



Sommaire

I-	Introduction au projet.....	3
II-	Présentation de la catapulte	3
III-	Cycle de vie	4
IV-	Étape 1 : création de la population de base	5
V-	Étape 2 : évaluation	5
VI-	Étape 3 : sélection.....	7
VII-	Étape 4 : croisement	7
A.	Enjambement.....	7
B.	Mutation.....	8
VIII-	Étape 5 : appréciation.....	8
IX-	Jeu de test.....	9
X-	Conclusion.....	14

I- Introduction au projet

Le projet consiste à user de la méthode d'évolution génétique afin de faire évoluer un ensemble de catapultes, appelé « population ». Il s'agit de mettre en place un algorithme composé des étapes suivantes : évaluation, sélection, croisement et mutation, sur une population, ceci, dans le but de tendre vers une catapulte « élite ».

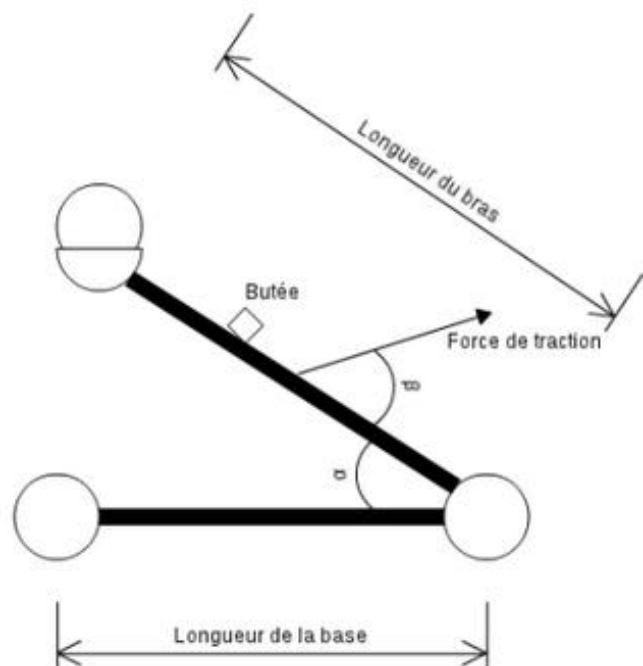
Ce rapport a pour but d'expliquer la démarche et les choix pris par le groupe afin de mener à bien ce projet.

Par ailleurs, il fallait se décider sur le langage de programmation. Dans un premier temps nous avons éliminé les langages trop « évolués », considérés comme trop lents pour l'ampleur de ce projet. Puis nous nous sommes dirigés vers celui qui nous est familier, afin d'éviter les barrières techniques. En effet, l'intérêt du projet se porte sur la qualité de l'algorithme et non sur l'apprentissage d'un nouveau langage. Ainsi, nous nous sommes orientés vers le langage C++.

II- Présentation de la catapulte

Une catapulte est constituée des éléments suivants :

- La longueur du bras (L_b)
- La masse du bras (M_b)
- L'angle de force de traction avec le bras (β – Béta)
- La masse du contrepoids responsable de la force de traction (M_c)
- La masse du projectile/boulet (M_p)
- La longueur de la base (L_r)
- L'angle de la base et du bras (α - alpha)



La première étape de notre réflexion est de déterminer comment « stocker » les informations de chaque catapulte, tout en ayant conscience que le nombre de catapultes par génération, étant au choix de l'utilisateur, peut être très grand. Utilisant le C++, il nous a été offert la possibilité d'utiliser les structures, les objets ou les tableaux. Bien que les ordres de grandeurs des éléments de la catapulte soient très différents d'un élément à l'autre, nous remarquons que chaque valeur peut être enregistrée sous un format « float » (stocké sur 4 octets, tel que le type int). De ce constat, nous décidons de stocker les informations d'une catapulte dans un tableau de float, bien plus léger qu'un objet ou une structure. La contrainte qu'implique l'utilisation d'un tableau, est de toujours respecter l'ordre d'insertion des éléments dans le tableau. Pour y

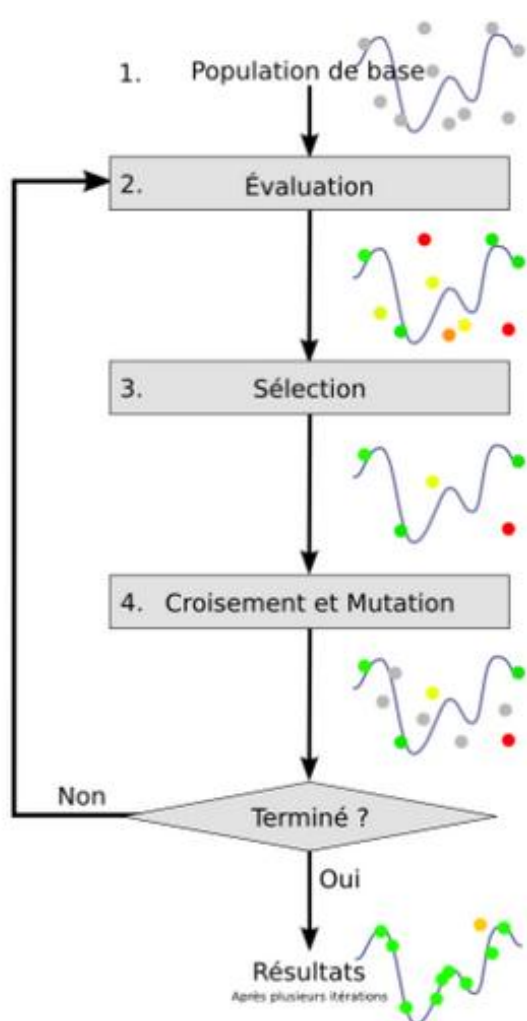
remédier, nous mettons en place des constantes qui nous faciliteront grandement l'accès aux données :

```
#define LB 0 //la longueur du bras Lb (en mètres)
#define MB 1 //la masse du bras mb (en kilos)
#define BETA 2 //l'angle de la force de traction avec le bras  $\beta$  (en degrés)
#define MC 3 //la masse du contrepoids responsable de la force de traction mc (en kilos)
#define MP 4 //la masse du projectile mp (en kilos)
#define LR 5 //la longueur de la base Lr (en mètres)
#define ALPHA 6 //l'angle  $\alpha$  (en degrés)
```

En conclusion, l'ensemble d'une génération sera donc stocké dans un tableau de tableau de float.

III- Cycle de vie

L'algorithme génétique suit un cycle de vie précis, ce dernier est composé de cinq étapes :



1 Création de la population de base :

il s'agit d'initialiser la population de N catapultes de manière aléatoire. Cette population se verra être l'origine de l'évolution et des générations futures.

2 Évaluation :

il s'agit de trouver les critères déterminants pour la performance d'une catapulte, afin de les analyser et de les noter. Chaque catapulte se voit donc attribuer un score lié à ses performances.

3 Sélection :

cette étape consiste à regrouper les individus par couple en vue de l'étape suivante.

4 Croisement :

composé en réalité des deux sous-étapes suivantes. La première étant l'enjambement, durant celle-ci, les deux catapultes parentes créent deux catapultes filles. C'est à ce stade que la mutation intervient, elle représente la part de hasard dans l'évolution de nos populations, en effet chaque gène de chaque catapulte a une chance d'être remplacé par un autre aléatoire.

5 Appréciation :

étape primordiale ayant lieu à la fin de la création de la génération, elle permet de définir si nous poursuivons

l'évolution ou si elle s'arrête à cette génération.

IV- Étape 1 : création de la population de base

La population de base est générée de manière aléatoire, mais en bornant les valeurs des éléments de la catapulte de manière « réaliste » (ex : un angle ne dépasse pas les 180°).

```
//Génère une catapulte et calcule son score suivant la gravité
void Catapult::genererCatapulte(float* &catapulte, float gravite){

    catapulte[LB] = genererGene(LB);
    catapulte[MB] = genererGene(MB);
    catapulte[BETA] = genererGene(BETA);
    catapulte[MC] = genererGene(MC);
    catapulte[MP] = genererGene(MP);
    catapulte[LR] = genererGene(LR);
    catapulte[ALPHA] = genererGene(ALPHA);
    catapulte[SCORE] = Catapult::calculScore(catapulte, gravite);
}
```

```
//Génère un gène en suivant son ordre de grandeur
int genererGene(int gene){
    switch(gene){
        case LB:
            return Catapult::randomBetween(1, 50);
        case MB:
            return Catapult::randomBetween(1, 2000);
        case BETA:
            return Catapult::randomBetween(0, 180);
        case MC:
            return Catapult::randomBetween(0, 10000);
        case MP:
            return Catapult::randomBetween(0, 10000);
        case LR:
            return Catapult::randomBetween(1, 50);
        case ALPHA:
            return Catapult::randomBetween(0, 180);
        default:
            return 0;
    }
}
```

V- Étape 2 : évaluation

Dans la fonction d'évaluation nous calculons un score qui nous servira à repérer l'efficacité de chaque catapulte. La première étape consiste donc à sélectionner les critères jugés déterminants. Il nous a été offert de nombreuses équations, nous permettant d'évaluer les performances de la catapulte.

Plus l'énergie cinétique transférée à la cible est grande plus les dégâts infligés sont importants. Sachant que l'objectif de la catapulte est de toucher une cible à une distance D en lui

imposant le maximum de dégâts, nous avons pris la décision de retenir trois critères pour la composition du score:

- La portée de la catapulte : il ne s'agit pas simplement d'encourager l'augmentation de la portée mais plutôt de la rapprocher au maximum de la distance D, à laquelle se trouve notre cible. Afin d'obtenir un score dans ce sens nous avons implémenté la loi normale également appelée loi de gauss. Cette loi nous permet d'obtenir un indice allant de 0 à 1, 1 étant lorsque la portée est égale à la distance, et 0 lorsqu'elle s'en éloigne à l'infini.
« La loi normale est l'une des lois de probabilité les plus adaptées pour modéliser des phénomènes naturels issus de plusieurs événements aléatoires » (Wikipedia)
- L'énergie cinétique : dans ce cas nous n'avons connaissance de la valeur « idéale », nous nous soucions juste de chercher à l'accroître le plus possible. Par conséquent il nous fallait utiliser une autre méthode afin d'évaluer l'énergie cinétique, nous nous sommes orienté vers l'arc tangente, cette fonction, via l'utilisation de la tangente, nous permet d'obtenir un indice, également compris entre 0 et 1.
- La viabilité de la catapulte : cet indice booléen est estimé via la fonction fournie dans le sujet. Nous considérons qu'une catapulte, même si elle n'est pas viable, peut fournir des éléments permettant l'évolution de la génération. Ainsi, nous décidons de diviser par deux les indices précédents pour former le score de cette catapulte. Ceci la rend clairement plus faible que les autres catapultes viables, mais permet de distinguer ses capacités des autres catapultes non-viables.

Le code final de cette fonction d'évaluation est le suivant :

```
//Définit le score d'une catapulte
float Catapult::calculScore(float* &catapult, float gravite){
    //Une catapulte se doit d'envoyer un boulet à une cible à une distance
    D avec l'énergie cinétique e la plus élevée
    float viableInd=1;
    float e = energieImpact(catapult, gravite);
    float p = portee(catapult, gravite);

    //Dans un premier temps il nous faut déterminer si la construction est
    viable
    if(!isViable(catapult, gravite))
        viableInd=PONDERATION_VIABLE;

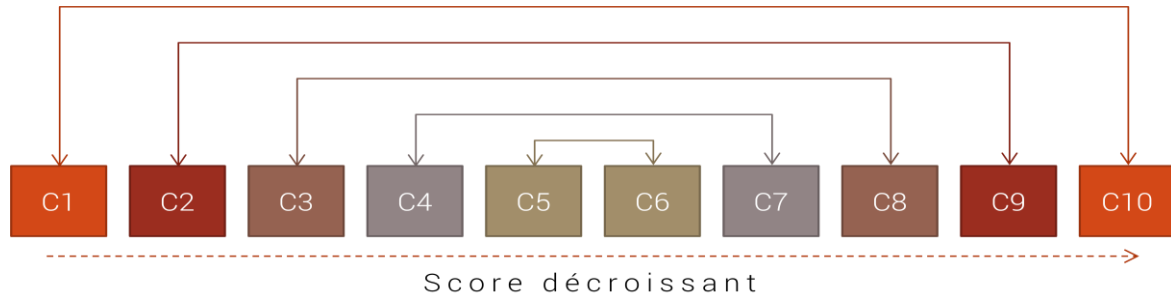
    //Indicateur de portée
    float porteeInd = exp(-(pow((p-DISTANCE), 2))/10000000);
    //Indicateur d'énergie
    float energieInd = (atan(e/1000000))/(M_PI/2);

    return (energieInd+porteeInd)*viableInd;
}
```

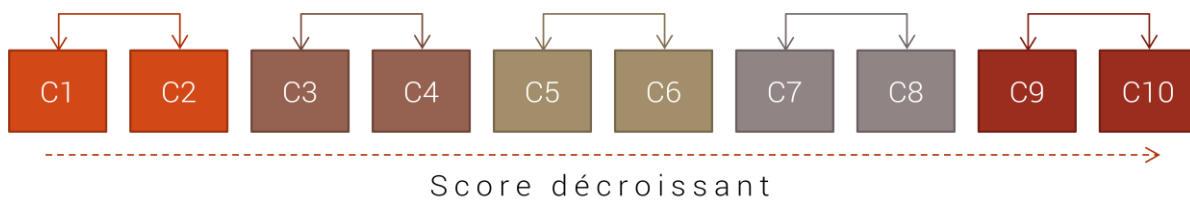
Le score idéal est donc de 2.

VI- Étape 3 : sélection

Nous nous sommes interrogés sur la manière de regrouper nos catapultes. Nous avons évoqué dans un premier temps de regrouper les catapultes ayant le meilleur score avec celle ayant le moins bon.



Cette méthode permet de faire évoluer l'ensemble de la génération, au détriment des meilleures catapultes. Or, le résultat attendu est la meilleure catapulte, de ce fait, nous nous sommes orientés vers la sélection par **élitisme**. Qui, certes, n'offrira pas une forte évolution de la génération entière mais favorisera celle des meilleures catapultes.



Pour se faire, nous implémentons un algorithme qui effectuera un tri sur le tableau suivant le score. Pour cette fonction nous avons utilisé une méthode de tri par commutation, cela consiste à parcourir chaque élément du tableau, et d'échanger sa position avec l'élément le suivant, si le score de ce dernier est supérieur. De la sorte, nous obtenons un tableau dont les catapultes sont triées sur le score par ordre décroissant.

VII- Étape 4 : croisement

A. Enjambement

L'enjambement consiste à fabriquer deux enfants par couple de catapulte. Pour se faire, la première étape consiste à définir un point de coupe des chromosomes. Les chromosomes des deux parents sont divisés en deux parties, qui formeront les deux enfant, tel que :

[GeneA1, GeneB1, GeneC1, GeneD1, GeneE1, GeneF1]	Père
[GeneA2, GeneB2, GeneC2, GeneD2, GeneE2, GeneF2]	Mère
↓	
[GeneA1, GeneB1, GeneC2, GeneD2, GeneE2, GeneF2]	Fils 1
[GeneA2, GeneB2, GeneC1, GeneD1, GeneE1, GeneF1]	Fils 2

Le point de coupe est défini aléatoirement entre le premier gène et le dernier, non inclus. De plus, ce point de coupe a 50% de chance de changer aléatoirement pour la création de l'enfant 2.

B. Mutation

La mutation est le facteur le plus aléatoire de l'évolution. Pour chaque gène de chaque catapulte, elle applique une chance de 5% de le faire muter, c'est-à-dire de remplacer la valeur du gène par une autre totalement aléatoire.

VIII- Étape 5 : appréciation

Certainement l'étape la plus complexe et néanmoins l'une des plus déterminante, car elle décide si l'évolution continue ou s'arrête. Afin de prendre la décision la plus juste, nous avons fait le choix de baser notre jugement sur des valeurs mathématiques. Nous cherchons à regarder comment les générations évoluent, pour cela nous calculons la valeur de la variance, de la moyenne et de la médiane.

La variance est un indice représentant la diversité de catapulte présente, dans notre cas nous regardons la diversité de score présent dans la population. L'idée est d'obtenir la variance la plus faible, car elle signifie que l'ensemble de la génération converge vers une même catapulte. Dans le cas contraire les générations se dispersent et donc manquent de productivité.

La [variation de la] moyenne indique si la population de cette génération évolue, mais pas nécessairement la meilleure catapulte, en réalité elle nous donne une notion d'écart.

La [variation de la] médiane est un autre indicateur de l'évolution de la population, elle n'est pas affectée par les valeurs extrêmes, contrairement à la moyenne, elle nous fournit quant-à elle une notion de dispersion.

Afin de constater une évolution, nous sauvegardons ces trois informations dans un tableau, sur les trois dernières générations. Nous forçons la création d'au moins 10 générations, avant de passer cette fonction d'appréciation. A chaque génération créée (à partir de la 11^{ème}), nous calculons le coefficient directeur de la variation de ces indices d'une génération à l'autre. Puis nous obtenons une tendance finale sur trois générations. De cette tendance nous instaurons les conditions suivantes :

```
//Si la variance diminue, et ce de plus de 2% alors la génération évolue toujours
bool variance = (evolutionVariance < -0.02);
//Si la médiane ou la moyenne est toujours en augmentation alors la génération évolue
bool med = (evolutionMediane > 0.06 || evolutionMoyenne > 0.08);
return (variance || med);
```

Le seuil de l'évolution de la moyenne est plus élevé car la moyenne est affectée par les valeurs extrêmes, et peut facilement varier de plus forte intensité par rapport à la médiane.

IX- Jeu de test

Enter a number (pair, $n > 0$) : 15000

Sur quel astre voulez-vous effectuer ce test ? (1) Terre (2) Lune (3) Jupiter
1

Meilleure catapulte de la génération 0

Score: 1.997676849365234375 points
Longueur bras: 39 mètres
Masse bras: 532 kilogrammes
Angle force traction: 49 degrés
Masse contrepoids: 4860 kilogrammes
Masse projectile: 8493 kilogrammes
Longueur base: 26 mètres
Angle alpha: 1 degrés
Energie: 302392032 joules
Portée: 253.3315887451171875 mètres

Génération n°0

-Moyenne: 0.85760686817566555983916032346314750611782073974609375
-Variance: 0.129974951359489493375124619101157463774143252521753311157227
-Médiane: 0.8557901680469512939453125

Meilleure catapulte de la génération 1

Score: 1.9970033168792724609375 points
Longueur bras: 30 mètres
Masse bras: 531 kilogrammes
Angle force traction: 178 degrés
Masse contrepoids: 482 kilogrammes
Masse projectile: 5187 kilogrammes
Longueur base: 25 mètres
Angle alpha: 1 degrés
Energie: 212890432 joules
Portée: 292.024993896484375 mètres

Génération n°1

-Moyenne: 0.8535745382947226289616082794964313507080078125
-Variance: 0.131257983601811917414269037518437244216329418122768402099609
-Médiane: 0.8519270420074462890625

Meilleure catapulte de la génération 2

Score: 1.9974384307861328125 points
Longueur bras: 30 mètres
Masse bras: 531 kilogrammes
Angle force traction: 7 degrés
Masse contrepoids: 2167 kilogrammes
Masse projectile: 6150 kilogrammes
Longueur base: 40 mètres
Angle alpha: 1 degrés
Energie: 327133888 joules
Portée: 378.469207763671875 mètres

Génération n°2

-Moyenne: 0.85473202963272731924604386222199536859989166259765625
-Variance: 0.133689527780688869755586559162630067021382274106144905090332
-Médiane: 0.856114327907562255859375

Meilleure catapulte de la génération 3

Score: 1.9982216358184814453125 points

Longueur bras: 39 mètres
Masse bras: 749 kilogrammes
Angle force traction: 172 degrés
Masse contrepoids: 4305 kilogrammes
Masse projectile: 8638 kilogrammes
Longueur base: 19 mètres
Angle alpha: 1 degrés
Energie: 430771488 joules
Portée: 354.824737548828125 mètres

Génération n°3

-Moyenne: 0.85510076109568278202033297930029220879077911376953125
-Variance: 0.132601910581640999400887016845818067167783738113939762115479
-Médiane: 0.8626947104930877685546875

Meilleure catapulte de la génération 4

Score: 1.99792134761810302734375 points
Longueur bras: 33 mètres
Masse bras: 565 kilogrammes
Angle force traction: 117 degrés
Masse contrepoids: 1958 kilogrammes
Masse projectile: 7981 kilogrammes
Longueur base: 40 mètres
Angle alpha: 1 degrés
Energie: 420931104 joules
Portée: 375.2613525390625 mètres

Génération n°4

-Moyenne: 0.8540999580701191806753058699541725218296051025390625
-Variance: 0.132571336452668664328507878991114665723216603510081768035889
-Médiane: 0.860747158527374267578125

Meilleure catapulte de la génération 5

Score: 1.99716961383819580078125 points
Longueur bras: 29 mètres
Masse bras: 732 kilogrammes
Angle force traction: 148 degrés
Masse contrepoids: 1384 kilogrammes
Masse projectile: 7271 kilogrammes
Longueur base: 39 mètres
Angle alpha: 1 degrés
Energie: 251079344 joules
Portée: 245.69537353515625 mètres

Génération n°5

-Moyenne: 0.85836234840552017022474728946690447628498077392578125
-Variance: 0.134723287136056050865545036243631216166249942034482955932617
-Médiane: 0.8652229607105255126953125

Meilleure catapulte de la génération 6

Score: 1.99810016155242919921875 points
Longueur bras: 42 mètres
Masse bras: 615 kilogrammes
Angle force traction: 117 degrés
Masse contrepoids: 1958 kilogrammes
Masse projectile: 8448 kilogrammes
Longueur base: 40 mètres
Angle alpha: 1 degrés

Energie: 434489280 joules
Portée: 365.936126708984375 mètres

Génération n°6

-Moyenne: 0.85925660464366282464965252074762247502803802490234375
-Variance: 0.133706610143612558981628460341717357096058549359440803527832
-Médiane: 0.8658539354801177978515625

Meilleure catapulte de la génération 7

Score: 1.9980585575103759765625 points
Longueur bras: 50 mètres
Masse bras: 155 kilogrammes
Angle force traction: 71 degrés
Masse contrepoids: 6670 kilogrammes
Masse projectile: 7832 kilogrammes
Longueur base: 48 mètres
Angle alpha: 1 degrés
Energie: 327976448 joules
Portée: 297.954620361328125 mètres

Génération n°7

-Moyenne: 0.85266748072703679728334691390045918524265289306640625
-Variance: 0.130679838766516857027390197121263781809830106794834136962891
-Médiane: 0.8631226122379302978515625

Meilleure catapulte de la génération 8

Score: 1.997301578521728515625 points
Longueur bras: 39 mètres
Masse bras: 865 kilogrammes
Angle force traction: 172 degrés
Masse contrepoids: 8005 kilogrammes
Masse projectile: 8638 kilogrammes
Longueur base: 19 mètres
Angle alpha: 1 degrés
Energie: 282922752 joules
Portée: 233.042327880859375 mètres

Génération n°8

-Moyenne: 0.856418941381573706195240447414107620716094970703125
-Variance: 0.135395601447408688426687385641944416647675097920000553131104
-Médiane: 0.86594104766845703125

Meilleure catapulte de la génération 9

Score: 1.9983108043670654296875 points
Longueur bras: 35 mètres
Masse bras: 745 kilogrammes
Angle force traction: 172 degrés
Masse contrepoids: 8005 kilogrammes
Masse projectile: 8638 kilogrammes
Longueur base: 19 mètres
Angle alpha: 1 degrés
Energie: 381406016 joules
Portée: 314.16259765625 mètres

Génération n°9

-Moyenne: 0.85792929557661212758290503188618458807468414306640625
-Variance: 0.136882215879842850114484625878574775015295017510652542114258
-Médiane: 0.862401485443115234375

evolutionMoyenne: -0.0026361066550899359330174207558319943167646215442800894379615

evolutionMediane: -0.0073529265938582105422018737536649091168783343164250254631045
evolutionVariance: -0.025106598953226657739974496397206138453839230351150035858143

Meilleure catapulte de la génération 10

Score: 1.99668252468109130859375 points

Longueur bras: 26 mètres

Masse bras: 353 kilogrammes

Angle force traction: 150 degrés

Masse contrepoids: 7923 kilogrammes

Masse projectile: 7008 kilogrammes

Longueur base: 34 mètres

Angle alpha: 1 degrés

Energie: 225888096 joules

Portée: 229.3397674560546875 mètres

Génération n°10

-Moyenne: 0.85671782266000906513880863712984137237071990966796875

-Variance: 0.132806075350042242973484969692510304639654350467026233673096

-Médiane: 0.864258110523223876953125

evolutionMoyenne: -0.0031756588101762702053242873236754695298600381647702306509017

evolutionMediane: 0.00624038724475219468512898974080216341064897278556600213050842

evolutionVariance: -0.040758236060453642761420645426739817196448711911216378211975

Meilleure catapulte de la génération 11

Score: 1.99793910980224609375 points

Longueur bras: 1 mètres

Masse bras: 775 kilogrammes

Angle force traction: 162 degrés

Masse contrepoids: 882 kilogrammes

Masse projectile: 7745 kilogrammes

Longueur base: 3 mètres

Angle alpha: 1 degrés

Energie: 311714528 joules

Portée: 286.36224365234375 mètres

Génération n°11

-Moyenne: 0.85755963563422366036093080765567719936370849609375

-Variance: 0.135125539469950999742816483140117611583264078944921493530273

-Médiane: 0.8691093623638153076171875

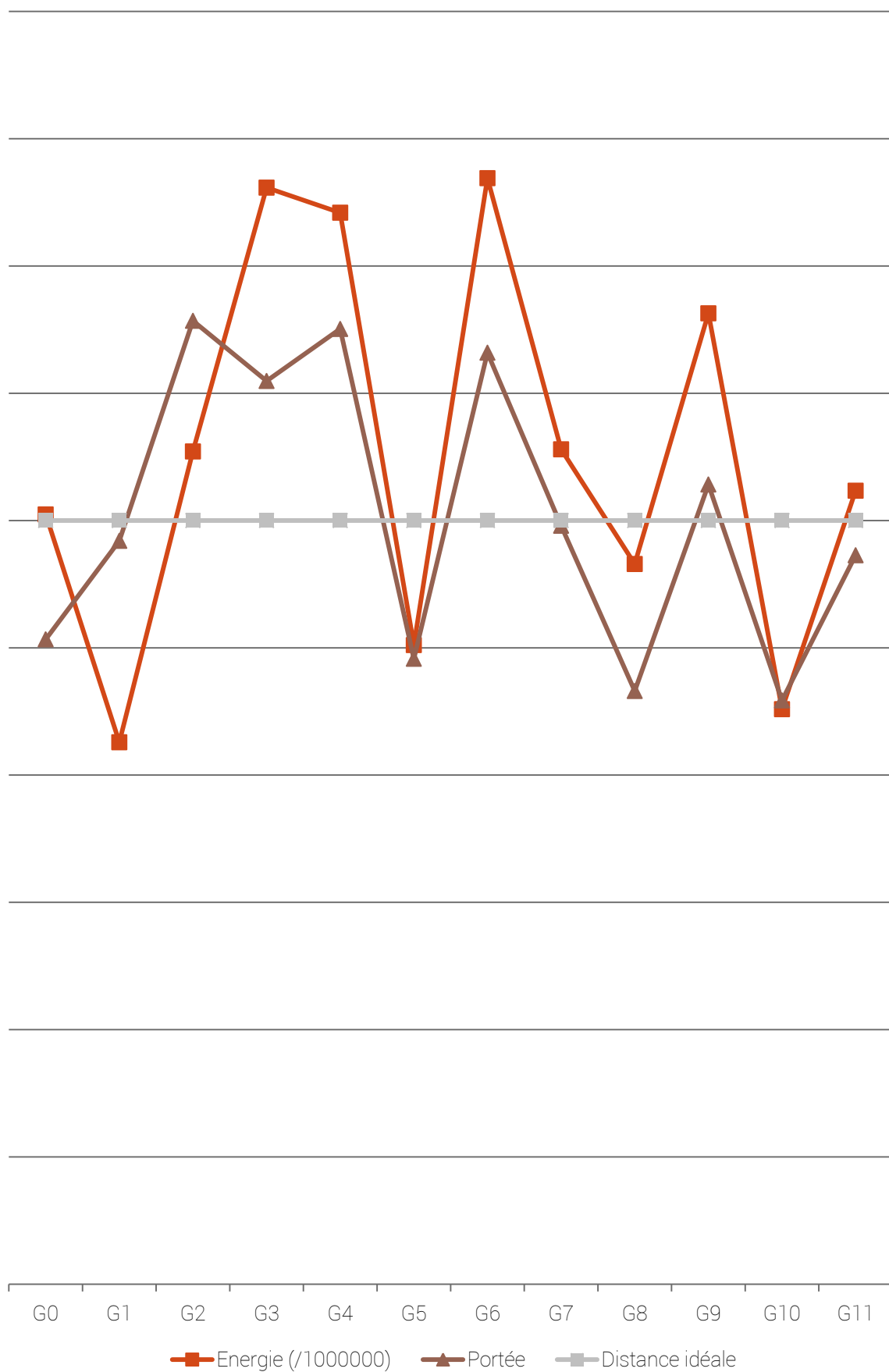
evolutionMoyenne: 0.00239469184417091085423300272742863636921129000256769359111786

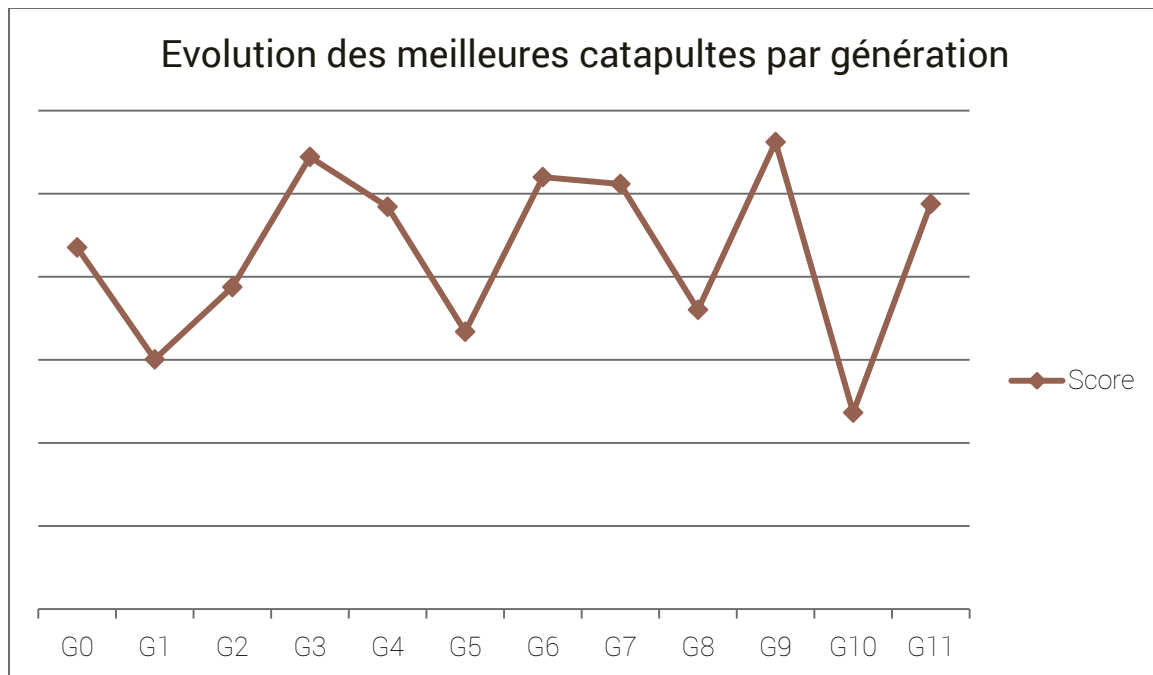
evolutionMediane: 0.00346034324707272011516829451124172001286183331103529781103134

evolutionVariance: 0.0472434975360186553605863508248363658026391931343823671340942

Nombre de générations: 12

Evolution des meilleures catapultes par génération





Afin de vérifier notre algorithme d'évolution nous avons utilisé un seed, nous permettant de générer deux populations initiales identiques. De ce fait nous avons pu constater que l'algorithme génétique prenait le même chemin et offrait un résultat très similaire. Nous pouvons en déduire que l'algorithme n'est pas dicté mais est accompagné par le hasard.

X- Conclusion

Nous nous sommes réellement investis dans ce projet, notamment dans la recherche du meilleur fonctionnement, du meilleur algorithme permettant de prendre les meilleures décisions, et fournir le meilleur résultat. La recherche et la réflexion qui ont construit ce projet l'ont rendu vraiment passionnant. Nous espérons néanmoins que les résultats seront à la hauteur de vos espérances et que les décisions prises soient en accord avec l'esprit de l'algorithme génétique.