# AUTOFORMATION - FICHE n°2 Dynamique de la chute libre

# Sommaire

[Dynamique de la chute libre (Document du GRIESP) 2](#_Toc365864)

[Activité : calcul numérique de la trajectoire d’un projectile en chute libre par la méthode d’Euler (Document du GRIESP) 5](#_Toc365877)

[Activité proposée 7](#_Toc365882)

[Document élève 9](#_Toc365887)

[Conseils de mise en œuvre (à destination du professeur) 13](#_Toc365895)

# Dynamique de la chute libre (Document du GRIESP)

|  |
| --- |
| Thématique  * Mécanique, trajectoire d’un objet en mouvement.  Objectif de formation  * Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse à partir de celles du vecteur accélération. * Déterminer les coordonnées de position à partir de celles du vecteur vitesse. * Utiliser la 2ème loi de Newton pour déterminer la trajectoire d’un projectile en chute libre. * Utiliser la méthode d’Euler pour calculer les coordonnées du vecteur vitesse à partir de celles du vecteur accélération, les coordonnées de position à partir de celles du vecteur vitesse.  Concepts ou notions abordés  * Liens entre position, vitesse et accélération * 2ème loi de Newton * Méthode d’Euler |

## Introduction

### Présentation de l’activité

Dans la situation proposée, les élèves fixent les paramètres initiaux de la trajectoire d’un projectile en chute libre : position et vitesse initiales, angle de lancer. Ils réalisent ensuite un programme de calcul numérique pour déterminer les coordonnées du projectile et de son vecteur vitesse en s’appuyant sur la méthode d’Euler.

### Place possible dans la progression

Cette activité peut être proposée après la résolution analytique des équations différentielles issues de la 2ème loi de Newton pour projectile en chute libre et conduisant à la détermination des coordonnées de la vitesse, de la position et de la trajectoire du projectile. Le recours à informatique peut contribuer à une meilleure compréhension des grandeurs position, vitesse et accélération et des mécanismes mathématiques d’intégration.

Le choix de l’outil informatique dépend des compétences initiales des élèves et peut être laissé au choix de l’élève ; quel que soit l’outil utilisé, une certaine maîtrise en est nécessaire.

Une activité plus clé en main peut être proposée dès la classe de seconde dans le cadre de l’analyse d’un mouvement, ce qui permet de cibler un outil informatique en particulier en début de formation. À ce niveau, une activité de simulation peut venir en complément d’une étude vidéo et peut par exemple consister en :

* l’affichage de la trajectoire, les valeurs ou la boucle de calcul étant données ;
* la modification des paramètres initiaux et l’analyse des effets sur la trajectoire.

### Pistes de validation, prolongements

Un prolongement peut consister à ajouter des forces de frottement de l’air. C’est un des intérêts de la simulation numérique mise en place : il est possible d’accéder à des effets de frottement sans outil mathématique supplémentaire ou solution analytique connue de l’équation associée et de confronter les résultats du programme aux données expérimentales.

|  |
| --- |
| Matériel  * Ordinateur avec environnement de programmation Python  Notions et compétences informatiques travaillées  * Définir des paramètres numériques. * Tracer des graphiques. * Effectuer des calculs numériques. * Mettre en œuvre des boucles. |

### Exemples de contextualisation

* Déterminer l’angle optimal pour un lancer de poids, de javelot ou de Vortex
* Choisir le club de golf le mieux adapté à la trajectoire souhaitée.
* Déterminer les conditions d’un lancer-franc réussi.

### De la situation physique au traitement numérique

On considère un objet dans le champ de pesanteur terrestre, supposé vertical uniforme d'intensité g. L’objectif de l’activité est l’étude du mouvement de ce projectile dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen. Les forces exercées par l'air sont négligées dans un premier temps, le projectile n'est donc soumis qu'à son poids. Il est admis (ou cela a été montré précédemment) que le mouvement est plan et un repère orthonormal (O,x,z) est associé à ce plan. Le projectile a une vitesse initiale et une position initiale, le point .

La 2e loi de Newton permet d'obtenir les équations suivantes :

Par ailleurs, par définition de la vitesse :

Les équations (1.a) et (1.b) permettent d'estimer, pas à pas, les composantes de la vitesse, sans procéder à une intégration, sans passer par une primitive.

On utilise pour ce faire le développement limité (à l’ordre 1) des fonctions vitesses horizontale et verticale, qui donne une estimation de la valeur de ces fonctions à un instant t+ à partir de leurs valeurs à l'instant t :

τ joue le rôle de pas de calcul.

On déduit des équations (1.a) et (1.b) :

(la composante horizontale de la vitesse est constante)

Un raisonnement similaire donne :

Il reste alors à choisir la valeur du pas tau et à calculer pas à pas, par itération, les valeurs successives de vx , vz , x et z.

La méthode repose sur des approximations faites grâce à des développements limités. Ceci entraîne un écart entre les valeurs obtenues par calcul numérique (ou intégration « numérique ») et celles obtenues par intégration analytique (par recherche d’une primitive) des équations de Newton. Plus la valeur du pas tau est faible, meilleure est la précision. En revanche, le choix d’une valeur faible de tau entraîne davantage de calculs et un temps de traitement plus long.

### Ce que les élèves doivent retenir

* Il suffit que les coordonnées du vecteur accélération d’un objet et les conditions initiales soient connues pour accéder aux coordonnées du vecteur vitesse de cet objet et à ses coordonnées de position à l’aide de la mise en œuvre d’une succession de calculs numériques effectué par itération (méthode d’Euler).
* D’après la 2ème loi de Newton, dans le référentiel terrestre, l’accélération d’un objet en chute libre est égale à celle du champ de pesanteur terrestre. La composante horizontale de la vitesse est donc constante tout au long du mouvement.

# Activité : calcul numérique de la trajectoire d’un projectile en chute libre par la méthode d’Euler (Document du GRIESP)

Les propositions suivantes ne sont pas prescriptives. Il s’agit de bases pour illustrer la situation d’apprentissage qu’il convient d’ajuster en fonction de sa place dans la progression et dans la séquence pédagogique, du niveau de maîtrise par les élèves de l’outil informatique choisi, etc.

## Exemples de consignes pour les élèves

### Programmation (compétence Réaliser)

1. Programmer les paramètres numériques initiaux de la chute libre : champ de pesanteur g=9.81 m.s-2, coordonnées de position initiales (x0 ,z0), angle de lancer (α), vitesse initiale (v0), pas de calcul (τ = 0.2 s).
2. Programmer les coordonnées de position et du vecteur vitesse du projectile et calculer par itération les valeurs de ces variables.
3. Afficher le graphique représentant l’évolution de l’ordonnée z en fonction de l’abscisse x du projectile.

### Expérimentation numérique et validation de la programmation (compétence Valider)

1. Faire varier l’angle α. Observer les évolutions de la trajectoire et déterminer la valeur de α pour laquelle la distance parcourue par le projectile est maximale (aide : la portée correspond à la valeur de x correspondant à une valeur de l’ordonnée z=0, c’est à dire au niveau du « sol »).
2. Afficher le graphique de la trajectoire de référence, d’équation :

La courbe issue de la programmation et la courbe de référence sont-elles en adéquation ?

1. Faire varier τ. Observer les variations de la trajectoire. Préciser pour quelles valeurs de tau la trajectoire calculée est la plus proche de la trajectoire de référence.

### Conclusion (compétence Communiquer)

Proposition 1 : Lister les étapes (en utilisant des verbes à l’infinitif) pour parvenir à l’affichage des différentes courbes z(x) obtenue par calcul numérique d’une part et obtenue par la résolution analytique (courbe de référence) et à la réduction de l’écart entre ces deux courbes.

Proposition 2 : Produire un tutoriel ou une fiche méthode (s’il n’en est pas de disponible dans l’établissement) sur (au choix) :

* l’affichage de courbe avec l’outil utilisé ;
* la détermination des valeurs d’une fonction à partir de sa dérivée à l’aide de la méthode d’Euler.

# Activité proposée

## Type d’activité

L’activité proposée est un TP de seconde

## Programme de physique-chimie de seconde générale et technologique (extrait du BO)

### Mouvement et interactions

|  |  |
| --- | --- |
| **Notions et contenus** | **Capacités exigibles**  ***Activités expérimentales support de la formation*** |
| 1. Décrire un mouvement | |
| Système.  Échelles caractéristiques d’un système.  Référentiel et relativité du mouvement.  Description du mouvement d’un système par celui d’un point. Position. Trajectoire d’un point. | Identifier les échelles temporelles et spatiales pertinentes de description d’un mouvement.  Choisir un référentiel pour décrire le mouvement d’un système.  Expliquer, dans le cas de la translation, l’influence du choix du référentiel sur la description du mouvement d’un système.  Décrire le mouvement d’un système par celui d’un point et caractériser cette modélisation en termes de perte d’informations.  Caractériser différentes trajectoires.  **Capacité numérique** : représenter les positions successives d’un système modélisé par un point lors d’une évolution unidimensionnelle ou bidimensionnelle à l’aide d’un langage de programmation. |

## Les compétences travaillées dans le cadre de la démarche scientifique (extrait du BO)

|  |  |
| --- | --- |
| **Compétences** | **Quelques exemples de capacités associées** |
| **S’approprier** | * Énoncer une problématique. * Rechercher et organiser l’information en lien avec la problématique étudiée. * Représenter la situation par un schéma. |
| **Analyser/**  **Raisonner** | * Formuler des hypothèses. * Proposer une stratégie de résolution. * Planifier des tâches. * Évaluer des ordres de grandeur. * Choisir un modèle ou des lois pertinentes. * Choisir, élaborer, justifier un protocole. * Faire des prévisions à l'aide d'un modèle. * Procéder à des analogies. |
| **Réaliser** | * Mettre en œuvre les étapes d’une démarche. * Utiliser un modèle. * Effectuer des procédures courantes (calculs, représentations, collectes de données, etc.). * Mettre en œuvre un protocole expérimental en respectant les règles de sécurité. |
| **Valider** | * Faire preuve d’esprit critique, procéder à des tests de vraisemblance. * Identifier des sources d’erreur, estimer une incertitude, comparer à une valeur de référence. * Confronter un modèle à des résultats expérimentaux. * Proposer d’éventuelles améliorations de la démarche ou du modèle. |
| **Communiquer** | À l’écrit comme à l’oral :   * présenter une démarche de manière argumentée, synthétique et cohérente ; * utiliser un vocabulaire adapté et choisir des modes de représentation appropriés ; * échanger entre pairs. |

# Document élève

## Situation déclenchante

La distance est incroyable : environ 33 mètres et 45 centimètres (109 pieds et 9 pouces pour être très précis). Voilà le nouveau record du monde de la plus grande distance pour marquer un panier au basket. À peine recruté pour intégrer la célèbre équipe des Globetrotters de Harlem, Corey "Thunder" Law a pulvérisé le 14 novembre 2013 l'ancien record du monde de 104 pieds et 7 pouces (environ 31,9 mètres) détenu par Elan Buller depuis 2011.

(Source : <https://www.huffingtonpost.fr/2013/11/16/basket-ball-record-monde-plus-long-tir-marquer-panier_n_4288680.html>)



**Mais quelles sont donc les conditions à respecter pour réussir un tir comme celui-ci ?**

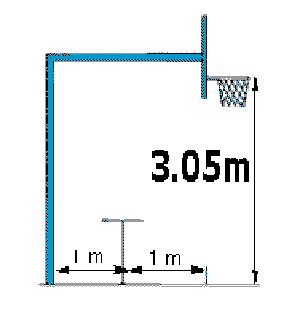
## Objectifs

* Compléter un programme python afin d’afficher un graphique représentant les positions successives d’un projectile ;
* Déterminer l’influence des paramètres initiaux du lancer.

## Documents à disposition

**Document n°1 – Dimensions d’un terrain de basket**





**Document n°2 – Dimensions d’un panier de basket**

## Manipulations

### Travail préliminaire : étude du lancer d’un projectile

*Nous allons, dans cette partie compléter un programme python afin d’afficher un graphique représentant les positions successives d’un projectile dont les conditions initiales sont les suivantes :*

* *Coordonnées de la position initiales (x0, y0) : x0 = 0 m et y0 = 2 m ;*
* *Angle de lancer α : α = 30° ;*
* *Vitesse initiale v0 : v0 = 15 m.s-1;*
* *Accélération de la pesanteur g : g = 9,81 m.s-2.*
* [REA] Lancer l’environnement de programmation Python puis ouvrir le fichier ‘lancer\_A\_COMPLETER’.
* [APP] Compléter le programme Python avec les valeurs des paramètres numériques initiaux du lancer.

|  |
| --- |
| #declaration des variables et de leur valeur initiale  g= #m.s-2  v= #m/s  alpha= #°  x0= #m  z0= #m  tau=0.05 |

* [ANA] Donner un titre à votre graphique (initialement ‘Titre du graphique’) et modifier le nom des axes (initialement ‘Axe des abscisses’ et ‘Axe des ordonnées’).

|  |
| --- |
| #Affichage de la courbe  plt.title('Titre du graphique')  plt.xlabel('axe des abcisses')  plt.ylabel('axe des ordonnées')  plt.plot(xlist, zlist, 'b.')  plt.show() |

* [REA] Lancer le programme. Le graphique apparait.

**APPEL n°1 - Appeler le professeur pour lui présenter vos résultats ou en cas de difficulté**

* [VAL] Répondre aux questions suivantes :
  + Quelle est la trajectoire obtenue ?

|  |
| --- |
|  |

* + Que peut-on dire de la vitesse au cours du mouvement ?

|  |
| --- |
|  |

### Expérimentation numérique

*Nous allons, dans cette partie, utiliser le programme python afin de déterminer l’influence de la vitesse initiale et de l’angle de lancer.*

#### Influence de la vitesse initiale

* [REA] Pour un angle α = 45°, faire varier la valeur de la vitesse initiale puis compléter le tableau suivant.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Vitesse initiale v0 (m.s-1)** | 10 | 15 | 20 |
| **Hauteur atteinte (m)** |  |  |  |
| **Distance parcourue (m)** |  |  |  |

* [VAL] Quelle est l’influence de la vitesse initiale sur la portée du tir (la portée est la distance maximale à laquelle peut être lancé le projectile) ?

|  |
| --- |
|  |

* [VAL] Quelle est l’influence de la vitesse initiale sur l’altitude maximale atteinte ?

|  |
| --- |
|  |

#### Influence de l’angle de tir

* [REA] Pour une vitesse initiale v0 = 10 m.s-1, faire varier la valeur de l’angle α puis compléter le tableau suivant.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Angle α (°)** | 30 | 45 | 70 |
| **Hauteur atteinte (m)** |  |  |  |
| **Distance parcourue (m)** |  |  |  |

* [VAL] Quelle est l’influence de l’angle de tir sur la hauteur maximale atteinte ?

|  |
| --- |
|  |

* [VAL] Quelle est la valeur de l’angle de tir qui donne la plus grande portée ?

|  |
| --- |
|  |

**APPEL n°2 - Appeler le professeur pour lui présenter vos résultats ou en cas de difficulté**

### Retour sur la problématique

*Dans cette partie, nous allons répondre à la question posée dans la présentation du début de l’activité :* ***Mais quelles sont donc les conditions à respecter pour réussir un tir comme celui-ci ?***

#### Affichage du panier

* [APP] Ouvrir le fichier ‘lancer\_AVEC\_PANIER’ puis compléter les données manquantes (distance\_panier et hauteur\_panier) correspondant respectivement à la distance lanceur - panier et à la hauteur du panier.

|  |
| --- |
| distance\_panier= #m  hauteur\_panier= #m  x=x0  z=z0 #m ainsi z pourra etre traite comme une variable (au sens mathematique) et  #z0 reste constant, ce qui permet de l'utiliser pour le tracer de la courbe de reference  t=0 #s  vx=v\*cos(alpha\*pi/180)  vz=v\*sin(alpha\*pi/180) |

* [REA] Lancer le programme.

**APPEL n°3 - Appeler le professeur pour lui présenter vos résultats ou en cas de difficulté**

#### Réponse à la problématique

* [COM] En faisant varier la valeur de l’angle de lancer et la vitesse initiale, répondre à la question posée dans la présentation.

|  |
| --- |
|  |

# Conseils de mise en œuvre (à destination du professeur)

## Appel n°1

Vérifier que le fichier a bien été complété, que les axes ont bien été renseignés et que le graphique est bien affiché sur l’écran de l’ordinateur.

## Appel n°2

Vérifier que les tableaux ont bien été complétés et que les réponses aux questions sont correctes.

## Appel n°3

Vérifier que le fichier a bien été complété et que le graphique avec le panier est bien affiché sur l’écran de l’ordinateur.