Formation des stalactites de glace : Protocole et méthodes

Salomé Luce, Clément Neytard, Benjamin Valette, Charlotte Veillon
Promotion 138

1 Montage expérimental

Notre premier objectif a été de mettre au point un montage permettant de former des stalactites de glace. Un schéma légendé du montage que nous avons réalisé est présenté en figure 1, et une photo en figure 2.

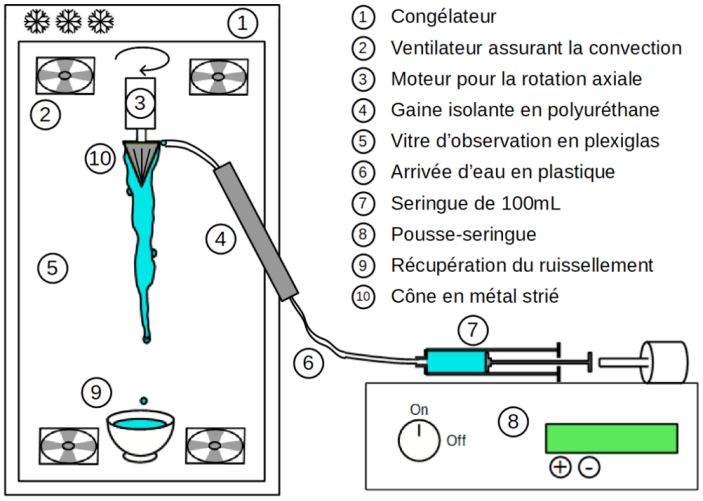

Figure 1 – Schéma du montage.

Liste du matériel :
- Un **congélateur**, qui doit être suffisamment grand pour pouvoir faire rentrer la structure
- Une **vitre en plexiglas**, que l'on va placer à la place de la porte du congélateur pour observer la formation des stalactites
- 4 **ventilateurs d'ordinateur**, qui vont permettre d'homogénéiser la température dans le congélateur
- Un **cône en métal**, qui va être le point de départ de la stalactite
- Un **moteur**, qui va nous permettre de faire tourner la stalactite sur elle-même (on fixe le cône sur ce moteur)
- Un **tuyau**, pour que l'eau arrive à l'endroit souhaité
- De la **mousse de polyuréthane**, que l'on va mettre autour de la partie du tuyau à l'intérieur du congélateur afin d'éviter que l'eau ne gèle dans le tuyau
- Une **seringue de 100 mL**, dans laquelle on place l'eau
- Un **pousse-seringue**, pour contrôler le débit d'arrivée d'eau allant de 600 à 1000 µL/min54
- Un **appareil photo** relié à l'ordinateur, pour prendre des photos de l'expérience à intervalles réguliers

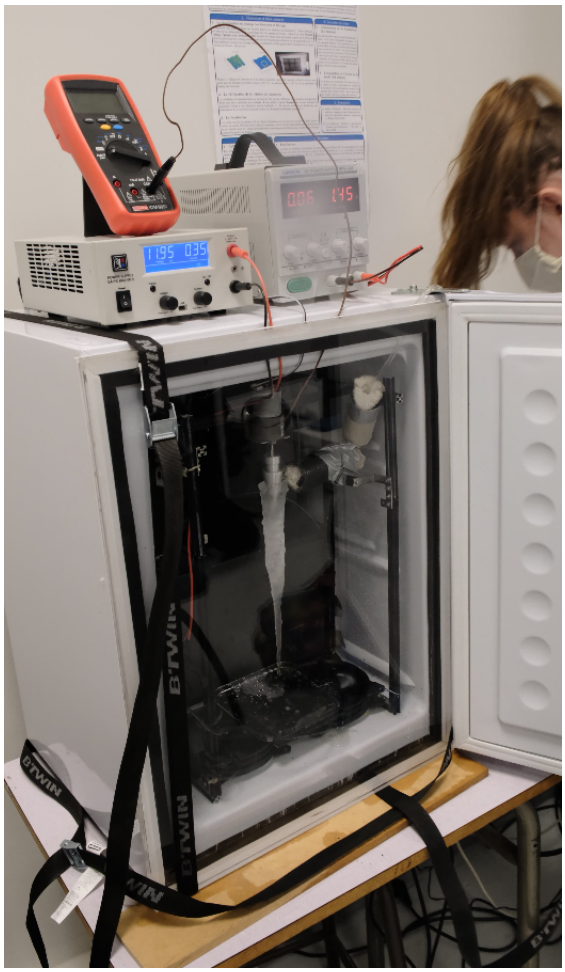

FIGURE 2 – Photo du montage expérimental.

La structure est réalisée avec des tiges métalliques à rails. Le moteur et les ventilateurs sont alimentés par deux générateurs séparés. La vitre en plexiglas, sur laquelle a été collé un joint, est maintenue plaquée contre le congélateur à l'aide de sangles sans pour autant gêner l'arrivée d'eau. Nous avons aussi rajouté des plaques de carton noirs dans tout le dispositif afin d'augmenter le contraste entre la stalactite et le fond du dispositif, pour avoir une exploitation des données optimale. Pour éviter les reflets sur la vitre de plexiglas, un fond noir est placé derrière l'appareil photo.

2 Traitement des images

Nous avons, pour chacune de nos expériences, pris des photos de la stalactite à intervalles de temps réguliers, afin de mesurer l'évolution de sa longueur au cours du temps. La méthode fastidieuse consistait à pointer manuellement à l'aide du logiciel ImageJ. Comme nous avions beaucoup d'images, nous avons opté pour un code Matlab qui repère la position de la pointe de la stalactite au cours du temps. Il s'agit du programme *Global_Stalactites*, présenté en annexe A.

Les étapes du programme *Global_Stalactites* :
— Choix des photos qui vont être étudiées
— Ajustement de la fenêtre d'étude

— Calibration en utilisant la taille du cône
— Ajustement du contraste
— Coupage des images juste sous la pointe de la stalactite
— Pointage de la longueur de la stalactite
— Retrait des valeurs aberrantes (facultatif)

Après avoir constaté qu'au bout d'un moment, la longueur de la stalactite ne variait plus et que c'était en fait la largeur (ou le diamètre) de la stalactite qui augmentait, nous avons décidé de mettre au point un nouveau code permettant de mesurer la largeur de la stalactite au cours du temps. Ce code *Stalactites_Largeur* est présenté en annexe B.

Ce code fonctionne comme le précédent, à la différence près qu'il faudra renseigner les hauteurs pour lesquelles on voudra évaluer la largeur de la stalactite au cours du temps.

Annexe A : Code pour la longueur de la stalactite au cours du temps

```
% Ne pas oubblier de bien lancer chaque section, suivez bien les
% commentaires

%% Initialisation pour l'experience etudiee

% Donnez le numero de la premiere et de la derniere photo de la serie
Premiere_Photo=;
Derniere_Photo=;

% Donnez l'intervalle des numeros des photos qui seront etudiees
Debut=;
Fin=;

% Taille du cone utilise (en cm)
Taille_Reelle=5;

%% Visualisation de la sequence (facultatif)
% Juste pour vous permettre de voir un ''film'' de la sequence, afin de voir
% si la camera a bouge, vers ou commencer, etc...

% Rentrez juste le nombre d'images a voir sur le film (initial : 30)
Images=30;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    imshow(F)
end

%% Ajustement de la fenetre
% Faites varier les parametres pour que le film encadre bien le stalactite.
% Toujours commencer avec les parametres de base : 1 puis 2000 en hauteur
% et 2992 en largeur. N'hesitez pas a prendre un peu de marge en longueur.
% Pour que ca aille plus vite, voici un exemple de fenetre :
% hauteur=[100 1300] et largeur=[1200 1500]
hauteur_debut=1;
hauteur_fin=2000;
largeur_debut=1;
largeur_fin=2992;

% Rentrez juste le nombre d'images a voir sur le film (initial : 10)
Images=10;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    F2=F(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin);
    imshow(F2)
end

%% Calibration de la taille du cone et de sa pointe
% Il vous suffit de pointer le haut puis le bas du cone (bien respecter cet
% ordre), et ce sur plusieurs photos (si jamais l'appareil photo a bouge).
```

```
% Il faut la hauteur, donc pointer le milieu du haut du cone.

% Nombre d'images pour la calibration, ne pas hesiter a en faire plus
% si vous avez remarque que l'appareil a beaucoup bouge (vous pouvez le
% voir grace a la section precedente par exemple) (initial : 10)
Images=10;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
Taille=[];
Bas_x=[];
Bas_y=[];
Limite_Cone=[];
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    F2=F(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin);
    imshow(F2)
    [xextr,yextr]=ginput(2);
    Taille=[Taille,sqrt((xextr(2)-xextr(1))^2+(yextr(2)-yextr(1))^2)];
    Limite_Cone=[Limite_Cone,i];
    Bas_x=[Bas_x, xextr(2)];
    Bas_y=[Bas_y, yextr(2)];
end

Taille_Cone=round(mean(Taille));

%% Verification des pointages du cone

% Rentrez juste le nombre d'images a voir sur le film (initial : 30)
Images=30;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    F2=F(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin);
    tranche_cone=1;
    for lim=1:length(Limite_Cone)
         if i>Limite_Cone(lim)
             tranche_cone=lim
         end
    end
    imshow(F2)
    hold on
    scatter(Bas_x(tranche_cone),Bas_y(tranche_cone),'s')
    pause(0.1)
end

%% Contraste et seuil

% C'est l'ajustement du seuil qui definit l'image en ''noir et blanc'' (>0
% si vous voulez affiner le stalactite et avoir moins d'aberations, <0 si
% vous trouvez que le stalactite n'est pas assez visible)(la valeur doit
% etre de l'ordre de 0.01) (initial : 0)
ajustement=0;

% Il permet de definir les 2 couleurs que vous verrez lors du traitement
% d'image (noir(fond) et blanc(stalactite) : 0, plutot gris clair/gris
%fonce : vers 0.5) (initial : 0.33)
contraste=0.33;

```

```
% Rentrez juste le nombre d'images a voir sur le film (initial : 20)
Images=20;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images);
fname=nom_photo(Debut);
E=imread(fname);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    G=imsubtract(F,E);
    G2=rgb2gray(G);
    G3=G2(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin);
    level = graythresh(G3);
    BW = imbinarize(G3,level+ajustement);
    BW2=abs(BW-contraste);
    imshow(BW2)
end

%% Coupage des images pour le pointage

% Rentrez le nombre d' ''intervalles'' que vous souhaitez a peu pres
% (initial : 20)
Tranches=20;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Tranches);
fname=nom_photo(Debut);
E=imread(fname);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
Cadre=[];
Limite=[];
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    G=imsubtract(F,E);
    G2=rgb2gray(G);
    G3=G2(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin);
    level = graythresh(G3);
    BW = imbinarize(G3,level+ajustement);
    BW2=abs(BW-contraste);
    imshow(BW2)
    Limite=[Limite,i];
    if i≠debut
        [xextr,yextr]=ginput(1);
        Cadre=[Cadre,yextr];
    end
end
Cadre=[Cadre, hauteur_fin-hauteur_debut];

%% Controle du coupage

% Rentrez le nombre d' ''intervalles'' que vous souhaitez (initial : 100)
Images2=100;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images2);
fname=nom_photo(Debut);
E=imread(fname);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    G=imsubtract(F,E);
```

```
190      G2=rgb2gray(G);
191      tranche=1;
192      for lim=1:length(Limite)
193          if i>Limite(lim)
194              tranche=lim;
195          end
196      end
197      G3=G2(hauteur_debut:hauteur_debut+floor(Cadre(tranche))+1,largeur_debut: ...
             largeur_fin);
198      level = graythresh(G3);
199      BW = imbinarize(G3,level+ajustement);
200      BW2=abs(BW-contraste);
201      imshow(BW2)
202  end
203
204  % Si vous etes satisfaits du coupage, passez a la suite
205
206  %% Pointage de la longueur de la stalactite
207
208  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
209  %Il est tres important de lire ces prochaines lignes. Lorsque vous lancerez
210  %cette section, vous devrez effectuer un pointage. Pour chaque photo qui
211  %sera affichee, vous aurez plusieurs choix :
212  % - pointer au-dessus puis au-dessous de la stalactite (bien respecter
213  % l'ordre) : il faut que le point ''contraste'' le plus bas de cette
214  % intervalle corresponde a la pointe de la stalactite.
215  % - si le point ''contraste'' le plus bas de la figure est deja la pointe
216  % de votre stalactite, appuyez deux fois sur la lettre V : ce choix permet
217  % de gagner du temps.
218  % - si vous avez fait une erreur, appuyez deux fois sur la lettre B : cela vous
219  % renverra en arriere, autant de fois que la valeur 'back' definie dans la
220  % premiere section.
221  % - si vous tombez sur une photo qui vous semble aberrante (mauvais
222  % contraste, pointe pas visible, etc...) et que vous souhaitez la retirer,
223  % appuyez deux fois sur la lettre F.
224  % Si jamais vous souhaitez simplement recommencer le pointage, fermez les
225  % figures et relancez la section.
226  % Veuillez enfin definir les 2 parametres ci-dessous.
227  %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
228
229  % C'est lee pas entre les photos, selon si vous voulez toutes les pointer
230  % (pas=1) ou moins (initial : 5)
231  pas=5;
232
233  % Si jamais vous avez fait une erreur dans le pointage, cela vous permettra
234  % de revenir en arriere pour pointer celles ou vous pensez avoir fait une
235  % fausse manip'. Son nombre represente le nombre de photos que vous
236  % repointerez en arriere (initial : 1)
237  back=1;
238
239  %Vous pouvez maintenant lancer la section
240
241  Photos=Derniere_Photo-Premiere_Photo;
242  N=round(Photos/pas)+1;
243  fname=nom_photo(Debut);
244  E=imread(fname);
245  Pointe=zeros(N,2);
246  t=zeros(N,1);
247  n=0;
248  fin=(round(Fin/pas)-1)*pas;
249  debut=Debut;
250  d=zeros(N,1);
251  enlever=[];
252
253  for i = debut:pas:fin
```

```
254     n=n+1;
255     fname=nom_photo(i);
256     F=imread(fname);
257     G=imsubtract(F,E);
258     G2=rgb2gray(G);
259     tranche=1;
260     for lim=1:length(Limite)
261         if i>Limite(lim)
262             tranche=lim;
263         end
264     end
265     G3=G2(hauteur_debut:hauteur_debut+floor(Cadre(tranche))+1,largeur_debut: ...
            largeur_fin);
266     level = graythresh(G3);
267     BW = imbinarize(G3,level+ajustement);
268     BW2=abs(BW-contraste);
269     imshow(BW2)
270     [xextr,yextr,button]=ginput(2);
271     if (button(1)==118) | (button(2)==118)
272         max=[0 0];
273         largeur=length(BW(1,:));
274         for j=round(1):round(length(BW(:,1)))
275             for k=1:largeur
276                 if BW(j,k)==1
277                     max=[j k];
278                 end
279             end
280         end
281         Pointe(n,1)=max(1);
282         Pointe(n,2)=max(2);
283         x=imfinfo(fname);
284         a=split(x.FileModDate);
285         b=cell2mat(split(a(2),':'));
286         t(n,1)=str2num(b(1,1:2))*3600+str2num(b(2,1:2))*60+str2num(b(3,1:2));
287     end
288     while (button(1)==98) | (button(2)==98)
289         n=n-back-1;
290         for rep = debut+n*pas:pas:debut+(n+back)*pas
291             n=n+1;
292             fname=nom_photo(rep);
293             F=imread(fname);
294             G=imsubtract(F,E);
295             G2=rgb2gray(G);
296             tranche=1;
297             for lim=1:length(Limite)
298                 if i>Limite(lim)
299                     tranche=lim;
300                 end
301             end
302             G3=G2(hauteur_debut:hauteur_debut+floor(Cadre(tranche))+1,largeur_debut: ...
                    largeur_fin);
303             level = graythresh(G3);
304             BW = imbinarize(G3,level+ajustement);
305             BW2=abs(BW-contraste);
306             imshow(BW2)
307             [xextr,yextr,button]=ginput(2);
308             max=[0 0];
309             largeur=length(BW(1,:));
310             for j=round(yextr(1)):round(yextr(2))
311                 for k=1:largeur
312                     if BW(j,k)==1
313                         max=[j k];
314                     end
315                 end
316             end
```

```
317             Pointe(n,1)=max(1);
318             Pointe(n,2)=max(2);
319             x=imfinfo(fname);
320             a=split(x.FileModDate);
321             b=cell2mat(split(a(2),':'));
322             t(n,1)=str2num(b(1,1:2))*3600+str2num(b(2,1:2))*60+str2num(b(3,1:2))
323         end
324     end
325     if (button(1)==102) | (button(2)==102)
326         enlever=[enlever,n];
327     end
328     if (button(1)≠118) & (button(1)≠102) & (button(2)≠118) & (button(2)≠102) & ...
            (button(1)≠98) & (button(2)≠98)
329         max=[0 0];
330         largeur=length(BW(1,:));
331         for j=round(yextr(1)):round(yextr(2))
332             for k=1:largeur
333                 if BW(j,k)==1
334                     max=[j k];
335                 end
336             end
337         end
338         Pointe(n,1)=max(1);
339         Pointe(n,2)=max(2);
340         x=imfinfo(fname);
341         a=split(x.FileModDate);
342         b=cell2mat(split(a(2),':'));
343         t(n,1)=str2num(b(1,1:2))*3600+str2num(b(2,1:2))*60+str2num(b(3,1:2));
344     end
345 end
346
347 fname=nom_photo(Premiere_Photo);
348 init=imfinfo(fname);
349 a=split(init.FileModDate);
350 b=cell2mat(split(a(2),':'));
351 t0=str2num(b(1,1:2))*3600+str2num(b(2,1:2))*60+str2num(b(3,1:2));
352 tfin=t-t0;
353
354 for m=1:N
355     tranche_cone=1;
356     for lim=1:length(Limite_Cone)
357         if m*pas+debut>Limite_Cone(lim)
358             tranche_cone=lim;
359         end
360     end
361     d(m)=sqrt((Pointe(m,1)-Bas_y(tranche_cone))^2+ ...
            (Pointe(m,2)-Bas_x(tranche_cone))^2)*Taille_Reelle/Taille_Cone;end
362 end
363
364 %% Retire les valeurs aberrantes du pointage reperees par l'utilisateur
365
366 d2=d;
367 tfin2=tfin;
368 enlever=fliplr(enlever);
369 if length(enlever)≠0
370     for i=1:length(enlever)
371         d2(enlever(i))=[];
372         tfin2(enlever(i))=[];
373     end
374 end
375
376 %% Retire les valeurs aberrantes dans les mesures
377
378 enlever3=[];
379 d3=d2;
```

```
tfin3=tfin2;
fname=nom_photo(Derniere_Photo);
F=imread(fname);
init=imfinfo(fname);
a=split(init.FileModDate);
b=cell2mat(split(a(2),':'));
t_fin=str2num(b(1,1:2))*3600+str2num(b(2,1:2))*60+str2num(b(3,1:2));

for i=1:length(d2)
    if (d3(i)<0) | (d3(i)>length(F(:,1))*Taille_Reelle/Taille_Cone) | (tfin3(i)<0) | ...
        (tfin3(i)>t_fin)
        enlever3=[enlever3,i];
    end
end

enlever3=fliplr(enlever3);
for i=1:length(enlever3)
    d3(enlever3(i))=[];
    tfin3(enlever3(i))=[];
end

plot(tfin3,d3)

%% Droites de supression des valeurs graphiques aberrantes (facultatif)

coupecoupe=zeros(1,5000);
for i=1:2250
    coupecoupe(i)=440;
end
for i=2250:5000
    coupecoupe(i)=(i-2250)*0.4+440;
end
t=linspace(1058,6057,5000);

plot(tfin2, d2)
hold on
plot(t,coupecoupe)

%% Retire les points abberants reperes graphiquement

d3=d2;
tfin3=tfin2;
enlever=[];
for i=1:length(coupecoupe)
    for j=1:length(tfin3)
        if tfin3(j)==t(i)
            if coupecoupe(i)<d3(j)
                enlever=[enlever,j];
            end
        end
    end
end
enlever=fliplr(enlever);

for i=1:length(enlever)
    d3(enlever(i))=[];
    tfin3(enlever(i))=[];
end
plot(tfin3,d3)

%%

function [fname] = nom_photo(int)
    if max(ceil(log10(abs(int)+1)),1)==4
        fname=sprintf('DSC_%d.jpg', int);
```

```
444       end
445       if max(ceil(log10(abs(int)+1)),1)==3
446           fname=sprintf('DSC_0%d.jpg', int);
447       end
448       if max(ceil(log10(abs(int)+1)),1)==2
449           fname=sprintf('DSC_00%d.jpg', int);
450       end
451       if max(ceil(log10(abs(int)+1)),1)==1
452           fname=sprintf('DSC_000%d.jpg', int);
453       end
454   end
```

Annexe B : Code pour la largeur de la stalactite au cours du temps

D'abord, la fonction *nom_ photo*, qui sera appelée dans le code principal :

```
function [fname] = nom_photo(int)
    if max(ceil(log10(abs(int)+1)),1)==4
        fname=sprintf('DSC_%d.jpg', int);
    end
    if max(ceil(log10(abs(int)+1)),1)==3
        fname=sprintf('DSC_0%d.jpg', int);
    end
    if max(ceil(log10(abs(int)+1)),1)==2
        fname=sprintf('DSC_00%d.jpg', int);
    end
    if max(ceil(log10(abs(int)+1)),1)==1
        fname=sprintf('DSC_000%d.jpg', int);
    end
end
```

La code principal :

```
% Ne pas oublier de bien lancer chaque section, suivez bien les
% commentaires

%% Initialisation pour l'experience etudiee

% Donnez le numero de la premiere et de la derniere photo de la serie
Premiere_Photo=;
Derniere_Photo=;

% Donnez l'intervalle des numeros des photos qui seront etudiees
Debut=;
Fin=;

% Taille du cone utilise (en cm)
Taille_Reelle=5;

%% Visualisation de la sequence (facultatif)
% Juste pour vous permettre de voir un ''film'' de la sequence, afin de voir
% si la camera a bouge, vers ou commencer, etc...

% Rentrez juste le nombre d'images a voir sur le film (initial : 30)
Images=30;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    imshow(F)
end

%% Ajustement de la fenetre
% Faites varier les parametres pour que le film encadre bien le stalactite.
% Toujours commencer avec les parametres de base : 1 puis 2000 en hauteur
% et 2992 en largeur. N'hesitez pas a prendre un peu de marge en longueur.
```

```
% Pour que ca aille plus vite, voici un exemple de fenetre :
% hauteur=[100 1300] et largeur=[1200 1500]
hauteur_debut=100;
hauteur_fin=1300;
largeur_debut=1200;
largeur_fin=1500;

% Rentrez juste le nombre d'images a voir sur le film (initial : 10)
Images=10;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    F2=F(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin);
    imshow(F2)
end

%% Calibration de la taille du cone et de sa pointe
% Il vous suffit de pointer le haut puis le bas du cone (bien respecter cet
% ordre), et ce sur plusieurs photos (si jamais l'appareil photo a bouge).
% Il faut la hauteur, donc pointer le milieu du haut du cone.

% Nombre d'images pour la calibration, ne pas hesiter a en faire plus
% si vous avez remarque que l'appareil a beaucoup bouge (vous pouvez le
% voir grace a la section precedente par exemple) (initial : 10)
Images=10;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
Taille=[];
Fin_Cone=[];
for i = debut:Film:fin
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    F2=F(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin);
    imshow(F2)
    [xextr,yextr]=ginput(2);
    Taille=[Taille,sqrt((xextr(2)-xextr(1))^2+(yextr(2)-yextr(1))^2)];
    Fin_Cone=[Fin_Cone,yextr(2)];
end

Taille_Cone=round(mean(Taille));
Pointe_Cone=round(mean(Fin_Cone));

%% Contraste et seuil

% C'est l'ajustement du seuil qui definit l'image en ''noir et blanc'' (>0
% si vous voulez affiner le stalactite et avoir moins d'aberations, <0 si
% vous trouvez que le stalactite n'est pas assez visible)(la valeur doit
% etre de l'ordre de 0.01) (initial : 0)
ajustement=0;

% Rentrez juste le nombre d'images a voir sur le film (initial : 20)
Images=20;

Film=round((Derniere_Photo-Premiere_Photo)/Images);
fname=nom_photo(Debut);
E=imread(fname);
fin=(round(Fin/Film)-1)*Film;
debut=Debut;
for i = debut:Film:fin
```

```
102     fname=nom_photo(i);
103     F=imread(fname);
104     G=imsubtract(F,E);
105     G2=rgb2gray(G);
106     G3=G2(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin);
107     level = graythresh(G3);
108     BW = imbinarize(G3,level+ajustement);
109     BW2=abs(BW);
110     imshow(BW2)
111 end
112 
113 %% Definition des hauteurs a etudier
114 
115 % Rentrer dans le tableau suivant les hauteurs (en cm) pour lesquelles vous
116 % voulez etudier la stalactite
117 H=[];
118 
119 Hauteur=H*Taille_Cone/Taille_Reelle+hauteur_debut+Pointe_Cone;
120 
121 fname=nom_photo(Fin);
122 E=imread(fname);
123 Line=ones(length(Hauteur),length(E(1,:)));
124 imshow(E(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin))
125 for i=1:length(Hauteur)
126     hold on
127     Line(i,:)=Line(i,:)*Hauteur(i);
128     plot(Line(i,:),'r','linewidth',1)
129 end
130 
131 %% Pointage de la largueur de la stalactite
132 
133 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
134 %Il est tres important de lire ces prochaines lignes. Lorsque vous lancerez
135 %cette section, vous devrez effectuer un pointage. Pour chaque photo qui
136 %sera affichee, vous aurez plusieurs choix :
137 % - pointer au-dessus puis au-dessous de la stalactite (bien respecter
138 % l'ordre) : il faut que le point ''contraste'' le plus bas de cette
139 % intervalle corresponde a la pointe de la stalactite.
140 % - si le point ''contraste'' le plus bas de la figure est deja la pointe
141 % de votre stalactite, appuyez deux fois sur la lettre V : ce choix permet
142 % de gagner du temps.
143 % - si vous avez fait une erreur, appuyez deux fois sur la lettre B : cela vous
144 % renverra en arriere, autant de fois que la valeur 'back' definie dans la
145 % premiere section.
146 % - si vous tombez sur une photo qui vous semble aberrante (mauvais
147 % contraste, pointe pas visible, etc...) et que vous souhaitez la retirer,
148 % appuyez deux fois sur la lettre F.
149 % Si jamais vous souhaitez simplement recommencer le pointage, fermez les
150 % figures et relancez la section.
151 % Veuillez enfin definir les 2 parametres ci-dessous.
152 %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
153 
154 % C'est lee pas entre les photos, selon si vous voulez toutes les pointer
155 % (pas=1) ou moins (initial : 5)
156 pas=5;
157 
158 %Vous pouvez maintenant lancer la section
159 
160 Photos=Derniere_Photo-Premiere_Photo;
161 N=round(Photos/pas)+1;
162 fname=nom_photo(Debut);
163 E=imread(fname);
164 Pointe=zeros(N,2);
165 t=zeros(N,1);
166 n=0;
```

```
fin=(round(Fin/pas)-1)*pas;
debut=Debut;
d=zeros(N,length(Hauteur));
enlever=[];
Largeurs=zeros(N, length(Hauteur));

for i = debut:pas:fin
    n=n+1;
    fname=nom_photo(i);
    F=imread(fname);
    G=imsubtract(F,E);
    G2=rgb2gray(G);
    G3=G2(hauteur_debut:hauteur_fin,largeur_debut:largeur_fin);
    level = graythresh(G3);
    BW = imbinarize(G3,level+ajustement);
    largeur=length(BW(1,:));
    Niveau=zeros(1,length(Hauteur));
    for j=1:length(Hauteur)
        Niveau(j)=Hauteur(j);
        points=[];
%         imshow(BW);      % decommenter les lignes pour voir l'avancee
%         hold on
%         plot(Line(j,:),'r','linewidth',1)
%         pause(1)
        for k=1:largeur
            if BW(Niveau(j),k)==1
                points=[points,k];
            end
        end
        if length(points)>1
            Largeurs(n,j)=max(points)-min(points);
        end
    end
    x=imfinfo(fname);
    a=split(x.FileModDate);
    b=cell2mat(split(a(2),':'));
    t(n,1)=str2num(b(1,1:2))*3600+str2num(b(2,1:2))*60+str2num(b(3,1:2));
end

fname=nom_photo(Premiere_Photo);
init=imfinfo(fname);
a=split(init.FileModDate);
b=cell2mat(split(a(2),':'));
t0=str2num(b(1,1:2))*3600+str2num(b(2,1:2))*60+str2num(b(3,1:2));
tfin=t-t0;

d=Largeurs*Taille_Reelle/Taille_Cone;

%% Lancer ensuite cette commande

enlever=[];
d2=d;
tfin2=ones(N,length(Hauteur));
for i=1:length(Hauteur)
    for j=1:length(tfin)
        tfin2(j,i)=tfin(j);
    end
end

fname=nom_photo(Derniere_Photo);
F=imread(fname);
init=imfinfo(fname);
a=split(init.FileModDate);
b=cell2mat(split(a(2),':'));
t_fin=str2num(b(1,1:2))*3600+str2num(b(2,1:2))*60+str2num(b(3,1:2));
```

```
232
233 for j=1:length(Hauteur)
234     enlever=[];
235     for i=1:length(tfin2(:,1))
236         if (tfin2(i,j)<0.00000001 | tfin2(i,j)>t_fin)
237             enlever=[enlever,i];
238         end
239     end
240     enlever=fliplr(enlever);
241     for k=1:length(enlever)
242         d2(enlever(k),:)=[];
243         tfin2(enlever(k),:)=[];
244     end
245 end
246
247 %% Lancer ensuite cette commande
248
249 Legende=[];
250 D=cell(1,length(Hauteur));
251 T=cell(1,length(Hauteur));
252 for j=1:length(Hauteur)
253     Legende=[Legende,'Hauteur' '=' num2str(H(j)) ' '];
254     put=[];
255     for i=1:length(d2(:,1))
256         if (d2(i,j)>0.00000001 & d2(i,j)<length(F(:,1))*Taille_Reelle/Taille_Cone)
257             put=[put,i];
258         end
259     end
260     for k=1:length(put)
261         D{j}=[D{j},d2(put(k),j)];
262         T{j}=[T{j},tfin2(put(k),j)];
263     end
264     plot(T{j}, D{j})
265     hold on
266 end
267 Legende=split(Legende);
268 legend(Legende)
269 hold off
```