



## Physique du tas de sable

---

### LYCÉE

Lycée Jean Bart - 59140 Dunkerque (*Lille*)

### PARTICIPANTS

#### *Professeur*

Georges KHAZNADAR - mél : GeKhaJoFour@netinfo.fr

#### *Élèves*

Guillaume BERTELOOT - mél : gberteloot@nordnet.fr,  
Juliette DESCHAMPS, Nicolas GARDELEIN, Julien LEMAITTE, Vincent MARZLOFF,  
Nicolas NOVELLE et Alexandre VERCOUTRE

### 1. INTRODUCTION

Le tas de sable, c'est un nom commode pour désigner les matériaux granulaires. Chaque fois qu'on entasse plusieurs centaines de milliers d'objets, et que les interactions entre ces objets sont semblables à celles qui existent entre des blocs durs, on a affaire à un matériau granulaire. La taille des grains peut aller de poudres aussi fines que du talc, à des boulets de charbon. Ces matériaux si divers possèdent des comportements universels.

Le travail du groupe Dune du lycée Jean Bart de Dunkerque a consisté à se familiariser avec quelques principes de base de la physique de ces matériaux, et à apprendre à en communiquer les idées principales.

### 2. PARTENARIAT

L'équipe des Olympiades a pris contact avec le laboratoire de thermophysique de la matière condensée, dirigé par le Professeur Jean-Marc BUISINE, à la Maison de la

---

---

**OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD**

---

---

Recherche en Environnement Industriel de Dunkerque, qui avait déjà accueilli une équipe des Olympiades de Physique l'année précédente.

Jean-Marc BUISINE nous a proposé un travail concernant les matériaux granulaires, qui sont maniés en quantité à Dunkerque, en particulier au Port Autonome, et qui constituent le paysage des dunes.

### **2.1. L'émission de poussières du quai des pondéreux Ouest**

Au sein du laboratoire de thermophysique, Benoît DUPONCHEL, appelé du contingent quelques mois auparavant, avait évalué plusieurs laques à base de polymères en suspension dans l'eau, qui servaient à traiter des tas de minerai de fer et surtout de charbon du Port Autonome de Dunkerque. Le rôle de ces laques est d'empêcher l'émission importante de poussières par ces tas lors des vents violents.

Ce travail de recherche a été évoqué lors de la première rencontre entre l'équipe Dune et J.-M. BUISINE, au terme d'une visite des laboratoires. Le thème du travail de l'équipe a été centré sur le sujet du comportement des tas de matériaux en grains.

### **2.2. Travaux de l'équipe Dune**

Un des premiers travaux de l'équipe a été de chercher des documents sur le sujet. Au CDI du lycée Jean Bart, une collection de la revue La Recherche, qui remonte à 1980, a permis de trouver de nombreux articles prouvant l'intérêt actuel de la communauté scientifique pour les matériaux granulaires.

La première visite au Port Autonome nous a montré la taille gigantesque des tas de charbon et de minerai qui y transitent. Les «petits» problèmes de tas de sable prenaient alors une dimension économique. Nous y avons appris que la méthode du laquage étudiée au Laboratoire de Thermophysique était remplacée par une technique d'aspersion dans tous les cas où on n'était pas sûr de garder longtemps les tas de matériaux.

Quand nous avons essayé de réaliser les expériences évoquées dans les articles de revues consacrés aux matériaux granulaires, nous nous sommes vite rendus compte que les schémas très artistiques qui y figuraient manquaient de précision quant à la manière précise de monter les choses. Nous avons pris contact alors avec un ancien docteur du Laboratoire de Thermophysique, le Docteur Patrice PORION, qui travaille maintenant au centre de recherche sur la matière divisée à Orléans. Des contacts suivis par téléphone et par mél ont permis petit à petit de cerner les aspects les plus importants du comporte-

---

---

**OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD**

---

---

ment des tas de grains, et d'illustrer ces aspects par quelques manipulations spectaculaires telles que «la poire» et «le pèse-lettres», qui sont présentés au paragraphe 3.

### 2.3. Conférence scientifique à la Maison de la Recherche

Ces contacts à distance restant insuffisants, comme nous désirions rencontrer Patrice PORION pour discuter directement de notre projet et pour accroître nos connaissances, nous avons pu organiser une conférence à la Maison de la Recherche de Dunkerque.

Patrice PORION a très aimablement répondu à notre demande de le rencontrer à Dunkerque, et a proposé de venir avec son collègue le Docteur Pierre ÉVESQUE. Dans le même temps, Guillaume BERTELOOT a trouvé au cours d'une recherche sur Internet les coordonnées d'Adrien DAERR (<http://www.lps.ens.fr/daerr/>), qui fait une thèse à l'ENS sur précisément la dynamique des avalanches et la statique des tas de sable. Celui-ci a pu venir en même temps que les deux autres conférenciers.

Des invitations ont été largement adressées aux entreprises de Dunkerque, d'après une sélection effectuée dans la base de données de la Maison de la Recherche, et aux étudiants de classes préparatoires du lycée. Il est venu deux personnes des entreprises, et vingt élèves de classes préparatoires.

Nous avons réalisé un dossier à remettre à chaque participant à la conférence, composé d'après les publications en français des docteurs PORION et ÉVESQUE.

### 2.4. Préparation finale aux Olympiades

Forts des connaissances que nous avaient transmises les conférenciers, avec en tête les manipulations qu'Adrien DAERR avait présentées de façon spectaculaire, et la cassette vidéo présentant diverses expériences de dynamique des sols, réalisées à l'École Centrale, nous avons décidé de la présentation que nous préparerions pour le concours des Olympiades.

Les deux principales idées sont :

- l'existence d'un angle de repos des tas, résumée la loi de Coulomb sur le frottement solide,
- l'obligation pour un matériau granulaire de se «dilater» avant tout écoulement.

---

---

**OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD**

---

---

Nous avons peu après visité le port au moment précis où un navire y déchargeait du minerai de fer (oxyde de fer), ce qui nous a permis d'y prendre quelques photos montrant la belle régularité des angles des talus récents, et d'y filmer la construction progressive d'un tas par une machine à bande convoyeuse, ce qui montrait bien la dynamique des avalanches.

Les photographies réalisées étant à la fois très contrastées, et détaillées dans des parties à faible contraste, et que les imprimer sur papier fait perdre les détails, nous vous invitons à les trouver sur Internet, à l'adresse :

<http://perso.netinfo.fr/GeKhaJoFour/dunk97>

Une série d'expériences à présenter a été décidée, en sélectionnant celles qui étaient à notre portée et qui illustraient de façon spectaculaire des propriétés universelles des matériaux granulaires.

### 3. QUELQUES EXPÉRIENCES

Une description plus précise des expériences est accessible en ligne, à partir de l'adresse internet <http://perso.netinfo.fr/GeKhaJoFour/dunk97>. Ces pages ont été générées automatiquement à partir de la source du dossier qui avait été remis au jury des Olympiades de Physique. Nous ne faisons ici qu'une brève énumération des titres des expériences.

*La poire* : du sable enfermé dans une baudruche emplie d'eau, un tube en verre surmontant le tout : si vous voulez presser la poire, l'eau descend dans le tube.

*Le pèse-lettre* : on réalise un «silo» avec un tube fixe fermé en bas par le plateau d'une balance. Quand on y verse des haricots ou des grains de semoule, la masse affichée évolue de façon étrange. Les parois du silo portent les grains.

*Soulever un bocal par l'intérieur* : ou comment soulever un bocal plein de sable sec en essayant de retirer un bâton vertical qui y est fiché. La façon de former le tas est importante.

*La table penchée* : où l'on voit les objets se mettre à glisser pour des inclinaisons différentes, non selon leur poids, mais selon la matière de leur surface.

---

---

**OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIADES DE PHYSIQUE – OLYMPIAD**

---

---

*Typographie en relief* : on laisse se constituer un tas de sable sur des supports en forme de lettres. L'angle d'avalanche étant constant, on obtient une écriture en relief.

*Avalanches de matériaux granulaires* : mise en évidence des angles de début et de fin d'avalanche.

*Avalanches retardées* : en posant le sable sur un support amortisseur, on montre que les avalanches près de la surface amortissante sont fortement inhibées, et se déclenchent selon des mécanismes différents.

#### 4. ET ENSUITE...

Nous avons déjà été contactés à deux reprises, par des étudiants et des étudiantes lillois puis belges, qui nous demandaient des renseignements sur le sujet des matériaux granulaires. La présence du document électronique en ligne nous a permis d'envoyer aussitôt un pointeur sur la documentation que nous avons fabriquée, pour satisfaire nos interlocuteurs.

*L'ensemble de ce dossier (et celui de l'année précédente) peut être consulté à l'adresse :*

<http://perso.netinfo.fr/GeKhaJoFour>