

SESSION 2014

**CAPES
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP**

SECTION PHYSIQUE-CHIMIE

EXPLOITATION D'UN DOSSIER DOCUMENTAIRE

Durée : 5 heures

Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

NB : La copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé comporte notamment la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de signer ou de l'identifier.

Tournez la page S.V.P.

THÈME : LA PERFORMANCE ET LE SPORT

A l'aide du dossier documentaire en annexe, on se propose d'aborder le thème de la performance sportive au travers de différentes activités pédagogiques et d'études scientifiques.

Le dossier documentaire est constitué de différentes annexes :

Annexe 1. Extraits réglementaires et officiels.

- . **Annexe 1.1** – Extrait du B.O. spécial n°4 du 29 avril 2010 relatif au programme de l'enseignement de physique-chimie du tronc commun en classe de seconde générale et technologique.
- . **Annexe 1.2** – Extrait du B.O. spécial n°3 du 17 mars 2011 relatif au programme de physique-chimie du tronc commun des séries STI-2D et STL.
- . **Annexe 1.3** – Extrait du B.O. spécial n°8 du 13 octobre 2011 relatif au programme de l'enseignement spécifique et de spécialité de physique-chimie en classe de terminale de la série scientifique.

Annexe 2. Documents supports à l'enseignement et productions d'élèves.

- . **Annexe 2.1** – Le rugby, sport de contact et d'évitement.

Annexe 3. Documents scientifiques et techniques liés au thème du sujet.

- . **Annexe 3.1** – Lancers de 'poids'.
- . **Annexe 3.2** – La force de traînée.
- . **Annexe 3.3** – La performance en saut en longueur.
- . **Annexe 3.4** – Aussi vite, aussi haut, aussi fort
- . **Annexe 3.5** – La performance en sprint.
- . **Annexe 3.6** – Les dégagements du ballon rond.
- . **Annexe 3.7** – Lactate et exercice : mythes et réalités.
- . **Annexe 3.8** – Acide lactique et spectre du proton.
- . **Annexe 3.9** – La détection des bulles circulantes.

Document réponse (à rendre avec la copie)

- . **Document A1** – Un extrait de copie d'élève.

LA PERFORMANCE ET LE SPORT

1. La performance en rugby : entre le contact et l'évitement.

On s'intéresse tout d'abord au document 1 de l'annexe 2.1. Ce document est l'énoncé d'un exercice donné au baccalauréat en 2013. Le document A1, en annexe, est un extrait d'une copie d'élève rédigée dans le cadre d'un devoir sur table. Ce document réponse est à rendre avec la copie.

- 1.1. Quelles sont les connaissances - notions et contenus - et les compétences évaluées par l'exercice ?
- 1.2. Corriger la copie de l'élève dans la perspective de l'aider à s'auto-corriger. Les annotations et les commentaires seront écrits lisiblement - au stylo rouge - sur le document A1 en annexe, **à rendre avec la copie du candidat.**
- 1.3. Rédiger une solution de la dernière question de l'exercice.
- 1.4. Identifier les principales difficultés rencontrées par l'élève. Une réponse de 5 lignes maximum est attendue.

2. La performance en athlétisme.

Le lancer de poids

Pour les questions concernant cette partie, on utilisera l'annexe 3.1 'Lancers de poids' présentant un extrait de la thèse d'Olivier Rambaud.

- 2.1. À quels niveaux et dans quels types d'activités peut-on envisager d'utiliser tout ou partie de ce document pour des élèves de lycée ? Une réponse de 20 lignes maximum est attendue.
- 2.2. Démontrer l'expression donnant la distance horizontale L atteinte par l'engin de lancer.
- 2.3. On peut lire : « L'angle d'envol de l'engin est fortement influencé par la technique. Les valeurs optimales moyennes d'angles sont de 42 degrés pour le poids (...). ». Pourquoi cet angle optimal n'est-il pas de 45° ? Calculer la valeur de la hauteur d'envol h_0 de l'engin pour un lancer de poids.
- 2.4. Déterminer l'ordre de grandeur de la force appliquée par le lanceur sur le projectile lors de la phase d'éjection.
- 2.5. A l'aide d'un schéma, effectuer un bilan des forces extérieures s'exerçant sur le système {lanceur + projectile}. En appliquant le principe fondamental de la dynamique sur ce système, déterminer - en introduisant toute grandeur utile à votre résolution - un ordre de grandeur des forces de réaction horizontale et verticale du sol sur le lanceur lors de la phase d'éjection du lancer de poids. Les éventuelles approximations seront justifiées.

Par la suite, on s'intéresse à l'influence de la résistance de l'air (voir annexe 3.2)

- 2.6. Par analyse dimensionnelle, déterminer l'unité dans le système international de la viscosité dynamique η . Calculer la valeur du nombre de Reynolds associé à la phase de vol. L'écoulement de l'air autour de l'engin est-il laminaire ou turbulent ?
- 2.7. Calculer la valeur de la force de trainée s'exerçant sur le poids à son envol, et estimer (à un facteur 2 près) son travail pendant la phase de vol. Que conclure alors ?

Le saut en longueur

Les différentes phases du saut en longueur sont présentées sur le document 1 de l'annexe 3.3.

- 2.8. Commenter la valeur de l'angle d'envol indiquée dans le document 3 de l'annexe 3.3. Proposer une explication qualitative. Une réponse de 5 lignes maximum est attendue.
- 2.9. Le document 2 de l'annexe 3.3 présente Brittney REESE lors de la phase de réception. A l'aide des documents de l'annexe 3.3, estimer la valeur de la longueur de réception notée l_3 si l'athlète tombe en avant. On précisera les approximations effectuées.
- 2.10. Quelles sont les différences et les analogies entre l'étude du lancer de poids et l'étude d'un saut en longueur du point de vue de la mécanique ? Une réponse de 10 lignes maximum est attendue.

Le sprint

2.11. Retrouver les deux estimations de l'énergie fournie par quadriceps (850 J et 480 J) annoncées par les auteurs de l'article de Pour la Science (annexe 3.4).

2.12. Résolution de problème :

A quelle vitesse maximale un homme peut-il courir lors d'un sprint ? On pourra utiliser les annexes 3.4 et 3.5, pour répondre à cette question.

Pour déterminer les valeurs numériques, il sera peut-être nécessaire d'estimer la valeur de grandeurs physiques qui ne seront pas données par l'énoncé.

Il est par exemple attendu que :

- *un choix des notations utilisées en attribuant un nom à chacune des grandeurs physiques introduites. Les calculs devront être menés sous forme littérale, avec pour objectif final d'obtenir une valeur numérique ;*
- *une présentation claire des éventuelles hypothèses choisies et un commentaire argumenté sur les phénomènes qui seront considérés comme négligeable ;*
- *une analyse du résultat obtenu.*

3. La performance en football.

L'annexe 3.6 est un extrait d'un article de Pour la Science sur le football.

- 3.1. Les auteurs affirment que « la traînée ne devient égale au poids que pour une vitesse d'un peu plus de 30 mètres par seconde ». Sachant qu'un ballon de football a un diamètre de 22 cm, calculer plus précisément la valeur de sa vitesse pour laquelle la force de trainée est égale à son poids.
- 3.2. Montrer que, comme l'affirment les auteurs, lorsqu'un projectile est soumis uniquement à la force de trainée, la vitesse décroît exponentiellement avec la distance. Définir la distance de décroissance caractéristique de la vitesse et la calculer pour un ballon de football. La valeur obtenue est-elle conforme aux prédictions des auteurs ?

4. La crampe : source de contre-performance.

Le document de l'annexe 3.7 présente un extrait d'un article scientifique. Si cet article utilise le vocabulaire utilisé par les biochimistes, les questions qui suivent s'adressent à des chimistes.

- 4.1. Un groupe à effectif réduit d'élèves de terminale scientifique sont réunis dans le cadre de l'accompagnement personnalisé pour la partie approfondissement des notions étudiées. Présenter alors un scénario – 10 lignes au maximum - pour que ce groupe puisse arriver à la conclusion que le spectre RMN proposé dans l'annexe 3.8 correspond bien à une partie significative de celui de l'acide lactique.
- 4.2. En s'appuyant sur les données qualitatives et quantitatives des documents du dossier documentaire et en mobilisant les connaissances nécessaires, présenter deux autres notions et contenus que l'étude de l'acide lactique permet dans le cadre d'un enseignement en terminale scientifique. La réponse doit comporter les explications et justifications – schémas, textes, calculs, qu'un professeur doit présenter à ses élèves.
- 4.3. Valider quantitativement le fait que les réserves d'ATP dans le corps ne peuvent qu'à peine assumer « un départ de sprint ». Des informations données dans le document de l'annexe 3.4 peuvent être utilisées.
- 4.4. Comment peut-on justifier que l'exercice musculaire est associé à la production de lactate - et non d'acide lactique - à une classe de terminale scientifique ?
- 4.5. Après avoir donné une définition de l'acidose, justifier son apparition. Puis identifier les erreurs couramment répandues sur le lien entre crampe musculaire et l'acide lactique.

5. La plongée : les bulles circulantes.

L'annexe 3.9 se compose :

- d'un extrait de la notice du détecteur de bulles Doppler permettant de mettre en évidence la formation des bulles de gaz se formant dans l'organisme lors d'une plongée sous-marine (document 1) ;
- d'un extrait d'un article traitant de la réflexion et de la transmission d'ondes ultrasonores (document 2) ;
- et de données numériques (document 3).

5.1. Pour quelle raison des bulles de gaz peuvent se former dans l'organisme du plongeur lors de la remontée en plongée ?

5.2. Démontrer l'expression de la fréquence du signal reçu par la sonde (source et détecteur du signal ultrasonore) en fonction de la fréquence du signal émis, de la célérité du son dans le milieu c et de la vitesse des bulles v (v est petite devant c). On supposera que les bulles se déplacent avec une vitesse constante en direction de la sonde.

Dans la notice, il est écrit : « La modulation résultante est alors identifiée par l'appareil, le signal perçu étant d'autant plus aigu que la vitesse des éléments est grande. » Cette affirmation est-elle validée ?

5.3. Rappeler l'expression d'une onde progressive se propageant vers les x croissants.

On appelle impédance acoustique dans un milieu le rapport $Z = \frac{p}{v}$ de la surpression p (ou pression acoustique) et de la vitesse v des particules de fluide lors de la propagation d'une onde sonore. À l'aide de l'équation d'Euler (à une dimension) linéarisée dans le cadre de l'approximation acoustique, montrer que l'impédance acoustique s'écrit $Z_0 = \rho_0 \cdot c$, où ρ_0 est la masse volumique du fluide au repos et c est la célérité du son dans le milieu. Quelle est l'unité SI de l'impédance acoustique ?

5.4. Quelle relation vérifient les coefficients de réflexion R et de transmission T introduits dans le document 2 ? Pourquoi ?

5.5. Montrer qu'il est nécessaire de mettre un gel pour pouvoir détecter les bulles circulantes dans l'organisme du plongeur. Donner une estimation de la valeur optimale de son impédance acoustique.

5.6. Sachant que la valeur minimale du rayon des bulles circulantes que l'on peut détecter est de 30 à 50 μm , le signal reçu a-t-il été réfléchi ou rétrodiffusé par les bulles ?

5.7. Calculer les valeurs I_{\min} et I_{\max} de l'intensité sonore dans la zone d'observation, où les faisceaux émis et réfléchis se croisent, en estimant que le diamètre de la pastille piézo-électrique est de 5,0 mm.

FIN DU SUJET

DOSSIER DOCUMENTAIRE

ANNEXE 1 – Textes réglementaires et officiels

ANNEXE 1.1 – Programme de physique-chimie du tronc commun en classe de seconde

Extrait du B.O. n°4 du 29 avril 2010 relatif au programme de l'enseignement de physique-chimie du tronc commun en classe de seconde générale et technologique.

LA PRATIQUE DU SPORT

La pratique du sport est fortement répandue dans nos sociétés, dans les loisirs ou en compétition.

L'objectif premier de ce thème est de montrer concrètement que l'analyse de l'activité sportive est possible en ayant recours à des connaissances et à des méthodes scientifiques. Leur prise en compte dans une approche pluridisciplinaire permet d'améliorer la pratique sportive et de l'adapter de façon raisonnée à la recherche d'un bon état de santé.

| NOTIONS ET CONTENUS | COMPÉTENCES ATTENDUES |
|---|---|
| L'étude du mouvement : l'observation, l'analyse de mouvements et le chronométrage constituent une aide à l'activité sportive. Des lois de la physique permettent d'appréhender la nature des mouvements effectués dans ce cadre. | |
| Relativité du mouvement. Référentiel. Trajectoire. Mesure d'une durée ; chronométrage. | Comprendre que la nature du mouvement observé dépend du référentiel choisi. <i>Réaliser et exploiter des enregistrements vidéo pour analyser des mouvements.</i> Porter un regard critique sur un protocole de mesure d'une durée en fonction de la précision attendue |
| Actions mécaniques, modélisation par une force. Effets d'une force sur le mouvement d'un corps : modification de la vitesse, modification de la trajectoire. Rôle de la masse du corps. Principe d'inertie. | Savoir qu'une force s'exerçant sur un corps modifie la valeur de sa vitesse et/ou la direction de son mouvement et que cette modification dépend de la masse du corps. Utiliser le principe d'inertie pour interpréter des mouvements simples en termes de forces. <i>Réaliser et exploiter des enregistrements vidéo pour analyser des mouvements.</i> |

ANNEXE 1.2 – Programme de physique-chimie en première STI-2D et STL

Extrait du B.O. spécial n°3 du 17 mars 2011 relatif au programme de l'enseignement de physique-chimie du tronc commun des séries STI-2D et STL.

| Notions et contenus | Capacités exigibles |
|--|---|
| Mise en mouvement | |
| Référentiels, trajectoires, vitesse, vitesse angulaire, accélération. | - Mesurer des vitesses et des accélérations. - Écrire et appliquer la relation entre distance parcourue et vitesse dans un mouvement de translation à vitesse ou à accélération constante. - Citer des ordres de grandeurs de vitesses et d'accélérations. - Écrire et appliquer la relation entre vitesse et vitesse angulaire. - Écrire et appliquer la relation donnant l'angle balayé dans un mouvement de rotation à vitesse angulaire constante. |
| Énergie cinétique d'un solide en mouvement de translation. Énergie cinétique d'un solide en mouvement de rotation ; moment d'inertie d'un solide par rapport à un axe. Énergie potentielle de pesanteur. Énergie potentielle élastique. Énergie mécanique. | - Écrire et exploiter les relations de définition de l'énergie cinétique d'un solide en translation ou en rotation. - Prévoir les effets d'une modification de l'énergie cinétique d'un solide en mouvement de translation ou de rotation. - Analyser des variations de vitesse en termes d'échanges entre énergie cinétique et énergie potentielle. - Exprimer et utiliser l'énergie mécanique d'un solide en mouvement. - Analyser un mouvement en termes de conservation et de non-conservation de l'énergie mécanique et en terme de puissance moyenne. |

ANNEXE 1.3 – Programme de physique-chimie en terminale S

Extrait du B.O. n°8 du 13 octobre 2011 relatif au programme de l'enseignement spécifique de physique-chimie en classe de terminale de la série scientifique.

| Notions et contenus | Compétences exigibles |
|--|--|
| Temps, mouvement et évolution | |
| <p>Temps, cinématique et dynamique newtoniennes Description du mouvement d'un point au cours du temps : vecteurs position, vitesse et accélération.</p> <p>Référentiel galiléen.</p> <p>Lois de Newton : principe d'inertie, $\sum \vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$ et principe des actions réciproques.</p> <p>Conservation de la quantité de mouvement d'un système isolé.</p> <p>Mouvement d'un satellite. Révolution de la Terre autour du Soleil.</p> <p>Lois de Kepler.</p> | <p>Extraire et exploiter des informations relatives à la mesure du temps pour justifier l'évolution de la définition de la seconde.</p> <p>Choisir un référentiel d'étude. Définir et reconnaître des mouvements (rectiligne uniforme, rectiligne uniformément varié, circulaire uniforme, circulaire non uniforme) et donner dans chaque cas les caractéristiques du vecteur accélération.</p> <p>Définir la quantité de mouvement \vec{p} d'un point matériel.</p> <p>Connaître et exploiter les trois lois de Newton ; les mettre en œuvre pour étudier des mouvements dans des champs de pesanteur et électrostatique uniformes. <i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour étudier un mouvement.</i></p> <p><i>Mettre en œuvre une démarche expérimentale pour interpréter un mode de propulsion par réaction à l'aide d'un bilan qualitatif de quantité de mouvement.</i></p> <p>Démontrer que, dans l'approximation des trajectoires circulaires, le mouvement d'un satellite, d'une planète, est uniforme. Établir l'expression de sa vitesse et de sa période.</p> <p>Connaître les trois lois de Kepler ; exploiter la troisième dans le cas d'un mouvement circulaire.</p> |
| Structure et transformation de la matière | |
| <p>Représentation spatiale des molécules Chiralité : définition, approche historique.</p> <p>Représentation de Cram.</p> <p>Carbone asymétrique. Chiralité des acides α -aminés.</p> <p>Énantiomérie, mélange racémique, diastéréoisomérisation (Z/E, deux atomes de carbone asymétriques).</p> <p>Conformation : rotation autour d'une liaison simple ; conformation la plus stable.</p> <p>Formule topologique des molécules organiques.</p> <p>Propriétés biologiques et stéréoisomérisation.</p> <p>Réaction chimique par échange de proton Le pH : définition, mesure. Théorie de Brønsted : acides faibles, bases faibles ; notion d'équilibre ; couple acide-base ; constante d'acidité Ka. Échelle des pKa dans l'eau, produit ionique de l'eau ; domaines de prédominance (cas des acides carboxyliques, des amines, des acides α aminés)</p> | <p>Reconnaître des espèces chirales à partir de leur représentation.</p> <p>Utiliser la représentation de Cram.</p> <p>Identifier les atomes de carbone asymétrique d'une molécule donnée.</p> <p>À partir d'un modèle moléculaire ou d'une représentation reconnaître si des molécules sont identiques, énantiomères ou diastéréoisomères. <i>Pratiquer une démarche expérimentale pour mettre en évidence des propriétés différentes de diastéréoisomères.</i></p> <p><i>Visualiser, à partir d'un modèle moléculaire ou d'un logiciel de simulation, les différentes conformations d'une molécule.</i></p> <p>Utiliser la représentation topologique des molécules organiques.</p> <p>Extraire et exploiter des informations sur : - les propriétés biologiques de stéréoisomères, - les conformations de molécules biologiques, pour mettre en évidence l'importance de la stéréoisomérisation dans la nature.</p> <p>Mesurer le pH d'une solution aqueuse. Reconnaître un acide, une base dans la théorie de Brønsted.</p> <p>Identifier l'espèce prédominante d'un couple acide-base connaissant le pH du milieu et le pKa du couple.</p> |

DOSSIER DOCUMENTAIRE
ANNEXE 2 – Documents supports à l’enseignement et productions d’élèves.

ANNEXE 2.1 – Le rugby, un sport de contact et d’évitement.

Document 1. Enoncé d’un exercice donné au BACCALAUREAT S 2013 (Liban)

EXERCICE II : LE RUGBY, SPORT DE CONTACT ET D’ÉVITEMENT

Le rugby est un sport d’équipe qui s’est développé dans les pays anglo-saxons à la fin du XIX^{ème} siècle. Pour simplifier l’étude, les joueurs et le ballon seront supposés ponctuels.

Les parties 1 et 2 sont indépendantes.

1. Le rugby, sport de contact

Document 1 : le plaquage

Il y a « plaquage » lorsqu’un joueur porteur du ballon, sur ses pieds dans le champ de jeu, est simultanément tenu par un ou plusieurs adversaires, qu’il est mis au sol et/ou que le ballon touche le sol. Ce joueur est appelé « joueur plaqué ».

D’après <http://www.francerrugby.fr/>

Un joueur A de masse $m_A = 115 \text{ kg}$ et animé d’une vitesse $v_A = 5,0 \text{ m.s}^{-1}$ est plaqué par un joueur B de masse $m_B = 110 \text{ kg}$ et de vitesse négligeable.

- 1.1. Dans quel référentiel les vitesses sont-elles définies ?
- 1.2. On suppose que l’ensemble des deux joueurs est un système isolé.
Exprimer, en justifiant le raisonnement, la vitesse des deux joueurs liés après l’impact puis calculer sa valeur.

2. Le rugby, sport d’évitement.

Document 2 : La chandelle

Au rugby, une « chandelle » désigne un coup de pied permettant d’envoyer le ballon en hauteur par-dessus la ligne de défense adverse. L’objectif pour l’auteur de cette action est d’être au point de chute pour récupérer le ballon derrière le rideau défensif.

D’après <http://www.francerrugby.fr/>

On se place dans le référentiel terrestre supposé galiléen.

Le champ de pesanteur terrestre est considéré uniforme, de valeur $g = 9,81 \text{ N.kg}^{-1}$.

On négligera toutes les actions dues à l’air.

Le joueur A est animé d’un mouvement rectiligne uniforme de vecteur vitesse \vec{V}_1 .

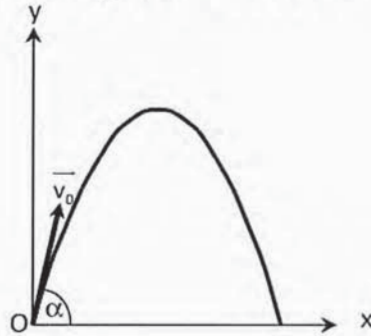
Afin d’éviter un plaquage, il réalise une chandelle au-dessus de son adversaire.

On définit un repère (O, \vec{i}, \vec{j}) :

- origine : position initiale du ballon ;
- vecteur unitaire \vec{i} de même direction et de même sens que \vec{V}_1 ;
- vecteur unitaire \vec{j} vertical et vers le haut.

À l'instant $t = 0$ s, le vecteur vitesse du ballon fait un angle α égal à 60° avec l'axe Ox et sa valeur est $v_0 = 10,0 \text{ m.s}^{-1}$.

Le graphique ci-dessous représente la trajectoire du ballon dans le repère choisi.



2.1. Étude du mouvement du ballon.

2.1.1. Établir les coordonnées a_x et a_y du vecteur accélération du point M représentant le ballon.

2.1.2. Montrer que les équations horaires du mouvement du point M sont :

$$x(t) = (v_0 \cdot \cos\alpha) \cdot t \quad \text{et} \quad y(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + (v_0 \cdot \sin\alpha) \cdot t$$

2.1.3. En déduire l'équation de la trajectoire du point M :

$$y(x) = -\frac{g}{2(v_0 \cdot \cos\alpha)^2} \cdot x^2 + (\tan\alpha) \cdot x$$

2.1.4. Le tableau de **I'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE** rassemble les représentations graphiques de l'évolution dans le temps des grandeurs x , y , v_x et v_y , coordonnées des vecteurs position et vitesse du point M. Dans le tableau de **I'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**, écrire sous chaque courbe l'expression de la grandeur qui lui correspond et justifier.

2.2. Une « chandelle » réussie

2.2.1. Déterminer par le calcul le temps dont dispose le joueur pour récupérer le ballon avant que celui-ci ne touche le sol.

Vérifier la valeur obtenue en faisant clairement apparaître la réponse sur l'un des graphes du tableau de **I'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**.

Déterminer de deux manières différentes la valeur de la vitesse v_1 du joueur pour que la chandelle soit réussie.

DOSSIER DOCUMENTAIRE

ANNEXE 3 – Documents scientifiques et techniques liés au thème du sujet

ANNEXE 3.1 – Lancers de 'poids'.

Extrait de la thèse d'Olivier Rambaud, « Facteurs musculaires associés à la performance en lancer », soutenue le 19 juin 2008, Université de Lyon

1.1.1. Principes généraux

L'action de lancer peut être définie comme le fait de projeter quelque chose à travers l'air ou l'espace, grâce à l'application d'une force, depuis la main ou le bras. De manière générale, le but est de lancer des projectiles de formes et de masses différentes en leur transmettant, par des actions musculaires coordonnées, une vitesse d'envol maximale. Il existe quatre disciplines de lancer athlétique : le disque, le poids, le marteau et le javelot. Le lancer peut se diviser en deux phases : la phase de lancement et la phase de vol.

La phase de lancement des quatre disciplines de lancer est caractérisée par la succession de trois actions distinctes :

- (i) la mise en mouvement du système mécanique constitué par le lanceur et son engin,
- (ii) l'accélération du lanceur et de l'engin dans l'aire de lancer,
- (iii) l'éjection finale de l'engin.

Le but de la phase de lancement est d'atteindre les conditions optimales d'envol pour l'engin. La distance parcourue par l'engin dépendra des paramètres décrits sur la figure 1 :

- (i) la hauteur d'envol par rapport au sol,
- (ii) l'angle d'envol de l'engin par rapport au sol,
- (iii) la vitesse d'envol de l'engin.

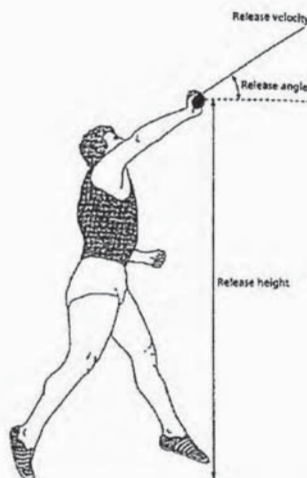


Figure 1 : Les paramètres d'éjection influençant la performance en lancer décrit par Bartonietz (tirée de Bartlett 2000).

Après l'éjection, la trajectoire de l'engin répond aux lois de la balistique. Pendant, la phase de vol, l'engin sera soumis aux forces gravitationnelles et aérodynamiques.

La hauteur d'envol par rapport au sol est principalement déterminée par la morphologie du lanceur mais également par son niveau technique. Les lanceurs présentent en général des dimensions corporelles exceptionnelles (Sidhu et coll. 1975, Morrow et coll. 1982).

L'angle d'envol de l'engin est fortement influencé par la technique. Les valeurs optimales moyennes d'angles sont de 42 degrés pour le poids, de 35 degrés pour le disque, de 34 degrés pour le javelot et de 44 degrés pour le marteau (Bartonietz 1993).

Quelle que soit la discipline de lancer, l'objectif est d'imprimer à l'engin la plus grande vitesse possible sur une durée de mouvement brève. Dans cet objectif, la trajectoire de l'engin durant le déplacement dans l'aire de lancer, devra être la plus grande possible (Bartonietz 1993). La vitesse à laquelle l'engin est éjecté est influencée d'une part, par les qualités musculaires du lanceur, et d'autre part, par l'aspect technique. D'un point de vue général, ce dernier dépend de la coordination et de la synchronisation du recrutement des différents groupes musculaires impliqués dans le mouvement. La vitesse finale à laquelle l'engin est lâché est le principal facteur déterminant la performance en lancer car la distance parcourue par l'engin est proportionnelle à la vitesse au carré comme le montre la formule suivante :

$$L = \frac{V_0^2}{g} \cos \alpha_0 \left(\sin \alpha_0 + \sqrt{\sin^2 \alpha_0 + \frac{2gh_0}{V_0^2}} \right)$$

où L est la distance horizontale en m atteinte par l'engin de lancer, g est l'accélération de la gravité soit $9,81\text{m.s}^{-2}$, V_0 est la vitesse d'éjection de l'engin exprimée en m.s^{-1} , h_0 est la hauteur d'envol de l'engin exprimée en m, et α_0 est l'angle d'envol de l'engin exprimé en degrés.

Enfin la trajectoire de l'engin, pendant le vol (*i.e.* la performance), sera fortement influencée par les conditions climatiques.

1.1.2. Le poids

Originellement issu de l'Antiquité, le lancer mesuré à Olympie avec la pierre de Bybon n'a que très peu de rapport avec sa pratique contemporaine. A partir du XII^{ème} siècle, à l'instar du marteau, le lancer de poids fait son apparition dans l'éducation des jeunes princes britanniques. C'est au XIX^{ème} siècle que le poids prend la forme sphérique et sa masse officialisée à 7,260 kg pour les hommes, en référence au poids du boulet de canon utilisé dans l'artillerie à cette époque. Pour les hommes, ces dimensions ont été conservées jusqu'à nos jours. Pour les femmes, le poids a une masse de 4 kg.

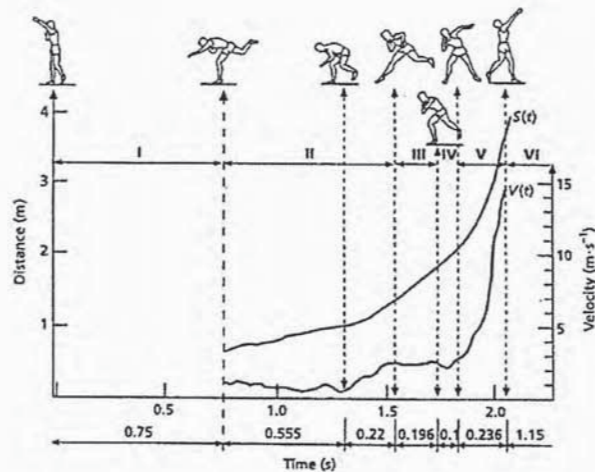


Figure 2 : Evolution du déplacement et de la vitesse de l'engin pour un lancer de poids en translation (adapté de Susanka 1974 ; tiré de Lanka 2000).

I : phase préparatoire, II : phase de départ, III : phase de vol, IV : phase de transition, V : phase d'éjection, VI : phase terminale.

Le lancer de poids se décompose en 6 phases. Les phases I et II correspondent à la mise en mouvement du système lanceur-engin. Pendant cette phase, l'engin atteint une vitesse de 2,5 m.s⁻¹. La phase III correspond à la phase du sursaut rasant. Durant cette phase, la vitesse de l'engin ne varie pas de façon significative. Durant la phase IV, on observe une rotation du tronc qui précède la phase V correspondant à une extension du membre inférieur d'appui, une rotation du tronc et à l'extension du membre supérieur. L'engin est éjecté à la fin de cette phase. Pendant la phase V, la vitesse de l'engin passe de 2,5 à 15 m.s⁻¹. La phase VI correspond à la phase de stabilisation du lanceur dans l'aire de lancer. La durée totale du mouvement jusqu'à l'éjection de l'engin est comprise entre 2 et 2,5 s.

ANNEXE 3.2 – La force de trainée

Document 1. Expressions et équations utiles

- Nombre de Reynolds : $Re = \frac{\rho V_{\infty} L}{\eta}$
- Expression de la force de trainée : $F_t = \frac{1}{2} C_x \rho S V_{\infty}^2$

avec

η : viscosité du fluide

ρ : Masse volumique du fluide (kg/m^3)

C_x : Coefficient de trainée

L : dimension caractéristique de l'obstacle

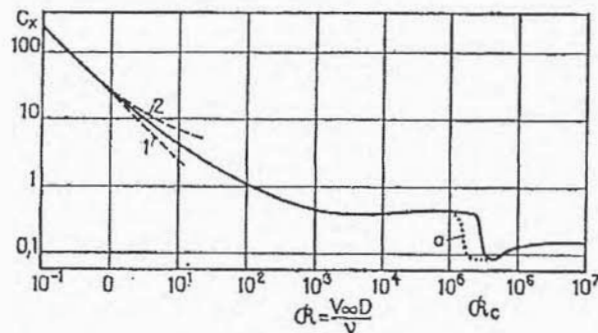
V_{∞} : Vitesse du fluide à grande distance de l'obstacle dans le référentiel de l'obstacle (m/s)

S : Maître-couple (m^2) = surface de l'obstacle projetée dans le plan perpendiculaire à \vec{V}_{∞}

- Equation d'Euler : $\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \right) = \rho \vec{g} - \text{grad} P$

Document 2. Coefficient de trainée C_x en fonction du nombre de Reynolds Re pour une sphère lisse. Source : ouvrage spécialisé

| | | | | | | | | |
|-------|-----|----|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| Re | 0,1 | 1 | 10 | 10^2 | 10^3 | 10^4 | 10^5 | 10^6 |
| C_x | 245 | 28 | 4,4 | 1,1 | 0,47 | 0,43 | 0,47 | 0,14 |



Variation du coefficient de trainée d'une sphère avec le nombre de Reynolds (a – en pointillés, cas d'une sphère rugueuse)

Document 3. Données

Valeur de l'intensité de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

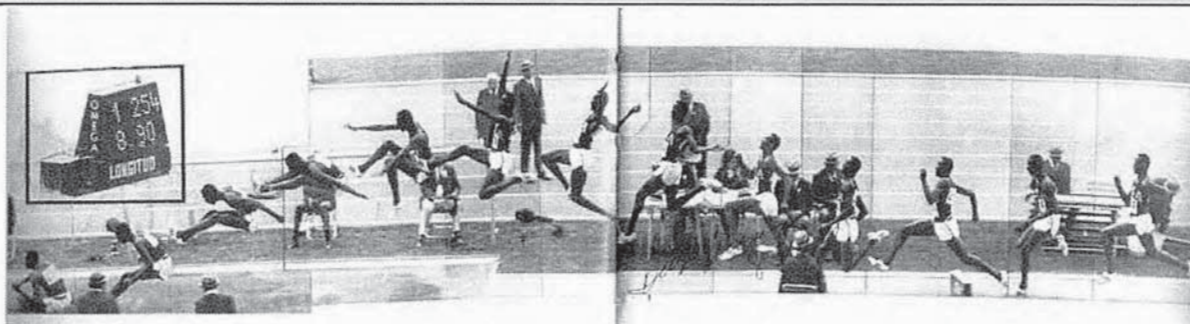
Masse volumique de l'acier $\rho_{\text{acier}} = 7,8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

Masse volumique de l'air $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg/m}^3$

Viscosité dynamique de l'air : $\eta = 18,1 \times 10^{-6} \text{ SI}$

ANNEXE 3.3 – La performance en saut en longueur.

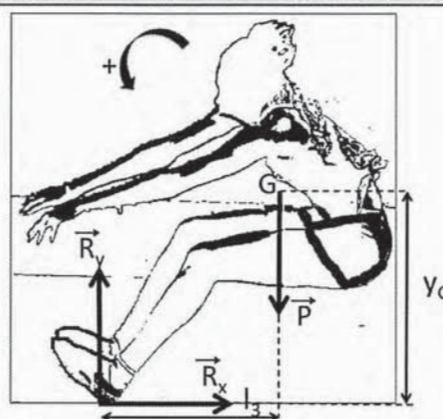
Document 1. Bob Beamon, jeux olympiques de Mexico, 1968



Dans le cas du saut en longueur, on distingue la phase d'appel, de vol et de réception.

Document 2. Brittney REESE lors de la phase de réception

Source : wikipédia



Brittney REESE (sautant de droite à gauche) lors de la phase de réception. Les forces s'exerçant sur elle sont son poids \vec{P} , ainsi que les composantes horizontale et verticale \vec{R}_x et \vec{R}_y de la force de réaction du sol. Le centre de gravité de l'athlète est noté G .

Document 3. Mesures effectuées lors d'un saut en longueur

Source : ouvrages spécialisés

| | |
|--|------------------------|
| Angle d'envol : angle que fait le vecteur vitesse avec l'horizontale à l'issue de la phase d'appel | 18° |
| Accélération angulaire - mesurée par rapport à l'axe perpendiculaire à la figure du document 2 passant par G - lors de la phase de réception | 8,0 rad/s ² |
| Moment d'inertie par rapport au centre de gravité lors de la phase de réception | 7,0 kg.m ² |
| Hauteur y_G du centre de gravité par rapport au sol lors de la phase de réception | 0,65 m |
| Composante horizontale de la force de réaction du sol | $R_x = 550$ N |
| Composante verticale de la force de réaction du sol | $R_y = 550$ N |

ANNEXE 3.4 – Aussi vite, aussi haut, aussi fort

Extrait d'un article de Jean Michel Courty et Edouard Kierlik, Pour la Science 2005

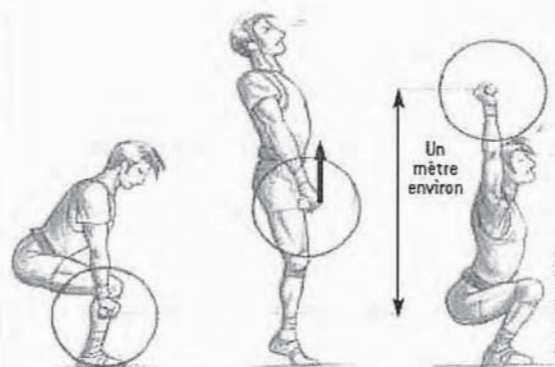
Dix secondes aux 100 mètres, six mètres au saut à la perche, neuf mètres au saut en longueur, etc. : les athlètes du sprint et des sauts nous stupéfient. Et les haltérophiles donc qui soulèvent plus de deux fois leur poids ! Pourtant, sous la diversité des chiffres et des disciplines sportives se cache un dénominateur commun : le quadriceps. Ce muscle du dessus de notre cuisse est le plus puissant de notre organisme et détermine nos performances optimales lors des efforts brefs et intenses.

Comment évaluer l'énergie que nos quadriceps sont capables de délivrer ? Pour ce faire, détournons-nous des sports qui sollicitent une grande variété de muscles à la fois et examinons l'haltérophilie. L'un des deux mouvements de cette discipline est l'arraché où l'athlète est initialement accroupi et les bras toujours tendus, se redresse, puis s'abaisse, avant de se relever ensuite.

Dans cet effort, seuls les muscles des cuisses agissent vraiment, le reste du corps ne faisant que suivre. Lors de la première étape, avant de se relever (voir la figure 1), l'haltérophile a contracté ses quadriceps une seule fois. Il a soulevé la barre et ses poids d'une hauteur équivalente au dépliement de la jambe accroupie et lui a donné assez de vitesse pour qu'elle s'élève d'un peu plus d'un mètre. Avec des haltères de 173 kilogrammes (record du monde dans la catégorie des moins de 77 kilogrammes), il aura fourni une énergie d'environ 1 700 joules, soit 850 joules par quadriceps.

Cette estimation est-elle raisonnable ? Pour le savoir, effectuons une détente verticale, c'est-à-dire un saut vers le haut sans course d'élan. Si toute cette énergie était convertie en énergie potentielle de gravité, un homme de 80 kilogrammes sauterait à une hauteur de près de deux mètres. Cela paraît beaucoup. Pourtant, en sautant pieds joints, sans course d'élan, un basketteur entraîné s'élève de plus de 80 centimètres. Si l'on tient compte d'une flexion d'appel de 40 centimètres, le centre de gravité de l'athlète se sera élevé de près de 1,2 mètre, soit une énergie de 960 joules, ou 480 joules par quadriceps, le muscle opérant.

La différence par rapport aux 850 joules évoqués plus haut s'explique par la nature différente de l'effort du muscle, bref pour le saut, plus long lors du soulèvement d'un poids : comme il n'y a pas de charge, le sauteur n'exerce pas une force maximale tout au long de son mouvement. Aussi, dans la suite, nous adopterons la valeur de 500 joules par quadriceps pour estimer les performances des sprinteurs et des sauteurs, et nous considérerons que les athlètes dépensent cette énergie à chaque foulée d'un sprint ou d'une course d'élan.



1. En haltérophilie, dans l'arraché, les muscles des cuisses font presque « tout le travail » : l'athlète soulève le poids en se redressant d'un coup et lui communique ce faisant assez de vitesse (flèche rouge) pour que le poids s'élève encore pendant qu'il s'abaisse et se place en dessous de la barre.