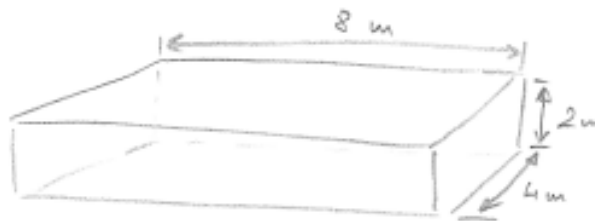


Figure 38: dimensions piscines

Nous considérons que la piscine est enterrée, qu'il fait beau.

Le chlore est sensible aux variations de pH.

Plus le pH est élevé, moins le chlore est efficace. Il est conseillé d'avoir  $7.2 < \text{pH} < 7.4$ .

Comme le pH, plus la température est élevée moins le chlore est efficace. Il est conseillé d'avoir  $18^\circ\text{C} < T^\circ < 25^\circ\text{C}$ .

Nous allons donc choisir  $T_{\text{eau}} = 22^\circ\text{C} = 295\text{K}$

Devons nous choisir l'ordre de grandeur du flux à la surface de la Terre ou du flux émis par le soleil ?

Si nous choisissons le flux émis par le soleil, il faudra prendre en compte un nouveau paramètre qui est la distance Terre/ Soleil  $D_{\text{moy}} = 150\,000\,000\text{ km}$ .

Comme le montre le schéma ci dessous la Terre se déplace autour du Soleil en suivant une trajectoire elliptique, en hiver la Terre est plus proche du soleil, en été la Terre est plus éloignée (voir Figure 39 ci-dessous).

Pour simplifier notre étude nous avons décidé alors de choisir le flux solaire moyen à la surface terrestre ( $1400\text{W/m}^2$ ) [WIKIPEDIA « Rayonnement solaire »]

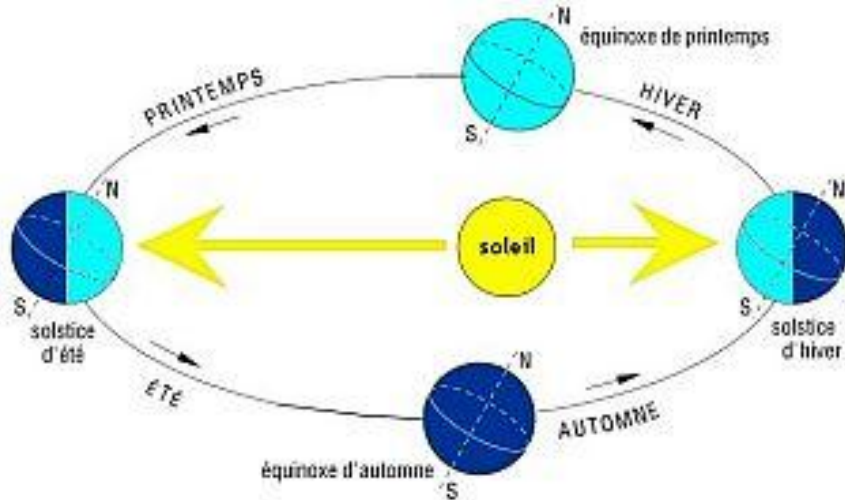


Figure 39: mouvement de la terre autour du soleil

masse volumique eau  $\rho_{\text{eau}} = 1000\text{kg/m}^3 \Rightarrow \text{M.L}^{-3}$

masse volumique air  $\rho_{\text{air}} = 1.2\text{kg/m}^3 \Rightarrow \text{M.L}^{-3}$

Surface d'échange air / eau =  $32\text{m}^2 \Rightarrow \text{L}^2$

Surface d'échange eau / sol =  $48\text{m}^2 \Rightarrow \text{L}^2$

Vitesse du vent =  $10\text{km/h} = 2.8\text{m/s} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$

Température ext =  $298\text{K} \Rightarrow \text{K}$

$T_{\text{eau}} = 295\text{K} \Rightarrow \text{K}$

Capacité calorifique massique de l'eau =  $4185\text{ J/(kg.mol)} \Rightarrow \text{M}^2\text{T}^{-2}\text{K}^{-1}$

conductivité thermique du béton =  $2.20\text{ W/(m.K)} \Rightarrow \text{LMT}^{-3}\text{K}^{-1}$

flux solaire moyen à la surface terrestre =  $1400\text{W/m}^2 \Rightarrow \text{T}^{-3}$

210 combinaisons possibles

$E_1 = \text{flux}^{2/3} \times \text{masse eau}^{1/3} \times S_{\text{air}} = 160187,51\text{ J}$

**Télécommande** [WIKIPEDIA « Télécommande »] [MALLARD Rémy « Electronique – Bases - Télécommandes »]

1. Fréquence /pulsation du signal [WIKIPEDIA « Fréquence »]
2. Type (infrarouge, ultrason, hertzienne) [WIKIPEDIA « Onde radio »]
  - Type de modulation (PPM, PCM)
3. Absorption (Loi de Beer-Lambert) [WIKIPEDIA « Loi de Beer-Lambert »] [WIKIPEDIA « Coefficient d'absorption »]
  - Perturbations possibles (obstacle électromagnétique)
  - Facteurs environnementaux (température, humidité)
4. Type d'alimentation électrique (puissance)
5. Utilisation particulière (ouverture d'un portail électrique)
6. Émetteur-récepteur (renvoi du signal pour prévenir l'ouverture du portail)

Détails sur le coefficient d'absorption

On utilise la loi de Beer Lambert appliquée aux ondes électromagnétiques.

$$P(x) = P_0 \exp(-ax)$$

$P_0$  = Puissance initiale.  $a$  = coefficient d'absorption

$$P > P_s$$

$P_s$  = Puissance seuil

$P_s = P(l) = P_0 \exp(-al)$  avec «  $l$  » la longueur minimum pour atteindre le portail électrique et «  $a$  » le coefficient d'absorption qui dépend de la longueur d'onde et de la température.

1. Pulsation  $\omega = 1.88 \times 10^9 \text{ rad/s} \Rightarrow \text{T}^{-1}$
2. Puissance  $P = 10\text{W} \Rightarrow \text{ML}^2\text{T}^{-3}$
3. Puissance seuil =  $P_s = 5\text{W} \Rightarrow \text{ML}^2\text{T}^{-3}$
4. Température extérieure  $293 \text{ K} \Rightarrow \text{K}$
5. Coefficient d'absorption pour le béton ordinaire =  $0.15 \text{ cm}^{-1} \Rightarrow \text{L}^{-1}$

10 combinaisons possibles

Portée = 0.07m

## 14. ANNEXE 3 : ANALYSE DIMENSIONNELLE METHODE 2

### Télécommande

#### **GROUPE 1**

Rayon de Bohr :  $a_0 = 0,52919 \cdot 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$

Perméabilité du vide :  $\mu_0 = 12,56637 \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1} (\text{kg.m.A}^{-2}.\text{s}^{-2}) \Rightarrow \text{M.L.A}^{-2}.\text{T}^{-2}$

Permittivité du vide :  $\epsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1} \Rightarrow \text{A}^2.\text{T}^4.\text{M}^{-1}.\text{L}^{-3}$

Constante de Planck :  $h = 6,62617 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} (\text{kg.m}^2.\text{s}^{-1}) \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-1}$

Célérité de la lumière :  $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$

Charge élémentaire :  $e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ C} \Rightarrow \text{A.T}$

Conditions de température ambiante (20°C) :  $T_a \Rightarrow \text{K}$

#### **GROUPE 2**

Constante de Boltzmann :  $k_B = 1,38065 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Constantes sélectionnées :

1. Rayon de Bohr :  $a_0 = 0,52919 \cdot 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$
2. Perméabilité du vide :  $\mu_0 = 12,56637 \cdot 10^{-7} \text{ H.m}^{-1} (\text{kg.m.A}^{-2}.\text{s}^{-2}) \Rightarrow \text{M.L.A}^{-2}.\text{T}^{-2}$
3. Permittivité du vide :  $\epsilon_0 = 8,85419 \cdot 10^{-12} \text{ F.m}^{-1} \Rightarrow \text{A}^2.\text{T}^4.\text{M}^{-1}.\text{L}^{-3}$
4. Constante de Planck :  $h = 6,62617 \cdot 10^{-34} \text{ J.s} (\text{kg.m}^2.\text{s}^{-1}) \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-1}$
5. Célérité de la lumière :  $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$
6. Charge élémentaire :  $e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ C} \Rightarrow \text{A.T}$
7. Conditions de température ambiante (20°C) :  $T_a \Rightarrow \text{K}$

### Application de la méthode 2

5 dimensions (L, M, T, K, A) et 7 constantes : 42 combinaisons

On choisit le groupe de constantes suivant :  $T_a, h, c, e, \mu_0$ .

$D1 = (1/e) \times \text{rac}(h c / \mu_0)$

Application numérique :  $D1 = 2,48155 \cdot 10^9 \text{ m}$

## Vortex avionique

### **GROUPE 1**

Célérité de la lumière :  $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$

Masse nucléon :  $m_n = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$

Accélération de la pesanteur :  $g_0 = 9,80665 \text{ m.s}^{-2} \Rightarrow \text{L.T}^{-2}$

Rayon de Bohr :  $a_0 = 0,52919 \cdot 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$

Pression standard de l'atmosphère :  $\text{atm} = 101\,325 \text{ Pa} \Rightarrow \text{M.L}^{-1}.\text{T}^{-2}$

### **GROUPE 2**

Constante de Boltzmann :  $k_B = 1,38065 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Température de vaporisation de l'eau :  $T_0 = 373 \text{ K} \Rightarrow \text{K}$

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,3144 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Masse de la Terre :  $M_T = 5,9736 \cdot 10^{24} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$

Constante gravitationnelle :  $G = 6,6742 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2} \Rightarrow \text{L}^3.\text{M}^{-1}.\text{T}^{-2}$

Rayon de la Terre :  $R_T = 6378,14 \text{ km} \Rightarrow \text{L}$

Constantes sélectionnées :

Célérité de la lumière :  $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$

Masse nucléon :  $m_n = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$

Accélération de la pesanteur :  $g_0 = 9,80665 \text{ m.s}^{-2} \Rightarrow \text{L.T}^{-2}$

Rayon de Bohr :  $a_0 = 0,52919 \cdot 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$

Pression standard de l'atmosphère :  $\text{atm} = 101\,325 \text{ Pa} \Rightarrow \text{M.L}^{-1}.\text{T}^{-2}$

### Application de la méthode 2

3 dimensions (L, M, T) et 5 constantes : 10 combinaisons

On choisit le triplet suivant :  $g_0$ , atm, c

$D1 = 3 \text{ rac}(g_0 / c^2)$

Application numérique :

$D1 = 209\,269,9691 \text{ m}$



## Coaster

### **GROUPE 1**

Célérité de la lumière :  $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$

Masse nucléon :  $m_n = 1,7.10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$

Rayon de Bohr :  $a_0 = 0,52919.10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$

Accélération de la pesanteur :  $g_0 = 9,81 \text{ m.s}^{-2} \Rightarrow \text{L.T}^{-2}$

### **GROUPE 2**

Masse de la Terre :  $M_T = 5,9736.10^{24} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$

Constante des gaz parfaits :  $R = 8,3144 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$

Pression standard de l'atmosphère :  $\text{atm} = 101\,325 \text{ Pa} \Rightarrow \text{M.L}^{-1}.\text{T}^{-2}$

Constante gravitationnelle :  $G = 6,6742.10^{-11} \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}.\text{s}^{-2} \Rightarrow \text{L}^3.\text{M}^{-1}.\text{T}^{-2}$

Conditions de température ambiante (20°C) :  $\text{temp} \Rightarrow \text{K}$

Rayon de la Terre :  $R_T = 6378,14 \text{ km} \Rightarrow \text{L}$

Constantes sélectionnées :

1. Célérité de la lumière :  $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$

2. Masse nucléon :  $m_n = 1,7.10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$

3. Rayon de Bohr :  $a_0 = 0,52919.10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$

4. Accélération de la pesanteur :  $g_0 = 9,81 \text{ m.s}^{-2} \Rightarrow \text{L.T}^{-2}$

### Application de la méthode 2

3 dimensions (L, T, M) et 4 constantes : 4 combinaisons

On choisit le groupe de constantes suivant : c,  $m_n$ ,  $g_0$ .

$T1 = c/g_0$

Application numérique :

$T1 = 30559883,59\text{s}$

## Chauffage Piscine

### **GROUPE 1**

Constante de Boltzmann :  $k_B = 1,38065 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}$

Conditions de température ambiante (20°C) : temp  $\Rightarrow \text{K}$

Constante de Stefan-Boltzmann :  $\sigma = 5,67037 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4} \Rightarrow \text{M.T}^{-3}.\text{K}^{-4}$

Constante solaire :  $C_s = 1360 \text{ W/m}^2 \Rightarrow \text{MT}^{-3}$  [WIKIPEDIA « Constante solaire »]

Pression standard de l'atmosphère : atm = 101 325 Pa  $\Rightarrow \text{M.L}^{-1}.\text{T}^{-2}$

Masse neutron :  $m_N = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$

Rayon de Bohr :  $a_0 = 0,52919 \cdot 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$

### **GROUPE 2**

Célérité de la lumière :  $c = 299\,792\,458 \text{ m.s}^{-1} \Rightarrow \text{L.T}^{-1}$

Rayon de la Terre :  $R_T = 6378,14 \text{ km} \Rightarrow \text{L}$

Masse de la Terre :  $M_T = 5,9736 \cdot 10^{24} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$

Constante de Planck :  $h = 6,62617 \cdot 10^{-34} \text{ J.s (kg.m}^2.\text{s}^{-1}) \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-1}$

Nombre d'Avogadro :  $N_A = 6,02204 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1} \Rightarrow \text{mol}^{-1}$

Charge élémentaire :  $e = 1,60219 \cdot 10^{-19} \text{ C} \Rightarrow \text{A.T}$

Constantes sélectionnées :

1. Constante de Boltzmann :  $k_B = 1,38065 \cdot 10^{-23} \text{ J.K}^{-1} \Rightarrow \text{M.L}^2.\text{T}^{-2}.\text{K}^{-1}$
2. Conditions de température ambiante (20°C) : temp  $\Rightarrow \text{K}$
3. Constante de Stefan-Boltzmann :  $\sigma = 5,67037 \cdot 10^{-8} \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-4} \Rightarrow \text{M.T}^{-3}.\text{K}^{-4}$
4. Constante solaire :  $C_s = 1360 \text{ W/m}^2 \Rightarrow$
5. Pression standard de l'atmosphère : atm = 101 325 Pa  $\Rightarrow \text{M.L}^{-1}.\text{T}^{-2}$
6. Masse neutron :  $m_N = 1,675 \cdot 10^{-27} \text{ kg} \Rightarrow \text{M}$
7. Rayon de Bohr :  $a_0 = 0,52919 \cdot 10^{-10} \text{ m} \Rightarrow \text{L}$

### Application de la méthode 2

4 dimensions (L, T, M, K) et 7 constantes : 35 combinaisons

$$E1 = a_0^3 \times P_0 = 1.508 \cdot 10^{-26} \text{ J}$$

## 15. ANNEXE 4 : CODE DU PROGRAMME

### Module

1

Une grandeur est une variable ayant une dimension

Private Type grandeur

variable As Integer

dimension(6) As Double '6 car il y a 7 dimensions de base

ordreGrandeur As Double

End Type

'Ma macro

Private Sub PhysiqueSansEquation()

Worksheets("Analyse dimensionnelle").Activate

On Error GoTo NotValidInput

Range(Cells(7, 3), Cells(15, 255)).Select

Selection.Clear

Selection.Columns.ColumnWidth = 10.71

'Cells.Clear

'On détermine le nombre de variables

Dim nbVariables As Integer

Dim choixEtude As Integer

choixEtude = 0

While (choixEtude <> 1 And choixEtude <> 2)

choixEtude = InputBox("L'étude porte t-elle sur les variables ou les constantes ?" & Chr(10) & "Saisir 1 pour les variables ou 2 pour les constantes.")

Wend

nbVariables = 0

Cells(2, choixEtude).Select

While Not (IsEmpty(ActiveCell.Offset(nbVariables, 0)))

nbVariables = nbVariables + 1

Wend

'On dimensionne notre tableau contenant nos grandeurs avec la taille nbVariables

Dim tabGrandeur() As grandeur

ReDim tabGrandeur(nbVariables - 1)

'On enregistre nos grandeurs dans le tableau tabGrandeur

Dim i As Integer

Dim indGrandeur As Integer

Dim indDimension As Integer

Cells(2, choixEtude).Select

If (choixEtude = 1) Then

For indGrandeur = 0 To nbVariables - 1

i = 3

'On recherche la variable dans la base de données des grandeurs

While Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(i, 2).Value <> ActiveCell.Value

i = i + 1

If IsEmpty(Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(i, 2)) Then

MsgErrBox1 ("Vous avez saisi une variable qui n'est pas présente dans la base de données !" & Chr(10) & "Allez dans la feuille base de données des grandeurs et ajoutez la grandeur.")

Exit Sub

End If

Wend

tabGrandeur(indGrandeur).variable = i

For indDimension = 0 To 6

tabGrandeur(indGrandeur).dimension(indDimension) = Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(i, 4 + indDimension).Value

```

 Next
 tabGrandeur(indGrandeur).ordreGrandeur = Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(i, 11).Value
 ActiveCell.Offset(1, 0).Select
 Next
 ElseIf choixEtude = 2 Then
 For indGrandeur = 0 To nbVariables - 1
 i = 3
 'On recherche la variable dans la base de données des grandeurs
 While Worksheets("Base de données des constantes").Cells(i, 2).Value <> ActiveCell.Value
 i = i + 1
 If IsEmpty(Worksheets("Base de données des constantes").Cells(i, 2)) Then
 MsgBox1 ("Vous avez saisi une constante qui n'est pas présente dans la base de données !" & Chr(10) &
"Allez dans la feuille base de données des constantes et ajoutez la constante.")
 Exit Sub
 End If
 Wend
 tabGrandeur(indGrandeur).variable = i
 For indDimension = 0 To 6
 tabGrandeur(indGrandeur).dimension(indDimension) = Worksheets("Base de données des
constantes").Cells(i, 4 + indDimension).Value
 Next
 tabGrandeur(indGrandeur).ordreGrandeur = Worksheets("Base de données des constantes").Cells(i, 11).Value
 ActiveCell.Offset(1, 0).Select
 Next
 End If

 'On demande à l'utilisateur la variable à isoler
 Dim variableIsolee As Integer
 variableIsolee = 0
 variableIsolee = InputBox("Entrer la ligne de la variable isolée :")
 If variableIsolee < 2 Or variableIsolee > nbVariables + 1 Then
 MsgBox1 ("La ligne doit être comprise entre 2 et " & nbVariables + 1)
 End If

 'On détermine le nombre de combinaisons de fonctions à tester
 Dim nbCombinaisons As Integer
 Dim k As Integer
 Dim n As Integer
 k = 0
 k = InputBox("k parmi n" & Chr(10) & "Entrer k (nombre de dimensions fondamentales du problème) :")
 If k < 2 Or k > nbVariables - 1 Then
 MsgBox1 ("k doit être compris entre 2 et " & nbVariables - 1)
 End If
 n = 0
 n = InputBox("k parmi n" & Chr(10) & "Entrer n (nombres de variables sans prendre en compte la variable isolée) :")
 & Chr(10) & "Exemple : t,v,m,g,h => n=4")
 If n <> nbVariables - 1 Then
 MsgBox1 ("n doit valoir " & nbVariables - 1 & Chr(10) & "Vous n'avez pas saisi le bon nombre de variables
!")
 End If
 nbCombinaisons = Factorielle(n) / (Factorielle(k) * Factorielle(n - k))

 'On initialise les paramètres qui vont servir à créer les combinaisons
 Dim j As Integer
 Dim compteur As Integer
 Dim indCombinaison As Integer
 Dim choix As Integer
 Dim IsPresent As Boolean
 Dim combinaison() As Integer
 ReDim combinaison(nbCombinaisons - 1, k - 1)

 Cells(7, 3).Value = "Fonctions :"
 Cells(7, 4).Select

```

Randomize

'On créer les combinaisons

For indCombinaison = 0 To nbCombinaisons - 1

    If choixEtude = 1 Then

        ActiveCell.Value = Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(tabGrandeur(variableIsolee - 2), variable, 2).Value & "=f("

    Else

        ActiveCell.Value = Worksheets("Base de données des constantes").Cells(tabGrandeur(variableIsolee - 2), variable, 2).Value & "=f("

    End If

'On initialise la combinaison

For i = 0 To k - 1

    combinaison(indCombinaison, i) = -1

Next

'On créer une combinaison

For indGrandeur = 0 To k - 1

    Do

        choix = Int(nbVariables \* Rnd)

    Loop While choix = variableIsolee - 2

    IsPresent = False

    For i = 0 To indGrandeur

        If combinaison(indCombinaison, i) = choix Then

            IsPresent = True

            Exit For

        End If

    Next

    If Not (IsPresent) Then

        combinaison(indCombinaison, indGrandeur) = choix

    Else

        indGrandeur = indGrandeur - 1

    End If

Next

'On tri la combinaison (tri bulle)

For i = 0 To k - 1

    For j = i To k - 1

        If combinaison(indCombinaison, i) > combinaison(indCombinaison, j) Then

            Temp = combinaison(indCombinaison, j)

            combinaison(indCombinaison, j) = combinaison(indCombinaison, i)

            combinaison(indCombinaison, i) = Temp

        End If

    Next

Next

'On vérifie que cette combinaison n'existe pas déjà

IsPresent = False

If indCombinaison <> 0 Then

    For i = 0 To indCombinaison - 1

        compteur = 0

        For indGrandeur = 0 To k - 1

            If combinaison(i, indGrandeur) = combinaison(indCombinaison, indGrandeur) Then

                compteur = compteur + 1

        End If

    Next

    If compteur = k Then

        IsPresent = True

        Exit For

    End If

Next

End If

```

'On l'affiche ou pas
If Not (IsPresent) Then
'On écrit la combinaison
For indGrandeur = 0 To k - 1
If indGrandeur <> 0 Then
ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & ","
End If
If choixEtude = 1 Then
ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & Worksheets("Base de données des
grandeurs").Cells(tabGrandeur(combinaison(indCombinaison, indGrandeur)).variable, 2).Value
Else
ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & Worksheets("Base de données des
constantes").Cells(tabGrandeur(combinaison(indCombinaison, indGrandeur)).variable, 2).Value
End If
Next
ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & ")"
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
Else
indCombinaison = indCombinaison - 1
End If
Next

'Inscrire la dimension de la variable isolée puissance a1
Dim colonne As Integer
Cells(8, 4).Select
For indCombinaison = 0 To nbCombinaisons - 1
ActiveCell.Value = DimensionText(tabGrandeur(variableIsolee - 2).variable, choixEtude) & "="
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
Next

'Inscrit les dimensions avec leur exposant associé
Cells(8, 4).Select
For indCombinaison = 0 To nbCombinaisons - 1
For indGrandeur = 0 To k - 1
If indGrandeur <> 0 Then
ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & "*"
End If
ActiveCell.Value = ActiveCell.Value & DimensionText(tabGrandeur(combinaison(indCombinaison,
indGrandeur)).variable, choixEtude) & ")^a" & indGrandeur + 1
Next
ActiveCell.Offset(0, 2).Select
Next

'AX=Y => X=(A^-1)Y
Dim A1() As Double
Dim X() As Double
ReDim X(k - 1)
Dim Y() As Double
Dim nbZero As Integer
Dim error As Boolean
Cells(10, 5).Select

'On résoud toutes les équations
For indCombinaison = 0 To nbCombinaisons - 1
'On crée A et Y avec 7 lignes car on ignore encore les dimensions fondamentales qui entrent en jeu
ReDim A1(k - 1, 6)
ReDim Y(6)
'On remplit A avec les dimensions des variables et Y avec la dimension de la variable isolée
For j = 0 To k - 1
For i = 0 To 6
A1(j, i) = tabGrandeur(combinaison(indCombinaison, j)).dimension(i)
Y(i) = tabGrandeur(variableIsolee - 2).dimension(i)
Next
Next

```

Next

'On cherche les lignes de A qui sont toutes à zéro et on les supprime car cela signifie que la dimension relative à la ligne n'intervient pas dans l'analyse dimensionnelle

For i = 0 To 6

nbZero = 0

'On regarde si la ligne a toutes ses valeurs à zéro

For j = 0 To k - 1

If A1(j, i) = 0 Then

nbZero = nbZero + 1

End If

Next

'Partie où on inverse les lignes avant de diminuer la taille de la matrice A

If nbZero = k And i <> 6 Then

IsPresent = False

For choix = i + 1 To 6

For j = 0 To k - 1

If A1(j, choix) <> 0 Then

IsPresent = True

Exit For

End If

Next

If IsPresent = True Then

Exit For

End If

Next

If IsPresent Then

For j = 0 To k - 1

A1(j, i) = A1(j, choix)

A1(j, choix) = 0

Next

Y(i) = Y(choix)

Y(choix) = 0

Else

ReDim Preserve A1(k - 1, i - 1)

ReDim Preserve Y(i - 1)

Exit For

End If

ElseIf nbZero = k And i = 6 Then

ReDim Preserve A1(k - 1, i - 1)

ReDim Preserve Y(i - 1)

Exit For

End If

Next

'On vérifie que la matrice est carrée

If UBound(A1, 1) <> UBound(A1, 2) Then

ActiveCell.Offset(-1, -1).Value = "pas de solutions réelles : la matrice n'est pas carrée !"

ActiveCell.Offset(k, 0).Select

Else

'On transpose la matrice

Dim A2() As Double

colonne = UBound(A1, 1)

ligne = UBound(A1, 2)

ReDim A2(ligne, colonne)

A2 = Transposee(A1)

'On l'inverse avec la méthode du pivot de Gauss (très rapide)

error = False

A2 = InverseMatrice(A2, error)

If Not (error) Then

'On calcul les solutions

X = CalculSolution(A2, Y)

'On les affiche

ActiveCell.Offset(-1, -1).Value = "exposants"

ActiveCell.Offset(-1, 0).Value = "valeurs"

```

For i = 0 To k - 1
 ActiveCell.Offset(0, -1).Value = "a" & i + 1 & " ="
 ActiveCell.Value = X(i)
 ActiveCell.Offset(1, 0).Select
Next
Dim resultat As Double
resultat = 1
For i = 0 To k - 1
 resultat = resultat * Application.WorksheetFunction.Power(tabGrandeur(combinaison(indCombinaison,
i)).ordreGrandeur, X(i))
Next
resultat = Application.WorksheetFunction.Round(resultat, 2)
If choixEtude = 1 Then
 ActiveCell.Offset(0, -1).Value = "application numérique " & Worksheets("Base de données des
grandeurs").Cells(tabGrandeur(variableIsolée - 2).variable, 2).Value & "=" & resultat & " "
Else
 ActiveCell.Offset(0, -1).Value = "application numérique " & Worksheets("Base de données des
constantes").Cells(tabGrandeur(variableIsolée - 2).variable, 2).Value & "=" & resultat & " "
End If
For i = 0 To 6
 If tabGrandeur(variableIsolée - 2).dimension(i) <> 0 Then
 If choixEtude = 1 Then
 ActiveCell.Offset(0, -1).Value = ActiveCell.Offset(0, -1).Value & ConvDimToSI(Worksheets("Base de
données des grandeurs").Cells(2, i + 4).Value) & "^" & tabGrandeur(variableIsolée - 2).dimension(i)
 Else
 ActiveCell.Offset(0, -1).Value = ActiveCell.Offset(0, -1).Value & ConvDimToSI(Worksheets("Base de
données des constantes").Cells(2, i + 4).Value) & "^" & tabGrandeur(variableIsolée - 2).dimension(i)
 End If
 End If
Next
Else
 ActiveCell.Offset(-1, -1).Value = "pas de solutions réelles : le déterminant est nul !"
 For i = 0 To k - 1
 ActiveCell.Offset(1, 0).Select
 Next
End If
End If
ActiveCell.Offset(-k, 2).Select
Next

Range(Cells(1, 1), Cells(40, 2 * nbCombinaisons)).Columns.AutoFit
MsgBox ("Terminé !")
End

```

```

NotValidInput:
 MsgBoxErrBox1 ("Vous avez entré une valeur invalide (Type mismatch) !")

```

```
End Sub
```

'Affichage des erreurs

```

Private Sub MsgBoxErrBox1(ByVal Message As String)
 MsgBox Message, vbCritical, "PhysiqueSansEquation"
End

```

```
End Sub
```

```

Private Sub MsgBoxErrBox2(ByVal Message As String)
 MsgBox Message, vbCritical, "Factorielle"
End

```

```
End Sub
```

```

Private Sub MsgBoxErrBox3(ByVal Message As String)
 MsgBox Message, vbCritical, "DimensionText"
End

```

```
End Sub
```

```

Private Sub MsgBoxErrBox4(ByVal Message As String)

```



```

MsgBox Message, vbCritical, "inverseMatrice"
End
End Sub

```

'La fonction factorielle permet de calculer la factorielle d'un nombre entier n

```

Private Function Factorielle(n As Integer) As Double
 If n = 0 Or n = 1 Then
 Factorielle = 1
 ElseIf n > 1 And n < 171 Then
 Factorielle = 1
 Dim i As Integer
 For i = 2 To n
 Factorielle = Factorielle * i
 Next
 Else
 MsgBoxErrBox2 ("Veuillez saisir un nombre entier compris entre 0 et 170 !")
 End If
End Function

```

'La fonction dimension convertit la valeur dimensionnelle d'une variable sous forme d'une chaîne de caractère

```

Private Function DimensionText(ligne As Integer, choixEtude As Integer) As String
 Dim i As Integer
 Dim numerateur As String
 Dim denominateur As String
 numerateur = ""
 denominateur = ""
 If choixEtude = 1 Then
 For i = 0 To 6
 If Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(ligne, 4 + i).Value = 1 Then
 numerateur = numerateur & Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(2, 4 + i).Value
 ElseIf Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(ligne, 4 + i).Value = -1 Then
 denominateur = denominateur & Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(2, 4 + i).Value
 ElseIf Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(ligne, 4 + i).Value > 0 Then
 numerateur = numerateur & Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(2, 4 + i).Value & "^" &
 Abs(Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(ligne, 4 + i).Value)
 ElseIf Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(ligne, 4 + i).Value < 0 Then
 denominateur = denominateur & Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(2, 4 + i).Value & "^" &
 Abs(Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(ligne, 4 + i).Value)
 End If
 Next
 Else
 For i = 0 To 6
 If Worksheets("Base de données des constantes").Cells(ligne, 4 + i).Value = 1 Then
 numerateur = numerateur & Worksheets("Base de données des constantes").Cells(2, 4 + i).Value
 ElseIf Worksheets("Base de données des constantes").Cells(ligne, 4 + i).Value = -1 Then
 denominateur = denominateur & Worksheets("Base de données des constantes").Cells(2, 4 + i).Value
 ElseIf Worksheets("Base de données des constantes").Cells(ligne, 4 + i).Value > 0 Then
 numerateur = numerateur & Worksheets("Base de données des constantes").Cells(2, 4 + i).Value & "^" &
 Abs(Worksheets("Base de données des constantes").Cells(ligne, 4 + i).Value)
 ElseIf Worksheets("Base de données des constantes").Cells(ligne, 4 + i).Value < 0 Then
 denominateur = denominateur & Worksheets("Base de données des constantes").Cells(2, 4 + i).Value & "^" &
 Abs(Worksheets("Base de données des constantes").Cells(ligne, 4 + i).Value)
 End If
 Next
 End If
 If denominateur <> "" And numerateur <> "" Then
 DimensionText = numerateur & "/" & denominateur
 ElseIf denominateur = "" Then
 DimensionText = numerateur
 ElseIf numerateur = "" Then
 DimensionText = "1/" & denominateur
 Else
 If choixEtude = 1 Then

```

```

 MsgBoxErrBox3 ("La variable : " & Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(ligne, 2).Value & " n'a
aucune dimension !")
 Else
 MsgBoxErrBox3 ("La variable : " & Worksheets("Base de données des constantes").Cells(ligne, 2).Value & " n'a
aucune dimension !")
 End If
End If
End Function

```

'La fonction inverse la matrice avec la méthode de Gauss (source : <http://codes-sources.commentcamarche.net/source/23266-inversion-de-matrices>)

```

Private Function InverseMatrice(ByRef matrice() As Double, ByRef error As Boolean) As Double()
 Dim i As Integer, j As Integer, k As Integer, jmax As Integer
 Dim n As Integer
 Dim M() As Double, MInv() As Double
 Dim Temp As Double, Max As Double

```

```

 n = UBound(matrice, 1)

```

```

 ' vérifie que la matrice est une matrice carrée

```

```

 If UBound(matrice, 2) <> n Then MsgBoxErrBox4 ("La matrice n'est pas carrée !")

```

```

 ' crée la matrice n x 2n, composée par M et la matrice identité

```

```

 ReDim M(n, 2 * n + 1)

```

```

 For i = 0 To n

```

```

 For j = 0 To n

```

```

 M(i, j) = matrice(i, j)

```

```

 M(i, j + n + 1) = 1 - Sgn(Abs(i - j))

```

```

 Next

```

```

 Next

```

```

 ' échelonne la matrice M()

```

```

 For i = 0 To n

```

```

 ' trouve le pivot maximum

```

```

 j = i

```

```

 Max = 0

```

```

 For k = j To n

```

```

 If Abs(M(k, i)) > Max Then

```

```

 jmax = k

```

```

 Max = Abs(M(k, i))

```

```

 End If

```

```

 Next

```

```

 If Max = 0 Then

```

```

 error = True

```

```

 GoTo NotInversibleMatrice

```

```

 End If

```

```

 j = jmax

```

```

 ' échange les 2 lignes si elles sont différentes

```

```

 ' commence à partir de l'élément i, car tous les précédents sont nuls

```

```

 If i <> j Then

```

```

 For k = i To 2 * n + 1

```

```

 Temp = M(i, k)

```

```

 M(i, k) = M(j, k)

```

```

 M(j, k) = Temp

```

```

 Next

```

```

 End If

```

```

 ' le pivot devient égal à 1

```

```

 If M(i, i) <> 1 Then

```

```

 Temp = M(i, i)

```

```

 For j = i To 2 * n + 1

```

```

 M(i, j) = M(i, j) / Temp

```

```

 Next

```

```

End If
' sous le pivot, tous les éléments deviennent nuls
For j = i + 1 To n
 If M(j, i) <> 0 Then
 Temp = M(j, i)
 For k = i To 2 * n + 1
 M(j, k) = M(j, k) - M(i, k) * Temp
 Next
 End If
Next
Next

' réduit la matrice M()
For i = n To 1 Step -1
 For j = 0 To i - 1
 If M(j, i) <> 0 Then
 Temp = M(j, i)
 For k = i To 2 * n + 1
 M(j, k) = M(j, k) - M(i, k) * Temp
 Next
 End If
 Next
Next

' retourne le résultat : la deuxième partie de la matrice M()
ReDim MInv(n, n)
For i = 0 To n
 For j = 0 To n
 MInv(i, j) = M(i, j + n + 1)
 Next
Next

InverseMatrice = MInv
NotInversibleMatrice:
End Function

'La fonction retourne la transposee d'une matrice
Private Function Transposee(ByRef matrice() As Double) As Double()
 Dim mTransposee() As Double
 colonne = UBound(matrice, 1)
 ligne = UBound(matrice, 2)
 Dim i As Integer
 Dim j As Integer
 ReDim mTransposee(ligne, colonne)

 For i = 0 To ligne
 For j = 0 To colonne
 mTransposee(i, j) = matrice(j, i)
 Next
 Next

 Transposee = mTransposee
End Function

'La fonction retourne le produit matriciel de A par B
Private Function CalculSolution(ByRef A() As Double, ByRef B() As Double) As Double()
 Dim produit() As Double
 ligne = UBound(A, 1)
 Dim i As Integer
 Dim j As Integer
 ReDim produit(ligne)

 For i = 0 To ligne

```

```
 produit(i) = ProduitLC(A, B, i)
Next
```

```
 CalculSolution = produit
End Function
```

'La fonction retourne le produit d'une ligne par une colonne

```
Private Function ProduitLC(ByRef A() As Double, ByRef B() As Double, ligne As Integer) As Double
```

```
 Dim k As Integer
```

```
 ProduitLC = 0
```

```
 For k = 0 To UBound(A, 2)
```

```
 ProduitLC = ProduitLC + A(ligne, k) * B(k)
```

```
 Next
```

```
End Function
```

'Convertisseur dimension => unite SI

```
Private Function ConvDimToSI(dimension As String) As String
```

```
 If dimension = "L" Then
```

```
 ConvDimToSI = "m"
```

```
 ElseIf dimension = "M" Then
```

```
 ConvDimToSI = "kg"
```

```
 ElseIf dimension = "T" Then
```

```
 ConvDimToSI = "s"
```

```
 ElseIf dimension = "I" Then
```

```
 ConvDimToSI = "A"
```

```
 ElseIf dimension = Worksheets("Base de données des grandeurs").Cells(2, 8).Value Then
```

```
 ConvDimToSI = "K"
```

```
 ElseIf dimension = "J" Then
```

```
 ConvDimToSI = "Cd"
```

```
 ElseIf dimension = "N" Then
```

```
 ConvDimToSI = "mol"
```

```
 End If
```

```
End Function
```

```
Private Sub InitAnalyse()
```

```
 Worksheets("Analyse dimensionnelle").Activate
```

```
 Range(Cells(7, 3), Cells(15, 255)).Select
```

```
 Selection.Clear
```

```
 Selection.Columns.ColumnWidth = 10.71
```

```
 Range(Cells(2, 1), Cells(200, 2)).Select
```

```
 Selection.Clear
```

```
 Selection.Columns.ColumnWidth = 10.71
```

```
End Sub
```

```
Private Sub Explication()
```

```
 MsgBox "R.A.D. est une macro de résolution par analyse dimensionnelle." & Chr(10) & "", vbOKOnly + vbInformation, "Bienvenue sur R.A.D. !"'
```

```
 MsgBox "1) Complétez vos bases de données (variables et constantes) en n'oubliant pas d'indiquer dans chaque table le symbole de la grandeur recherchée." & Chr(10) & "2) Revenez sur la page principale 'analyse dimensionnelle' pour ajouter dans les colonnes respectives 'Variables' ou 'Constantes' le symbole de chaque grandeur que vous avez rentré dans vos bases de données." & Chr(10) & "3) Cliquez sur 'Exécuter la macro' et laissez vous guider !" & Chr(10) & "4) En cliquant sur 'Initialiser' vous effacerez tout ce qui se trouve sur la page principale : 'Analyse dimensionnelle'." & Chr(10) & "5) Initialisez la page 'Analyse dimensionnelle' dès que vous changez de problème." & Chr(10) & "6) Vous pouvez revoir ces explications en cliquant sur 'Explication du programme'.", vbOKOnly + vbInformation, "Quelques explications"
```

```
End Sub
```

## Module 2

```
Private Sub AjouterGrandeur()
```

```
Worksheets("Base de données des grandeurs").Activate
ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")
On Error GoTo NotValidInput
```

```
Dim nbVariables As Integer
Dim grandeur As String
nbVariables = 0
```

```
Cells(3, 2).Select
While Not (IsEmpty(ActiveCell.Offset(nbVariables, 0)))
 nbVariables = nbVariables + 1
Wend
```

```
grandeur = ""
grandeur = InputBox("Saisir la grandeur à ajouter :" & Chr(10) & "Syntaxe : variable(L,M,T,I,K,J,N)" & Chr(10) &
Chr(10) & "Exemple : Vol(3,0,0,0,0,0,0)")
If grandeur = "" Then
 MsgBox "Vous devez saisir une grandeur !", vbCritical, "AjouterGrandeur"
 ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
 End
ElseIf NbOc(grandeur, "(") <> 1 Or NbOc(grandeur, ",") <> 1 Or NbOc(grandeur, ",") <> 6 Then
 MsgBox "Vous n'avez pas correctement saisi la grandeur. Respectez la syntaxe !", vbCritical, "AjouterGrandeur"
 ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
 End
End If
```

```
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim k As Integer
Dim dimension As Double
Dim ordreGrandeur As Double
Dim description As String
```

```
If nbVariables > 0 Then
 Cells(nbVariables + 3, 2).Select
 ActiveCell.EntireRow.Insert
 ActiveCell.Value = Left(grandeur, InStr(grandeur, "(") - 1)
 ActiveCell.Offset(0, 2).Select

 j = 1
 k = 1
 For i = 0 To 6
 If Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j) = "-" Then
 j = 2
 End If
 dimension = Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j)
 ActiveCell.Offset(0, i).Value = dimension
 If j = 2 Then
 k = k + 1
 j = 1
 End If
 Next
```

```
description = ""
While (description = "")
 description = InputBox("Saisir une description ou un commentaire personnel sur la constante :")
Wend
ActiveCell.Offset(0, -1).Value = description
```

```

 ordreGrandeur = InputBox("Saisir l'ordre de grandeur en unité S.I." & Chr(10) & "Exemple : vitesse en m/s et non
en km/h." & Chr(10) & "Info : Entrer 1 pour la grandeur recherchée." & Chr(10) & "1,7x10^-12 s'écrit 1,7e-12")
 ActiveCell.Offset(0, 7).Value = ordreGrandeur
ElseIf nbVariables = 0 Then
 Cells(3, 2).Select
 description = ""
 While (description = "")
 description = InputBox("Saisir une description ou un commentaire personnelle sur la grandeur :")
 Wend
 ActiveCell.Offset(0, 1).Value = description
 ActiveCell.Value = Left(grandeur, InStr(grandeur, "(") - 1)
 ActiveCell.Offset(0, 2).Select

 j = 1
 k = 1
 For i = 0 To 6
 If Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j) = "-" Then
 j = 2
 End If
 ActiveCell.Offset(0, i).Value = Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j)
 If j = 2 Then
 k = k + 1
 j = 1
 End If
 Next
 ordreGrandeur = InputBox("Saisir l'ordre de grandeur en unité S.I." & Chr(10) & "Exemple : vitesse en m/s et non
en km/h." & Chr(10) & "Info : 1,7x10^-12 s'écrit 1,7e-12")
 ActiveCell.Offset(0, 7).Value = ordreGrandeur
End If

ResizeGrandeur (nbVariables)
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
End

NotValidInput:
MsgBox "Vous avez entré une valeur invalide (Type mismatch) !", vbCritical, "SupprimerGrandeur"
ActiveCell.EntireRow.Delete
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
End Sub

Private Sub SupprimerGrandeur()

Worksheets("Base de données des grandeurs").Activate
ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")
On Error GoTo NotValidInput

Dim ligneVariable As String

ligneVariable = 0
ligneVariable = InputBox("Saisir la ligne de la grandeur à supprimer :")
If ligneVariable = 0 Then
 MsgBox "Vous devez saisir une ligne !", vbCritical, "SupprimerGrandeur"
 ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
End
End If

Cells(ligneVariable, 2).Select
If ActiveCell.Value <> "" Then
 ActiveCell.EntireRow.Delete
Else
 MsgBox "La ligne saisie est vide !", vbCritical, "SupprimerGrandeur"

```

End If

ResizeGrandeur (1000 + ligneVariable)  
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")  
End

NotValidInput:  
MsgBox "Vous avez entré une valeur invalide (Type mismatch) !", vbCritical, "SupprimerGrandeur"  
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")

End Sub

Private Sub Init()

Worksheets("Base de données des grandeurs").Activate  
ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")

Dim nbVariables As Integer  
nbVariables = 0

Cells(3, 2).Select  
While Not (IsEmpty(ActiveCell.Offset(nbVariables, 0)))  
nbVariables = nbVariables + 1  
Wend

If nbVariables <> 0 Then  
Cells(nbVariables + 3, 2).Select  
ActiveCell.EntireRow.Insert

Range(Cells(3, 2), Cells(nbVariables + 2, 11)).Select  
Selection.Delete Shift:=xlUp  
End If

ResizeGrandeur (nbVariables)  
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")

End Sub

Private Sub ModifierOrdreGrandeur()

Worksheets("Base de données des grandeurs").Activate  
ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")  
On Error GoTo NotValidInput

Dim grandeur As Integer  
grandeur = InputBox("Saisir la ligne de l'ordre de grandeur à ajouter/modifier :")

Cells(grandeur, 11).Select  
If Not IsEmpty(ActiveCell.Offset(0, -1).Value) Then  
Dim ordreGrandeur As Double  
ordreGrandeur = InputBox("Saisir le nouvel ordre de grandeur en unité S.I." & Chr(10) & "Exemple : vitesse en m/s et non en km/h." & Chr(10) & "Info : 1,7x10<sup>-12</sup> s'écrit 1,7e-12")  
ActiveCell.Value = ordreGrandeur  
End If

ResizeGrandeur (1000 + grandeur)  
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")  
End

NotValidInput:  
MsgBox "Vous avez entré une valeur invalide (Type mismatch) !", vbCritical, "SupprimerGrandeur"  
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")

End Sub

Private Sub ModifierDescription()

Worksheets("Base de données des grandeurs").Activate  
ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")

Dim grandeur As Integer  
grandeur = InputBox("Saisir la ligne de la description à modifier :")

Cells(grandeur, 3).Select  
If Not IsEmpty(ActiveCell.Offset(0, -1).Value) Then  
Dim ordreGrandeur As String  
ordreGrandeur = InputBox("Saisir la nouvelle description :")  
ActiveCell.Value = ordreGrandeur  
End If

ResizeGrandeur (1000 + grandeur)  
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")

End Sub

Private Function ResizeGrandeur(ByVal taille As Integer)  
Worksheets("Base de données des grandeurs").Activate  
Range(Cells(2, 2), Cells(taille + 3, 11)).Select  
Selection.Columns.AutoFit  
Selection.Rows.AutoFit  
End Function

Public Function NbOc(Chaine As String, Ch As String, Optional RC As Boolean = False) As Long  
If RC Then  
NbOc = (Len(Chaine) - Len(Replace(Chaine, Ch, "", , , 0))) / Len(Ch)  
Else  
NbOc = (Len(Chaine) - Len(Replace(Chaine, Ch, "", , , 1))) / Len(Ch)  
End If  
End Function



## Module 3

```
Private Sub AjouterConstante()
```

```
Worksheets("Base de données des constantes").Activate
ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")
On Error GoTo NotValidInput
```

```
Dim nbVariables As Integer
Dim grandeur As String
nbVariables = 0
```

```
Cells(3, 2).Select
While Not (IsEmpty(ActiveCell.Offset(nbVariables, 0)))
 nbVariables = nbVariables + 1
Wend
```

```
grandeur = ""
grandeur = InputBox("Saisir la constante à ajouter :" & Chr(10) & "Syntaxe : variable(L,M,T,I,K,J,N)" & Chr(10) &
Chr(10) & "Exemple : h(2,1,-1,0,0,0,0)")
If grandeur = "" Then
 MsgBox "Vous devez saisir une constante !", vbCritical, "AjouterConstante"
 ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
 End
ElseIf NbOc(grandeur, "(") <> 1 Or NbOc(grandeur, ",") <> 1 Or NbOc(grandeur, ";") <> 6 Then
 MsgBox "Vous n'avez pas correctement saisi la constante. Respectez la syntaxe !", vbCritical, "AjouterConstante"
 ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
 End
End If
```

```
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim k As Integer
Dim dimension As Double
Dim ordreGrandeur As Double
Dim description As String
```

```
If nbVariables > 0 Then
 Cells(nbVariables + 3, 2).Select
 ActiveCell.EntireRow.Insert
 ActiveCell.Value = Left(grandeur, InStr(grandeur, "(") - 1)
 ActiveCell.Offset(0, 2).Select

 j = 1
 k = 1
 For i = 0 To 6
 If Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j) = "-" Then
 j = 2
 End If
 dimension = Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j)
 ActiveCell.Offset(0, i).Value = dimension
 If j = 2 Then
 k = k + 1
 j = 1
 End If
 Next
```

```
description = ""
While (description = "")
 description = InputBox("Saisir une description ou un commentaire personnel sur la constante :")
Wend
ActiveCell.Offset(0, -1).Value = description
```

```

 ordreGrandeur = InputBox("Saisir la valeur de la constante en unité S.I." & Chr(10) & "Info : 1,7x10^-12 s'écira
1,7e-12")
 ActiveCell.Offset(0, 7).Value = ordreGrandeur
ElseIf nbVariables = 0 Then
 Cells(3, 2).Select
 description = ""
 While (description = "")
 description = InputBox("Saisir une description ou un commentaire personnelle sur la constante :")
 Wend
 ActiveCell.Offset(0, 1).Value = description
 ActiveCell.Value = Left(grandeur, InStr(grandeur, "(") - 1)
 ActiveCell.Offset(0, 2).Select

 j = 1
 k = 1
 For i = 0 To 6
 If Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j) = "-" Then
 j = 2
 End If
 ActiveCell.Offset(0, i).Value = Mid(grandeur, InStr(grandeur, "(") + 2 * i + k, j)
 If j = 2 Then
 k = k + 1
 j = 1
 End If
 Next
 ordreGrandeur = InputBox("Saisir la valeur de la constante en unité S.I." & Chr(10) & "Info : 1,7x10^-12 s'écira
1,7e-12")
 ActiveCell.Offset(0, 7).Value = ordreGrandeur
End If

Range(Cells(2, 2), Cells(nbVariables + 3, 11)).Select
Selection.Columns.AutoFit
Selection.Rows.AutoFit

ResizeGrandeur (nbVariables)
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
End

NotValidInput:
 MsgBox "Vous avez entré une valeur invalide (Type mismatch) !", vbCritical, "SupprimerConstante"
 ActiveCell.EntireRow.Delete
 ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
End Sub

Private Sub SupprimerConstante()

 Worksheets("Base de données des constantes").Activate
 ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")
 On Error GoTo NotValidInput

 Dim ligneVariable As String

 ligneVariable = 0
 ligneVariable = InputBox("Saisir la ligne de la constante à supprimer :")
 If ligneVariable = 0 Then
 MsgBox "Vous devez saisir une ligne !", vbCritical, "SupprimerConstante"
 ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
 End
End If

Cells(ligneVariable, 2).Select
If ActiveCell.Value <> "" Then

```

```

ActiveCell.EntireRow.Delete
Else
MsgBox "La ligne saisie est vide !", vbCritical, "SupprimerConstante"
End If

```

```

ResizeGrandeur (1000 + ligneVariable)
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
End

```

```

NotValidInput:
MsgBox "Vous avez entrer une valeur invalide (Type mismatch) !", vbCritical, "SupprimerConstante"
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")

```

```
End Sub
```

```
Private Sub InitCte()
```

```

Worksheets("Base de données des constantes").Activate
ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")

```

```

Dim nbVariables As Integer
nbVariables = 0

```

```

Cells(3, 2).Select
While Not (IsEmpty(ActiveCell.Offset(nbVariables, 0)))
nbVariables = nbVariables + 1
Wend

```

```

If nbVariables <> 0 Then
Cells(nbVariables + 3, 2).Select
ActiveCell.EntireRow.Insert

```

```

Range(Cells(3, 2), Cells(nbVariables + 2, 11)).Select
Selection.Delete Shift:=xlUp
End If

```

```

ResizeGrandeur (1000 + nbVariables)
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")

```

```
End Sub
```

```
Private Sub ModifierValeurConstante()
```

```

Worksheets("Base de données des constantes").Activate
ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")
On Error GoTo NotValidInput

```

```

Dim grandeur As Integer
grandeur = InputBox("Saisir la ligne de la valeur de constante à ajouter/modifier :")

```

```

Cells(grandeur, 11).Select
If Not IsEmpty(ActiveCell.Offset(0, -1).Value) Then
Dim ordreGrandeur As Double
ordreGrandeur = InputBox("Saisir la nouvelle valeur en unité S.I." & Chr(10) & "Info : 1,7x10^-12 s'écrit 1,7e-12")
ActiveCell.Value = ordreGrandeur
End If

```

```

ResizeGrandeur (1000 + grandeur)
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
End

```

```
NotValidInput:
```

```
MsgBox "Vous avez entrer une valeur invalide (Type mismatch) !", vbCritical, "SupprimerConstante"
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
```

```
End Sub
```

```
Private Sub ModifierDescriptionCte()
```

```
Worksheets("Base de données des constantes").Activate
ActiveSheet.Unprotect ("jujuseb")
```

```
Dim grandeur As Integer
grandeur = InputBox("Saisir la ligne de la description à modifier :")
```

```
Cells(grandeur, 3).Select
If Not IsEmpty(ActiveCell.Offset(0, -1).Value) Then
 Dim ordreGrandeur As String
 ordreGrandeur = InputBox("Saisir la nouvelle description :")
 ActiveCell.Value = ordreGrandeur
End If
```

```
ResizeGrandeur (1000 + grandeur)
ActiveSheet.Protect ("jujuseb")
```

```
End Sub
```

```
Private Function ResizeGrandeur(ByVal taille As Integer)
 Worksheets("Base de données des constantes").Activate
 Range(Cells(2, 2), Cells(taille + 3, 11)).Select
 Selection.Columns.AutoFit
 Selection.Rows.AutoFit
End Function
```

## 16. BIBLIOGRAPHIE

### Analyse dimensionnelle, généralités

WIKIPÉDIA. « Analyse dimensionnelle » – *Wikipédia*. In : Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 12 octobre 2013]. Disponible sur :

[http://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse\\_dimensionnelle](http://fr.wikipedia.org/wiki/Analyse_dimensionnelle)

AC-NANCY-METZ. « Les unités du système international » *SI*. In : Académie de Nancy-Metz [en ligne]. [Consulté le 14 novembre 2013]. Disponible sur :

<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/divers/unites/unites-SI.htm>

UNIVERSITE DU QUEBEC. *Mécanique des fluides* [en ligne]. Quebec. 2012. [Consulté le 10 octobre 2013]. Disponible sur :

[https://cours.etsmtl.ca/mec335/Documents/Notes%20de%20cours/2013/Hiver\\_2013\\_groupe%202%20et%203/cours\\_9.pdf](https://cours.etsmtl.ca/mec335/Documents/Notes%20de%20cours/2013/Hiver_2013_groupe%202%20et%203/cours_9.pdf)

### Recherche des constantes physiques/chimiques

H&K. *main.dvi - adc.ps\_\_annexes.physique-chimie.pdf*. In : H&K [en ligne]. [Consulté le 1er décembre 2013]. Disponible sur :

[http://www.h-k.fr/publications/data/adc.ps\\_\\_annexes.physique-chimie.pdf](http://www.h-k.fr/publications/data/adc.ps__annexes.physique-chimie.pdf)

ENI GENERALIC. « Constantes physiques fondamentales – EniG . Tableau périodique des éléments ». In : EniG. Periodic Table of the Elements, Calculators, and Printable Materials [en ligne]. [Consulté le 1er décembre 2012]. Disponible sur :

[http://www.periodni.com/fr/constantes\\_physiques\\_fondamentales.html](http://www.periodni.com/fr/constantes_physiques_fondamentales.html)

### Code programme

VB, Lover. *Visual/basic / VB.NET : « Inversion de matrices – CodeS SourcesS »* [en ligne]. In : Benoît SILLARD, Benoît. *CodeS-SourcesS - CCM*. [Consulté le 10 novembre 2013]. Disponible sur :

<http://codes-sources.commentcamarche.net/source/23266-inversion-de-matrices>

VVDD. « ttes les combinaisons possibles parmi 8 chiffres » [en ligne]. In : Sébastien MATHIER, Sébastien. *Excel-Pratique.com*. [Consulté le 10 novembre 2013]. Disponible sur :

<http://forum.excel-pratique.com/excel/ttes-les-combinaisons-possibles-parmi-8-chiffres-t21013.html>

SEHAN, Jean-François. *Fonctions et Macros Excel 2010*. Paris First interactive, 2010, 518 p. ISBN. 978-2-7540-3383-1

BELLAN, Philippe. *Excel pour l'ingénieur : bases, graphiques, calculs, macros, VBA*. Paris First interactive, 2010, 328 p. ISBN. 978-2-7298-6119-3

### Problème 1 : l'apesanteur dans les Coasters

WARDLEY, John. *Creating my own Nemesis*. Amazon : CreateSpace Independent Publishing Platform, 13 avril 2013, 160 p. (Titre de la collection, n° dans la collection). ISBN-13. 978-1484049143

CHIGNARD Estelle, FRANCOIS Chloé, JUSFORGES Pérette. *L'impesanteur. La vie en impesanteur est-elle si formidable ?* [en ligne]. Neuville/Saône : Lycée Rosa Parks, 2012, 21 pages. [Consulté le 7 novembre 2013]. Disponible sur : <http://www.odpf.org/antérieures/xix/groupeO/memoire.pdf>

NOVSPACE. *Novespace : apesanteur, missions d'observation* [en ligne]. [Consulté le 7 novembre 2013]. Disponible sur : <http://www.novespace.fr/fr/home.html>

### Problème 2 : Freinage de l'automobile

BELHOCINE, Ali. *Etude thermomécanique des disques de freins* [en ligne]. Thèse Génie mécanique. Oran : Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, 2011-2012, 143 pages. [Consulté le 8 octobre 2013]. Disponible sur : [http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/81/32/55/PDF/THESE\\_de\\_Doctorat.pdf](http://tel.archives-ouvertes.fr/docs/00/81/32/55/PDF/THESE_de_Doctorat.pdf)

CHRONO-PNEUS. « Tout savoir sur les pneus ». In : Chrono-pneus [en ligne]. [Consulté le 16 octobre 2013]. Disponible sur : <http://www.chrono-pneus.fr/tout-savoir-sur-le-pneu.html>

ADILCA. *L'aérodynamique et la résistance de l'air – aerodyn.pdf*. In : ADILCA association pour la diffusion d'informations sur les lois physiques de l'automobile [en ligne]. [Consulté le 7 novembre 2013]. Disponible sur : <http://www.adilca.com/aerodyn.pdf>

LA BÉRÉZINA. « Formule 1 – Les freins 2 ». In : Formule 1 - La Bérézina - Site complet sur la F1 [en ligne]. [Consulté le 10 novembre 2013]. Disponible sur : <http://www.laberezina.com/technique/freins-2.htm>

VAL, Gilbert. *Gonflage et pression de pneus pour votre voiture* [en ligne]. [Consulté le 15 novembre 2013]. Disponible sur : <http://www.pressionpneu.com/>

MALLEPLATE, Jean-Pierre. « Enseigner les maths sciences en LP Distance de freinage » [en ligne]. In : MALLEPLATE, Jean-Pierre. *Enseigner les maths sciences en LP*. [Consulté le 26 novembre 2013]. Disponible sur : <http://lyceepro.free.fr/spip/spip.php?article223>

BRISOU, Florent. « Dynamique du freinage ». In : BRISOU, Florent. *Rail21* [en ligne]. [Consulté le 21 novembre 2013]. Disponible sur : <http://florent.brisou.pagesperso-orange.fr/Freinage%20dynamique.htm>

### Problème 3 : Vortex avionique

WIKIPÉDIA. « Tourbillon marginal – Wikipédia ». In : Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 16 octobre 2013]. Disponible sur : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Tourbillon\\_marginal](http://fr.wikipedia.org/wiki/Tourbillon_marginal)

MINIX. « Minix – les avions et le vortex ». In : Minix [en ligne]. [Consulté le 19 octobre 2013]. Disponible sur : [http://www.minix.fr/avions\\_et\\_vortex.php](http://www.minix.fr/avions_et_vortex.php)

WIKIPÉDIA. « Viscosité – Wikipédia ». In : Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 25 octobre 2013]. Disponible sur : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Viscosit%C3%A9>

MECAFLUX. « ailes calcul d'une aile suivant son profil incidence vitesse ». In : Leçons mécanique fluides logiciel perte charge aeraulique hydraulique aérodynamique hydrodynamique [en ligne]. [Consulté le 13 novembre 2013]. Disponible sur : <http://www.mecaflux.com/aile.htm>

HOERNER, *Fluid Dynamic Drag*. Amazon : Hoerner Fluid Dynamics, 25 juin 1993, 402 p. ISBN-13. 978-9993623939

LE SITE D'EOLE. « Les principes aérodynamiques (Le site d'Eole) ». In : LE SITE D'EOLE. *Cerf-volant de traction et Aérodynamique*. [Consulté le 3 novembre 2013]. Disponible sur : [http://site.eole.free.fr/index.php/?page\\_id=4](http://site.eole.free.fr/index.php/?page_id=4)

SCIENCE ÉTONNANTE. « Le nombre de Reynolds | Science étonnante ». In : Science étonnante | De la science étonnante, amusante ou simplement intéressante. [Consulté le 19 décembre 2013]. Disponible sur : <http://sciencetonnante.wordpress.com/2011/08/22/le-nombre-de-reynolds/>

#### Problème 4 : Chauffer une piscine

WIKIPÉDIA. « Rayonnement solaire – Wikipédia ». In : Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 17 novembre 2013]. Disponible sur : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement\\_solaire](http://fr.wikipedia.org/wiki/Rayonnement_solaire)

WIKIPÉDIA. « Constante solaire – Wikipédia ». In : Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 16 novembre 2013]. Disponible sur : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Constante\\_solaire](http://fr.wikipedia.org/wiki/Constante_solaire)

CASTEL, Lucie. *Comment bien choisir Etape par Etape* [en ligne]. [Consulté le 2 novembre 2013]. Disponible sur : <http://www.faire-sa-piscine.com/>

HENNI, Jean-Marc. « Quel type de piscine choisir ? En fonction du budget, du terrain, des besoins » [en ligne]. In : HENNI, Jean-Marc. *Guide-piscine.fr, le guide des piscines et du bain en France*. [Consulté le 8 novembre 2013]. Disponible sur : [http://www.guide-piscine.fr/construire-sa-piscine/types-de-piscine/type-piscine-hors-sol-creusee-kit-gonflable-bois-debordement-9\\_A](http://www.guide-piscine.fr/construire-sa-piscine/types-de-piscine/type-piscine-hors-sol-creusee-kit-gonflable-bois-debordement-9_A)

CHATELAIN, Antoine. « Chauffage piscine (PAC ou Solaire) : Fonctionnement, Installation, Prix, Economies, Ecologique, Technique » [en ligne]. In : CHATELAIN, Antoine. *Quelle Energie : conseils, devis gratuits pour vos économies d'énergie*. [Consulté le 3 novembre 2013]. Disponible sur : <http://www.quelleenergie.fr/economies-energie/chauffage-piscine>

## Problème 5 : Portée de la télécommande

WIKIPÉDIA. « Fréquence – Wikipédia ». In : Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 16 octobre 2013]. Disponible sur :  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/Fr%C3%A9quence#Ondes>

WIKIPÉDIA. « Onde radio – Wikipédia ». In : Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 16 octobre 2013]. Disponible sur :  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Onde\\_radio](http://fr.wikipedia.org/wiki/Onde_radio)

WIKIPÉDIA. « Loi de Beer-Lambert – Wikipédia ». In : Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 16 octobre 2013]. Disponible sur :  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi\\_de\\_Beer-Lambert](http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Beer-Lambert)

WIKIPÉDIA. « Coefficient d'absorption – Wikipédia ». In : Wikipédia, l'encyclopédie libre [en ligne]. [Consulté le 16 octobre 2013]. Disponible sur :  
[http://fr.wikipedia.org/wiki/Coefficient\\_d%27absorption](http://fr.wikipedia.org/wiki/Coefficient_d%27absorption)

WIKIPÉDIA. « Télécommande – Wikipédia ». In : Wikimedia Foundation Inc. *Wikipédia, l'encyclopédie libre*. [Consulté le 9 novembre 2013]. Disponible sur :  
<http://fr.wikipedia.org/wiki/T%C3%A9l%C3%A9commande>

MALLARD, Rémy. « Electronique – Bases – Télécommandes » [en ligne]. In : MALLARD, Rémy. *RSonelec-Musique*. [Consulté le 9 novembre 2013]. Disponible sur :  
[http://www.sonelec-musique.com/electronique\\_bases\\_telecommandes.html](http://www.sonelec-musique.com/electronique_bases_telecommandes.html)

###