



PSE

Acoustique des Bulles de Champagne

Dana Brunner & Julie Philippon & Henri Lehouelleur

1 Protocoles

1.1 Champomy - 20/11/20

On utilise un champomy traditionnel de grande surface pour cette première étude. Pour chaque cuve, on réalise le montage suivant :

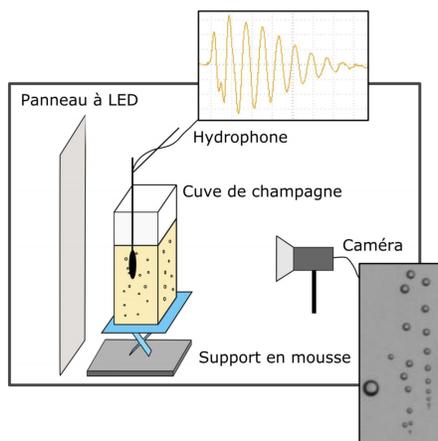


FIGURE 1 – Expérience réalisée

Un panneau à LED est placé derrière la cuve par rapport à l'objectif pour avoir un bon contraste des bulles dans le liquide. L'hydrophone est plongé dans la cuve, il est relié à un amplificateur de gain $G = 32\text{dB}$, le signal y est filtré par un passe-haut de fréquence de coupure $f_c = 100\text{Hz}$. Son signal est visualisé en direct sur un oscilloscope, puis récolté sur PC par l'intermédiaire d'une carte Pico.

Sur l'ordinateur, on utilise le logiciel Pylon Viewer pour contrôler la caméra. On fait des acquisitions d'une image toutes les 10ms pendant 10s. Le temps d'exposition est réglé sur 0.3ms, et le diaphragme est ouvert au maximum pour récolter le plus de lumière. Pour l'hydrophone, on utilise PicoScope 6 Beta, et un signal est récolté en csv dès que le signal envoyé dépasse un trigger arbitraire, qui permet de ne récolter que les signaux utiles, et qu'il y en ait une quantité suffisante.

Une fois les acquisitions faites, des programmes automatiques sur Matlab permettent d'obtenir la distribution des rayons par reconnaissance des bulles sur les photos, puis les fréquences principales en sommant les transformées de Fourier des signaux obtenus (voir dans la section Codes).

Pour cette expérience, on récolte les mesures pour trois cuves différentes du même champomy, la même bouteille, même expérimentateur. La fréquence d'échantillonnage est réglée à 1GHz. Les photos sont prises à des positions aléatoires sur la cuve, en essayant d'en réaliser un balayage représentatif.

1.2 Vin mousseux - 08/01/21

Cette expérience est réalisée avec un vin mousseux Jean Dorsene demi-sec à 1e95 la bouteille. On réalise la même expérience que pour le Champomy, avec cette fois 5 cuves différentes. Pour la première, les signaux de l'hydrophone sont inexploitable, donc pour cette cuve on aura seulement une distribution de rayons obtenue grâce aux photos.



FIGURE 2 – Bouteille de mousseux de l'expérience

Le balayage de la cuve est aussi aléatoire. La fréquence d'échantillonnage est de 9.165MHz. Elle a été réduite puisque les fichiers étaient beaucoup trop lourds donc longs à traiter. Une si grande précision n'était pas non plus nécessaire.

1.3 Eau gazeuse, Badoit verte vs rouge - 29/01/21

Nous avons mis en place une nouvelle expérience, qui reprend le principe précédent mais en scindant les acquisitions, afin d'observer une éventuelle évolution de la distribution de bulles au cours du temps, et peut-être d'avoir des échantillons plus précis à analyser. De même, si le comportement évolue, on peut tester si l'évolution est visible d'après les photos et aussi d'après la fréquence des signaux.

Le schéma des acquisitions est le suivant :



FIGURE 3 – Enchaînement des acquisitions

On procède à trois acquisitions de 7min, espacées entre elles de 3min. Chaque acquisition consiste en une prise de photos sur une seule position de la cuve, à 1 image toutes les secondes. Ceci vient du fait que le balayage de la cuve étant aléatoire, les zones n'avaient pas des bulles de même taille, et la quantité de bulles était inégale, ce qui donnait une distribution non représentative (pas de gaussienne ou forme similaire, mais plutôt des superpositions de gaussiennes). D'autre part, une grande fréquence de prise de photos n'était pas nécessaire car les bulles étaient alors observées sur plein de photos et prises en compte un grand nombre de fois.

Dans cette expérience on utilise deux bouteilles de badoit, une verte et une rouge. Ce choix n'est pas arbitraire, on voulait éventuellement obtenir des bulles de tailles différentes avec un liquide identique (à la teneur en CO₂ près). Les signaux ont été échantillonnés à une fréquence de 125MHz. On réalise, pour chaque bouteille, l'expérience sur 3 cuves différentes.

1.4 Champagne Basse Qualité - 05/02/21



FIGURE 4 – Champagne utilisé

On utilise cette fois un champagne le moins cher du Franprix, un Charles Valhenty Brut. Le schéma suivi est le même que pour l'eau gazeuse dans l'expérience précédente.

L'expérience a eu quelques soucis :

- Cuve 1, Exp 1 : Arrêt de Pylon Viewer + Problème d'enregistrement des fichiers
- Cuve 2, Exp 3 : Mémoire pleine pendant l'acquisition
- Cuve 3 : Redémarrage préalable des logiciels, et acquisition peu satisfaisante

Les expériences exploitables sont les expériences 2 et 3 de la première cuve, et la 1 et 2 de la deuxième cuve. Les autres auront trop peu de chance de donner des données exploitables, et elles n'ont pas été réalisées dans les mêmes conditions.

1.5 Champagne Haute Qualité - 12/02/21



FIGURE 5 – Bouteille de Moët & Chandon utilisée pour faire les mesures

Le champagne utilisé est de Moët & Chandon impérial Brut. L'expérience réalisée est la même que pour l'eau gazeuse et le champagne de basse qualité. On procède donc aux 9 acquisitions, avec toujours, pour chaque expérience, prise d'une photo par seconde, à position fixe sur la cuve, et acquisition de signaux à la fréquence d'échantillonnage 125MHz.

2 Codes

2.1 Code de traitement des photos

```
close all;
clear all;
clc;
format compact;

%Chemin des images à analyser A COMPLETER
im_analyse = 'G:\PSE\Champagne HQ\cuve3\exp3\camera\nom_';
nbr_files = 415;

%Load scale : charge la première image pour obtenir une echelle
scale_im = imread([im_analyse num2str(1) '.tiff']);
scale_im = imresize(scale_im, 1);
figure(1);
imshow(scale_im);

%Définition des deux points dont on connaît la distance
[x_start, y_start] = ginput(1);
[x_end, y_end] = ginput(1);
distance_pixels = sqrt((y_end - y_start)^2 + (x_end - x_start)^2);

%Valeur de la distance à rentrer
distance_micron = input('Distance (µm) : ');
scale = distance_micron/distance_pixels;
```

Load image : Traitement de la première image pour fixer les paramètres

```
im0 = imread([im_analyse num2str(9) '.tiff']);
figure(1);
imshow(im0);
axis equal;
colormap('gray');

%Zone à traiter et affichage de cette zone
[x_start, y_start] = ginput(1);
[x_end, y_end] = ginput(1);
im1 = im0(y_start:y_end, x_start:x_end);
figure(1);
imshow(im1);
axis equal;
colormap('gray');
```

Contrast adjustment : traitement 1

```
im2 = adapthisteq(im1);
figure(2);
imshow(im2);
```

```
axis equal;
colormap('bone');
```

Binary conversion : traitement 2

```
im4 = im2bw(im2, 0.35);
figure(3);
imshow(im4);
```

Inversion of colors : traitement 3

```
im5 = imcomplement(im4);
im6 = bwlabel(im5);
figure(4);
imshow(im6)
```

File with radii : Enregistrement des données dans un fichier après détection des rayons

```
fileID = fopen('radius.txt', 'w+');
% 'w+' si on veut remplacer les données précédentes
% 'a' si on veut rajouter les données à la suite
```

```
%Recherche des cercles
%en fonction de l'image changer sensibilité si bulles nettes pas biens détectées
[centers, radii] = imfindcircles(im1,[5 40], 'Sensitivity',0.8, 'objectpolarity','dark', 'edgethresho
figure(1);
imshow(im1);
axis equal;
colormap('gray');
hold all;
```

```
%Ecriture dans le fichier
viscircles(centers, radii);
bubble_diameter = radii.* 2 .* scale;
fprintf(fileID, '%1.3f\r\n', [bubble_diameter].');
fclose(fileID);
```

Boucle pour toutes les images

```
fileID = fopen('radius_HQ_c3_exp3.txt', 'w+');
% 'w+' si on veut remplacer les données précédentes
% 'a' si on veut rajouter les données à la suite
```

```
for k = 1:nbr_files
    k %pour voir l'évolution
    im0 = imread([im_analyse num2str(k) '.tiff']);
    im1 = im0(y_start:y_end, x_start:x_end);
    [centers, radii] = imfindcircles(im1,[5 70], 'Sensitivity',0.9, 'objectpolarity','dark', 'edgethr
    bubble_radius = radii.* scale;
    fprintf(fileID, '%1.3f\r\n', [bubble_radius].');
```

```
end
```

```
fclose(fileID);
```

Histogramme

```
data = load('radius_HQ_c2_exp2.txt');  
rayons = data(:, 1);  
figure(9);  
hold on;  
histogram(rayons, 100);  
title('Distribution des rayons des bulles');  
xlabel('Rayon ( $\mu\text{m}$ )');
```

2.2 Codes de traitement des signaux de l'hydrophone

```
close all;
clear all;
clc;
format compact;
```

```
%Chemin des tableaux à analyser A COMPLETER
f_analyse = 'G:\PSE\Champagne HQ\cuve3\exp3\freq\Nom (';
nbr_file = 96;
```

```
%Fréquence d'échantillonnage A COMPLETER
Fe = 125e6; %(Hz)
```

Boucle de traitement - somme tf

```
X = readmatrix([f_analyse '1).csv'], 'HeaderLines',3,'delimiter',';', 'DecimalSeparator','');
tension = X(:,2);
TF_tension = abs(fft(tension,2^23));
L = length(TF_tension);
somme_freq = TF_tension';
```

```
frequence = Fe*(0:L-1)/L;
```

```
for k = 2:nbr_file
```

```
    k
    %Fichier a analyser
    chemin = [f_analyse num2str(k) ').csv'];
```

```
    %Extraction des données
```

```
    X = readmatrix(chemin, 'HeaderLines',3,'delimiter',';', 'DecimalSeparator','');
    temps = X(:,1);
    tension = X(:,2);
```

```
    %Reajustement des données "NAN" (Not A Number)
    tension(isnan(tension)) = 0;
```

```
    %Extraction de la fréquence par TF
    TF_tension = abs(fft(tension,2^23));
```

```
    %Somme des fréquences
```

```
    somme_freq = somme_freq + TF_tension';
```

```
end
```

Graphe des TF sommées

```
figure(1);
plot(frequence,somme_freq);
xlim([1 2000000]);
title('Distribution des fréquences');
```

```
xlabel('Frequence (Hz)');
```

Enregistrement du signal des TF sommées

```
fileID = fopen('sum_tf_HQ_c3_exp3.txt', 'w+');  
% 'w+' si on veut remplacer les données précédentes  
% 'a' si on veut rajouter les données à la suite  
for k = 1:size(somme_freq)  
    fprintf(fileID, '%1.3f\r\n', somme_freq);  
end  
  
fclose(fileID);
```

2.3 Codes de traitement des données et Corrélation - Exemple du champagne HQ

```
clear all;
close all;
clc;
```

Fichiers rayons

```
data_r_11 = load('radius_HQ_c1_exp1.txt');
data_r_12 = load('radius_HQ_c1_exp2.txt');
data_r_13 = load('radius_HQ_c1_exp3.txt');
```

```
data_r_21 = load('radius_HQ_c2_exp1.txt');
data_r_22 = load('radius_HQ_c2_exp2.txt');
data_r_23 = load('radius_HQ_c2_exp3.txt');
```

```
data_r_31 = load('radius_HQ_c3_exp1.txt');
data_r_32 = load('radius_HQ_c3_exp2.txt');
data_r_33 = load('radius_HQ_c3_exp3.txt');
```

```
r_11 = data_r_11(:,1);
r_12 = data_r_12(:,1);
r_13 = data_r_13(:,1);
```

```
r_21 = data_r_21(:,1);
r_22 = data_r_22(:,1);
r_23 = data_r_23(:,1);
```

```
r_31 = data_r_31(:,1);
r_32 = data_r_32(:,1);
r_33 = data_r_33(:,1);
```

Fichiers fréquences

```
data_f_11 = load('sum_tf_HQ_c1_exp1.txt');
data_f_12 = load('sum_tf_HQ_c1_exp2.txt');
data_f_13 = load('sum_tf_HQ_c1_exp3.txt');
```

```
data_f_21 = load('sum_tf_HQ_c2_exp1.txt');
data_f_22 = load('sum_tf_HQ_c2_exp2.txt');
data_f_23 = load('sum_tf_HQ_c2_exp3.txt');
```

```
data_f_31 = load('sum_tf_HQ_c3_exp1.txt');
data_f_32 = load('sum_tf_HQ_c3_exp2.txt');
data_f_33 = load('sum_tf_HQ_c3_exp3.txt');
```

```
f_11 = data_f_11(:,1);
f_12 = data_f_12(:,1);
f_13 = data_f_13(:,1);
```

```

f_21 = data_f_21(:,1);
f_22 = data_f_22(:,1);
f_23 = data_f_23(:,1);

f_31 = data_f_31(:,1);
f_32 = data_f_32(:,1);
f_33 = data_f_33(:,1);

```

Autres données

```

N = size(f_11,1);
fe = 125000000;
x_f = fe/N * (0:N-1);

gamma_air = 1.3;
P_0 = 10^5;
rho_eau = 10^3;

c = 1/(2*pi)*sqrt(3*gamma_air*P_0/rho_eau)*10^6;

```

Sommations par cuve/expérience

```

r_cuve_1 = [r_11; r_12; r_13];
r_cuve_2 = [r_21; r_22; r_23];
r_cuve_3 = [r_31; r_32; r_33];

r_exp_1 = [r_11; r_21; r_31];
r_exp_2 = [r_12; r_22; r_32];
r_exp_3 = [r_13; r_23; r_33];

f_cuve_1 = f_11 + f_12 + f_13;
f_cuve_2 = f_21 + f_22 + f_23;
f_cuve_3 = f_31 + f_32 + f_33;

f_exp_1 = f_11 + f_21 + f_31;
f_exp_2 = f_12 + f_22 + f_32;
f_exp_3 = f_13 + f_23 + f_33;

```

Transformations des rayons en fréquences

```

fr_11 = c./r_11;
fr_12 = c./r_12;
fr_13 = c./r_13;

fr_21 = c./r_21;
fr_22 = c./r_22;
fr_23 = c./r_23;

fr_31 = c./r_31;

```

```
fr_32 = c./r_32;
fr_33 = c./r_33;
```

```
fr_cuve_1 = c./r_cuve_1;
fr_cuve_2 = c./r_cuve_2;
fr_cuve_3 = c./r_cuve_3;
```

```
fr_exp_1 = c./r_exp_1;
fr_exp_2 = c./r_exp_2;
fr_exp_3 = c./r_exp_3;
```

Zone de travail

```
f_min = 6000;
f_max = 30000;
```

```
i_min = floor(N*f_min/fe+1);
i_max = floor(N*f_max/fe+1);
```

Normalisation des TFD

```
f_11 = f_11/max(f_11(i_min:i_max));
f_12 = f_12/max(f_12(i_min:i_max));
f_13 = f_13/max(f_13(i_min:i_max));
```

```
f_21 = f_21/max(f_21(i_min:i_max));
f_22 = f_22/max(f_22(i_min:i_max));
f_23 = f_23/max(f_23(i_min:i_max));
```

```
f_31 = f_31/max(f_31(i_min:i_max));
f_32 = f_32/max(f_32(i_min:i_max));
f_33 = f_33/max(f_33(i_min:i_max));
```

```
f_cuve_1 = f_cuve_1/max(f_cuve_1(i_min:i_max));
f_cuve_2 = f_cuve_2/max(f_cuve_2(i_min:i_max));
f_cuve_3 = f_cuve_3/max(f_cuve_3(i_min:i_max));
```

```
f_exp_1 = f_exp_1/max(f_exp_1(i_min:i_max));
f_exp_2 = f_exp_2/max(f_exp_2(i_min:i_max));
f_exp_3 = f_exp_3/max(f_exp_3(i_min:i_max));
```

Figure 1 : Expériences individuelles et cuves individuelles

```
figure(1);
subplot(3,3,1);
h=histogram(fr_11,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_11(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 1 - Expérience 1');
```

```

subplot(3,3,2);
h=histogram(fr_12,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_12(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 1 - Expérience 2');

subplot(3,3,3);
h=histogram(fr_13,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_13(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 1 - Expérience 3');

subplot(3,3,4);
h=histogram(fr_21,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_21(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 2 - Expérience 1');

subplot(3,3,5);
h=histogram(fr_22,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_22(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 2 - Expérience 2');

subplot(3,3,6);
h=histogram(fr_23,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_23(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 2 - Expérience 3');

subplot(3,3,7);
h=histogram(fr_31,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_31(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 3 - Expérience 1');

subplot(3,3,8);
h=histogram(fr_32,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_32(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 3 - Expérience 2');

```

```

subplot(3,3,9);
h=histogram(fr_33,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_33(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 3 - Expérience 3');

```

Figure 2 : Expériences sommées et cuves individuelles

```

figure(2);
subplot(3,1,1);
h=histogram(fr_cuve_1,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_cuve_1(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 1 - Toutes les expériences');

```

```

subplot(3,1,2);
h=histogram(fr_cuve_2,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_cuve_2(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 2 - Toutes les expériences');

```

```

subplot(3,1,3);
h=histogram(fr_cuve_3,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_cuve_3(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Cuve 3 - Toutes les expériences');

```

Figure 3 : Expériences individuelles et cuves sommées

```

figure(3);
subplot(3,1,1);
h=histogram(fr_exp_1,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_exp_1(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Expérience 1 - Toutes les cuves');

```

```

subplot(3,1,2);
h=histogram(fr_exp_2,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_exp_2(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Expérience 2 - Toutes les cuves');

```

```

subplot(3,1,3);

```

```

h=histogram(fr_exp_3,'Normalization','probability');
hold on;
plot(x_f(i_min:i_max),f_exp_3(i_min:i_max)*max(h.Values));
xlabel('Fréquence (Hz)');
title('Expérience 3 - Toutes les cuves');

```

Valeurs moyennes des distributions

```

moy_fr_11 = mean(fr_11);
moy_fr_12 = mean(fr_12);
moy_fr_13 = mean(fr_13);

moy_fr_21 = mean(fr_21);
moy_fr_22 = mean(fr_22);
moy_fr_23 = mean(fr_23);

moy_fr_31 = mean(fr_31);
moy_fr_32 = mean(fr_32);
moy_fr_33 = mean(fr_33);

moy_fr_cuve_1 = mean(fr_cuve_1);
moy_fr_cuve_2 = mean(fr_cuve_2);
moy_fr_cuve_3 = mean(fr_cuve_3);

moy_fr_exp_1 = mean(fr_exp_1);
moy_fr_exp_2 = mean(fr_exp_2);
moy_fr_exp_3 = mean(fr_exp_3);

```

Valeurs moyennes des courbes

```

moy_f_11 = (x_f(i_min:i_max)*f_11(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_11(i_min:i_max));
moy_f_12 = (x_f(i_min:i_max)*f_12(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_12(i_min:i_max));
moy_f_13 = (x_f(i_min:i_max)*f_13(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_13(i_min:i_max));

moy_f_21 = (x_f(i_min:i_max)*f_21(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_21(i_min:i_max));
moy_f_22 = (x_f(i_min:i_max)*f_22(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_22(i_min:i_max));
moy_f_23 = (x_f(i_min:i_max)*f_23(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_23(i_min:i_max));

moy_f_31 = (x_f(i_min:i_max)*f_31(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_31(i_min:i_max));
moy_f_32 = (x_f(i_min:i_max)*f_32(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_32(i_min:i_max));
moy_f_33 = (x_f(i_min:i_max)*f_33(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_33(i_min:i_max));

moy_f_cuve_1 = (x_f(i_min:i_max)*f_cuve_1(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_cuve_1(i_min:i_max));
moy_f_cuve_2 = (x_f(i_min:i_max)*f_cuve_2(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_cuve_2(i_min:i_max));
moy_f_cuve_3 = (x_f(i_min:i_max)*f_cuve_3(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_cuve_3(i_min:i_max));

moy_f_exp_1 = (x_f(i_min:i_max)*f_exp_1(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_exp_1(i_min:i_max));
moy_f_exp_2 = (x_f(i_min:i_max)*f_exp_2(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_exp_2(i_min:i_max));
moy_f_exp_3 = (x_f(i_min:i_max)*f_exp_3(i_min:i_max))/(ones(size(i_min:i_max))*f_exp_3(i_min:i_max));

```

Écriture fichier

```
fileID = fopen('0_stat_badoit_rouge.txt', 'w+');
    % 'w+' si on veut remplacer les données précédentes
    % 'a' si on veut rajouter les données à la suite

fprintf(fileID,'%1.3f %1.3f\n',[moy_fr_11; moy_f_11]);
fprintf(fileID,'%1.3f %1.3f\n',[moy_fr_12; moy_f_12]);
fprintf(fileID,'%1.3f %1.3f\n',[moy_fr_13; moy_f_13]);

fprintf(fileID,'%1.3f %1.3f\n',[moy_fr_21; moy_f_21]);
fprintf(fileID,'%1.3f %1.3f\n',[moy_fr_22; moy_f_22]);
fprintf(fileID,'%1.3f %1.3f\n',[moy_fr_23; moy_f_23]);

fprintf(fileID,'%1.3f %1.3f\n',[moy_fr_31; moy_f_31]);
fprintf(fileID,'%1.3f %1.3f\n',[moy_fr_32; moy_f_32]);
fprintf(fileID,'%1.3f %1.3f\n',[moy_fr_33; moy_f_33]);

fclose(fileID);
```

Figure 4 : Statistique des rayons par expériences

```
figure(4);

r = [r_exp_1; r_exp_2; r_exp_3];
g1 = repmat({'Expérience 1'},size(r_exp_1));
g2 = repmat({'Expérience 2'},size(r_exp_2));
g3 = repmat({'Expérience 3'},size(r_exp_3));
g = [g1; g2; g3];

boxplot(r,g,'Orientation','horizontal','Whisker',5,'Symbol','');
xlabel('Rayon (\mu m)');
```

Figure 5 : Statistique des rayons par cuve

```
figure(5);

r = [r_cuve_1; r_cuve_2; r_cuve_3];
g1 = repmat({'Cuve 1'},size(r_cuve_1));
g2 = repmat({'Cuve 2'},size(r_cuve_2));
g3 = repmat({'Cuve 3'},size(r_cuve_3));
g = [g1; g2; g3];

boxplot(r,g,'Orientation','horizontal','Whisker',5,'Symbol','');
xlabel('Rayon (\mu m)');
```