

ÉCOLE SUPÉRIEURE DE PHYSIQUE ET DE CHIMIE INDUSTRIELLES DE LA
VILLE DE PARIS



PROJETS SCIENTIFIQUES PAR ÉQUIPES - FIGURES
COMPACTION DE CERCLES 2D

LOMBARD MARINE

XU YUE

SWIADEK FRANÇOIS

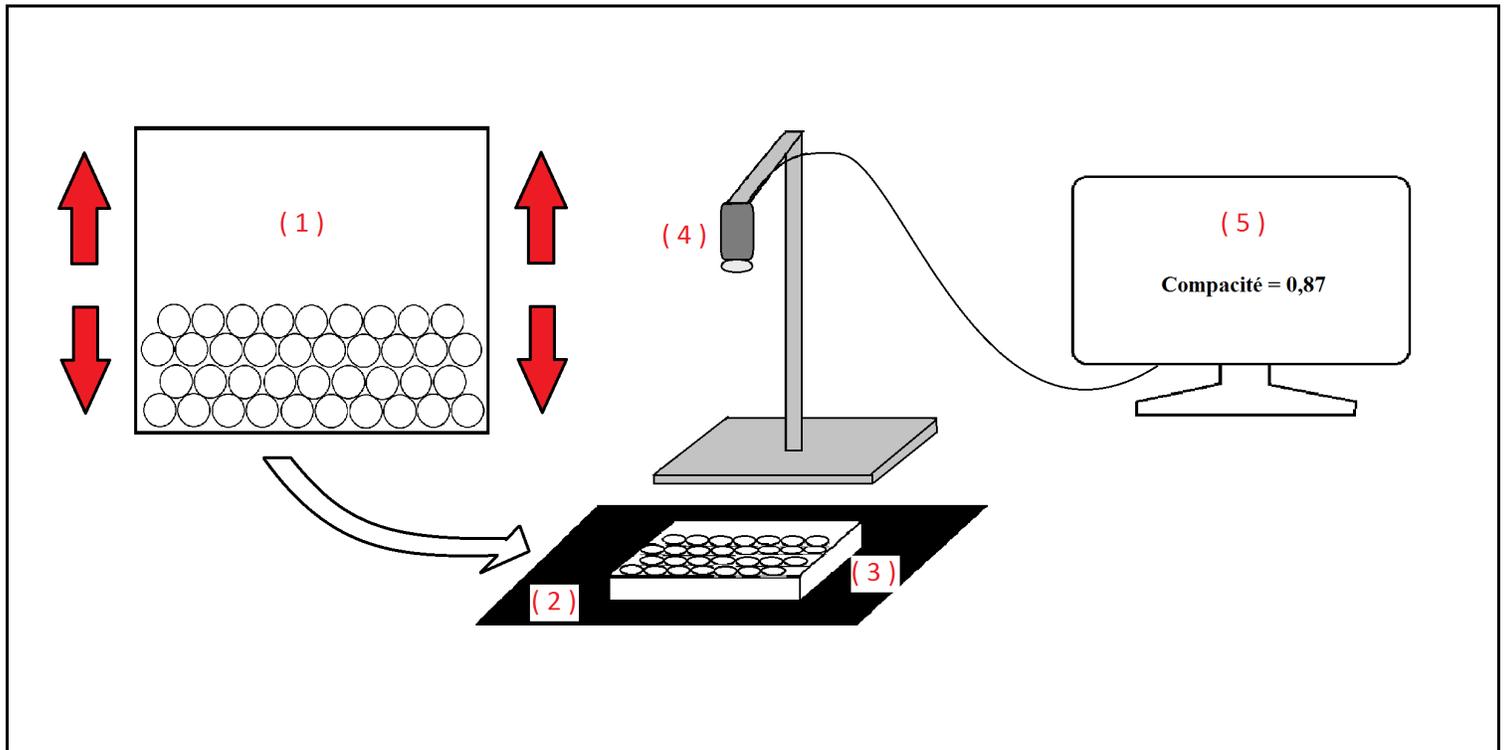


FIGURE 1 – Montage expérimental.

(1) : Homogénéisation manuelle verticale de la boîte contenant les cylindres. (2) : Papier noir format A4. (3) : Boîte de mesure en plexiglas transparente de dimension 20×20 cm contenant un mélange de petits cylindres (cercles). Les cylindres sont peints en blanc pour maximiser le contraste avec le fond noir. (4) : Caméra noir/blanc focalisée et centrée sur la boîte de mesure. (5) : Traitements d'images informatiques.

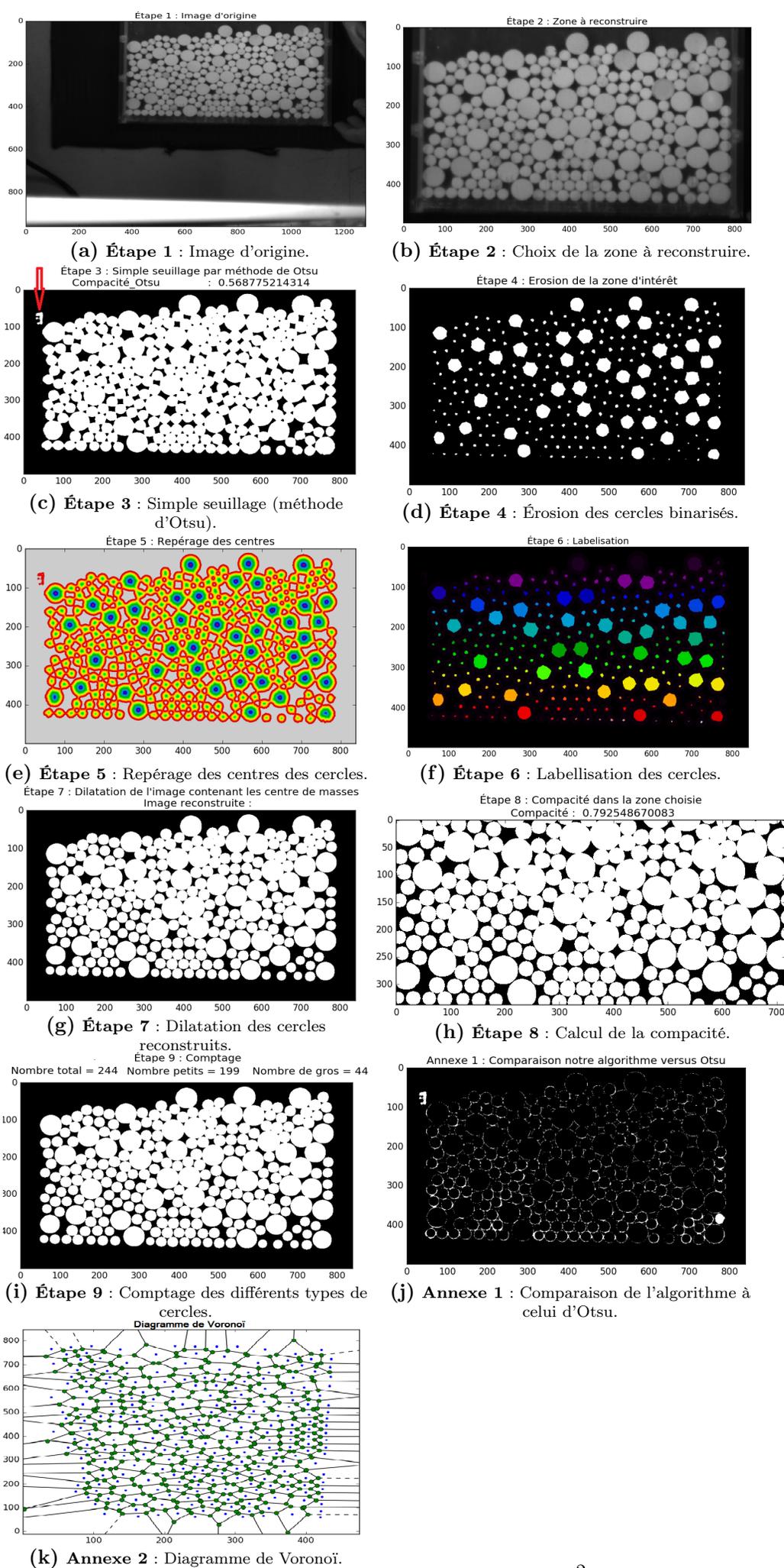


FIGURE 2 – Algorithme de calcul de compacité pour un mélange binaire de formes circulaires sur fond homogène.

(a) Étape 1 : Image originale en niveaux de gris. **(b) Étape 2 :** Zone d'intérêt choisie par le manipulateur à la souris. **(c) Étape 3 :** Simple seuillage de la zone d'intérêt par la méthode de Otsu. L'image binarisée présente du bruit introduit par l'environnement : reflets à la surface des rondelles de PMMA, reflets des vis de la boîte, sur-saturation. **(d) Étape 4 :** Érosion de l'image binaire. La taille de l'érosion est choisie avec un facteur permettant la distinction des différentes rondelles (facteur ici) et la suppression des impuretés. **(e) Étape 5 :** Fonction distance de l'image érodée donnant les maxima locaux des niveaux de gris selon les zones. **(f) Étape 6 :** Labellisation des cercles pour un enregistrement des données morphologiques : centre des cercles et aire érodée. **(g) Étape 7 :** Reconstruction complète : sur une nouvelle image noire sont placés les centres des cercles de rayon la valeur calculée depuis l'aire érodée puis ils sont dilatés par le même coefficient que lors de l'érosion. **(h) Étape 8 :** Sélection de la zone de calcul de la compacité. Elle est exprimée comme le rapport entre le nombre de pixels blancs sur le nombre total de pixels dans la zone choisie par manipulateur à la souris. **(i) Étape 9 :** Comptage par méthode morphologique. Les cercles sont triés avec comme facteur discriminant leur aire érodée (en prenant un intervalle de confiance). Dans l'exemple choisi, nombre total de cercles = 244; nombre de petits cercles = 199; nombre de gros cercles = 44. Le comptage informatique présente une grande précision (erreur de comptage < 3 unités). **(j) Annexe 1 :** Soustraction morphologique de l'image binaire traitée par la méthode de Otsu par l'image reconstruite par l'algorithme développé. En blanc : bruit éliminé. Précision gagnée sur cette image : 3 %. **(k) Annexe 2 :** Diagramme de Voronoï de l'image reconstruite. Points bleus : centres des cercles. Points verts : voisins de chaque élément. Pour un système mono-disperse cristallin, nombre de voisins = 6.

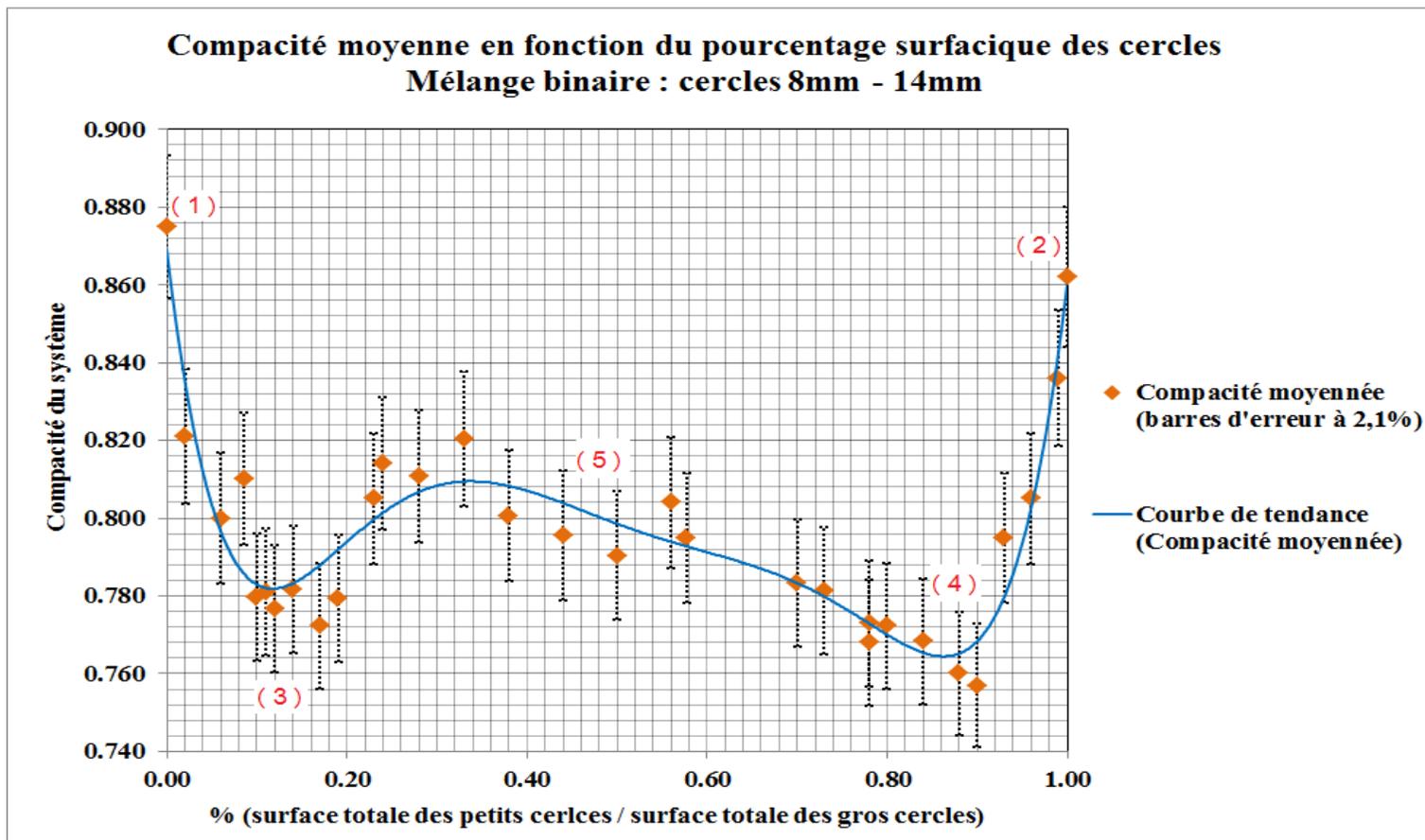


FIGURE 3 – Compacité moyennée en fonction du rapport surfacique des cercles pour des mélanges binaires de cercles 8mm, 14mm ainsi que la courbe de tendance.

Compacité mesurée en fonction du rapport surfacique des cercles pour des mélanges binaires de cercles de 8mm et 14mm. Entre 3 et 4 expériences de mesures ont été effectués pour chaque rapport de mélange (surface totale des petits cercles / surface totale de cercles), choisi entre 0 et 1. Nombre de points total : 59. Compacité maximale mesurée : 0,878 (rapport de mélange = 0) ; compacité minimale mesurée : 0,747 (rapport de mélange = 0,88). L'incertitude de mesure est de l'ordre de 1 %, correspondant aux variations selon le choix de zone de calcul à l'étape de traitements informatiques. Pour chaque expériences, cette zone est choisie la plus grande possible afin de couvrir le plus de surface possible. En orange : compacité moyennée pour un rapport de mélange donné. En bleu : points de mesure expérimentaux. Tous les points expérimentaux peuvent être inclus avec une barre d'erreur à 2,1 % de la compacité moyennée. La courbe de tendance est représentée par un polynôme de degré 6 pour les valeurs de compacité moyennée. La courbe a un but purement qualitatif et prend la forme d'un "W" déformé. Cinq zones peuvent être distinguées sur le graphe. (1) et (2) : Compacité maximale du système mono-disperse, structure cristalline, valeur théorique 0,91, valeurs expérimentales (1) 0,88 et (2) 0,87. (3) : Minimum de compacité (rapport de mélange = 0,12) atteint par glissement aux parois, introduction de cercles de grande taille casse la structure cristalline du système et diminue la compacité. (4) : Minimum de compacité (rapport de mélange = 0,88) atteint par effet de desserrement, l'introduction de cercles de petite taille déforme le réseau cristallin et diminue la compacité. (5) : Zone de compétition des effets, un maximum local est observé (rapport de mélange = 0,34). Dans le cas étudié, le diamètre des petits cercles est choisi pour qu'ils ne puissent pas s'insérer dans l'espace inter-particules créé par les gros cercles sans déformer le réseau.