

```
ENSAPM (2013) {  
    Digital_Knowledge () {
```

RESOLUTIONS_REGRESSIVES (P6) {

```
    Etudiants = Mathieu_VENOT &&  
              Paul_POINET &&  
              Estelle_GLINEL ;
```

```
    Enseignants = Pierre_CUTELLIC &&  
                 Sylvain_USAI ;
```

```
}
```





Expérience physique (dépôt discontinu et chauffe simultanée)

PROBLEMATIQUE / HYPOTHESES

Les déserts que nous avons choisi d'exploiter sont les déserts de sable.

Le sable, est un matériau granulaire. Dans des conditions de température et de pression moyenne, le sable est fluide et ne s'aggregé pas durablement.

La problématique de cette étape d'expérimentations et de recherches étant la mise au point d'un système d'aggregation de la ressource choisie, nous avons cherché à faire varier les paramètres susceptibles d'influencer la fluidité du sable.

- 1/ Le matériau, très fort en silice, peut se solidifier sous une très forte température (fusion de la silice).
- 2/ L'aggregation du sable humide sous pression.

METHODE DE TRAVAIL

Notre méthode de travail a, dans un premier temps, consisté à la réalisation d'expérimentations empiriques autour de nos hypothéses.

Nous avons ensuite effectué des recherches afin de comprendre la composition du matériau sur lequel nous travaillions.

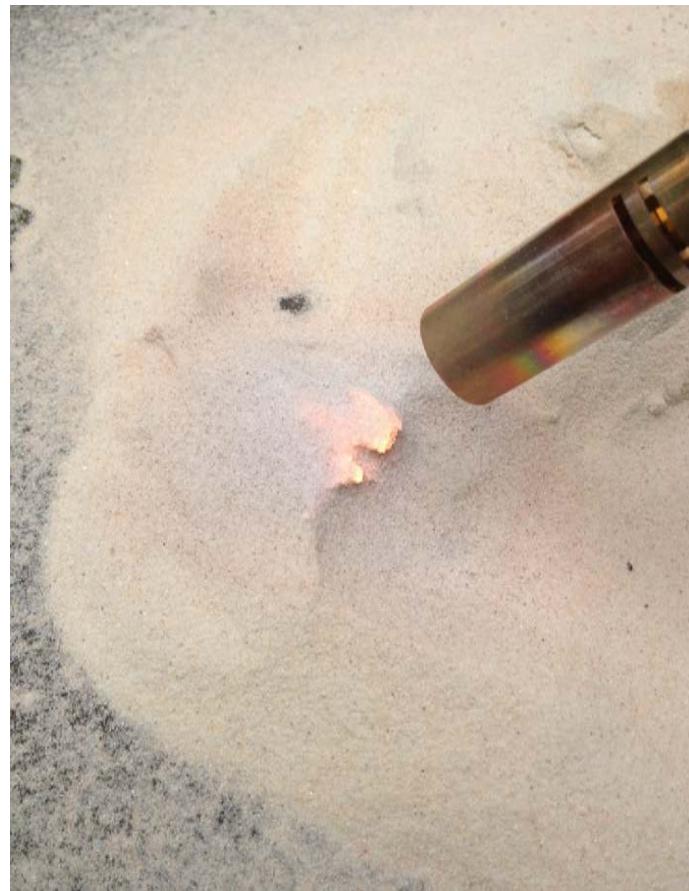
Après avoir sélectionné le résultat le plus satisfaisant, nous avons cherché à comprendre ses mécanismes physiques et biologiques afin d'élaborer par la suite un protocole de fabrication.



Expérience physique (chauffe après dépôt uniforme)



Expérience 1



Expérience 2



Expérience 3

EXPERIENCES PHYSIQUES

Premiere expérience :

Chauffe d'un tas de sable à très haute température (1700°C) à l'aide d'un chalumeau.

Le résultat est la formation d'un petit aggrégat mais trop fragile.

Deuxième expérience :

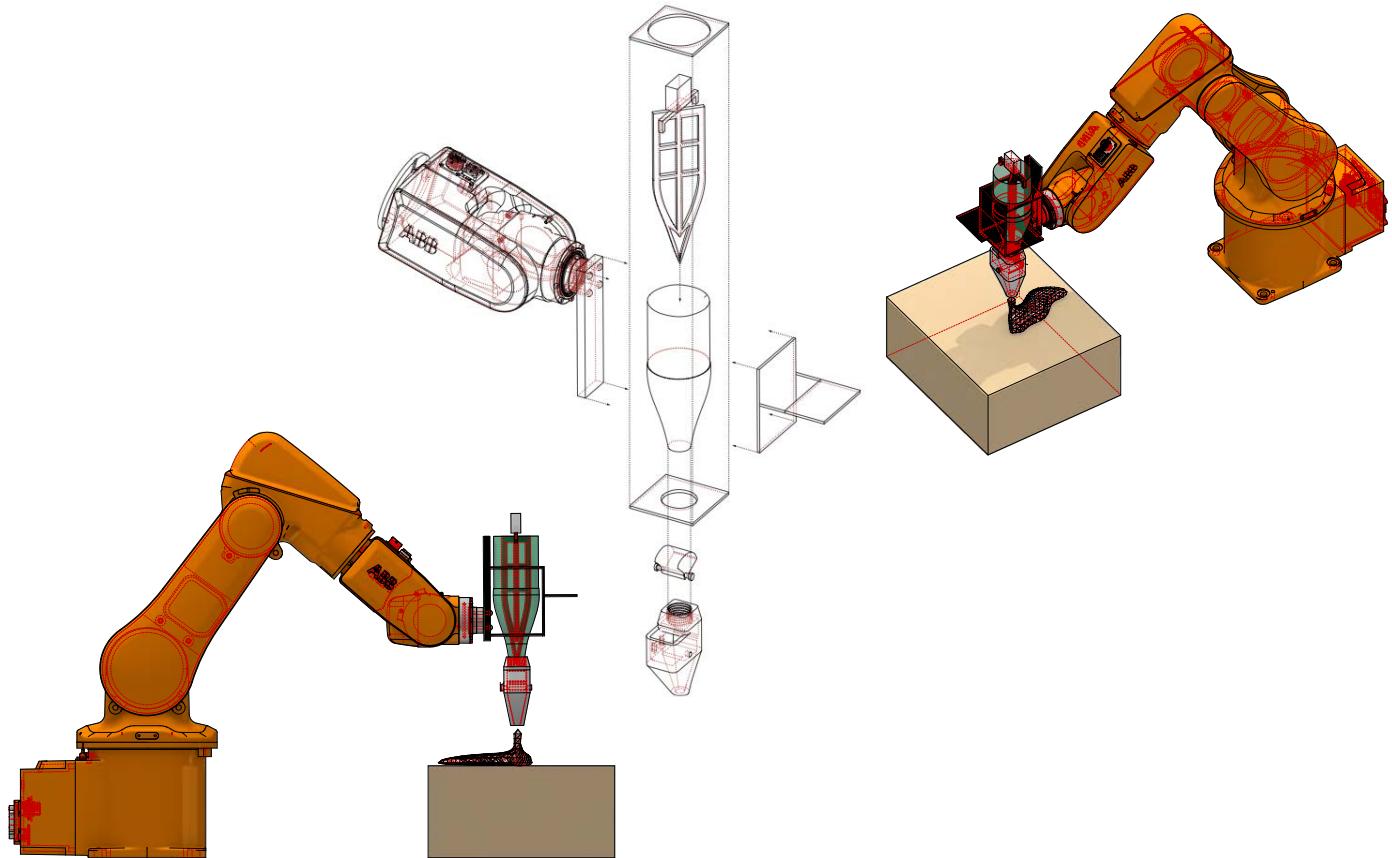
Chauffe d'une nappe de sable humidifié d'une solution d'eau saturée en sel. On observe la croissance de cristaux de sel à la surface du sable.

Troisieme expérience :

Préparation d'une solution fluide de sable et d'eau saturée en sel. A l'aide d'une seringue, nous déposons une boule de cette solution puis nous la chauffons au chalumeau.

Une coque de sel cristalisé apparait en surface du sable.

Apres répétition de ce protocole, nous obtenons un résultat solide d'aggrégation.



Hypothese 1 (Extrusion)

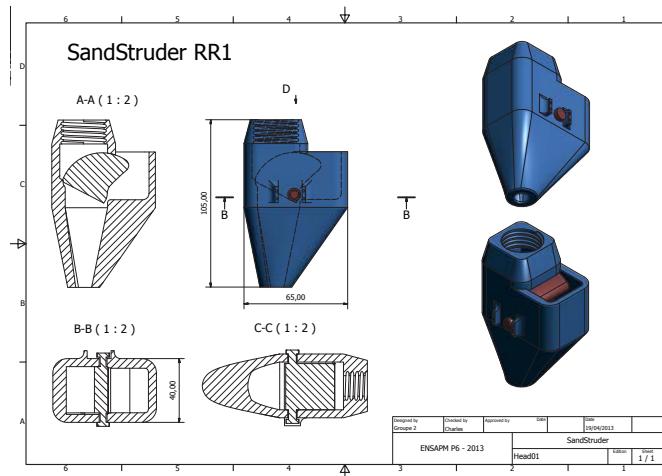
HYPOTHESE DE FABRICATION 1

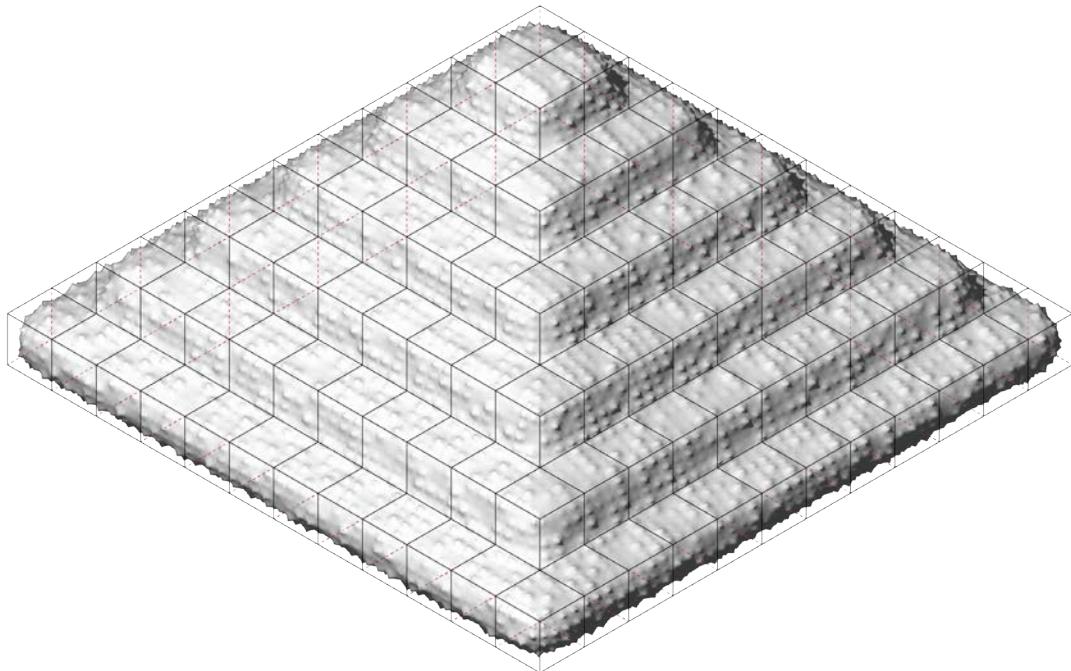
Pour cette hypothèse de fabrication, nous avons gardé les paramètres suivant : le sable, l'eau saturée en sel et la chaleur.

Nous avons mis au point un outil visant à automatiser le dépôt d'un mélange fluide de sable et d'eau salée. Le contenant contient une pale contrôlée par un moteur à rotation permettant le brassage continu du mélange. L'outil comporte un embout à valve, dont l'ouverture est contrôlée par un servomoteur qui permet le dépôt d'une quantité voulue du mélange.

La seconde étape est la cristallisation du sel sous l'action d'une très forte chaleur, fournie par un chalumeau.

L'opération peut être répétée et les dépôts superposés.





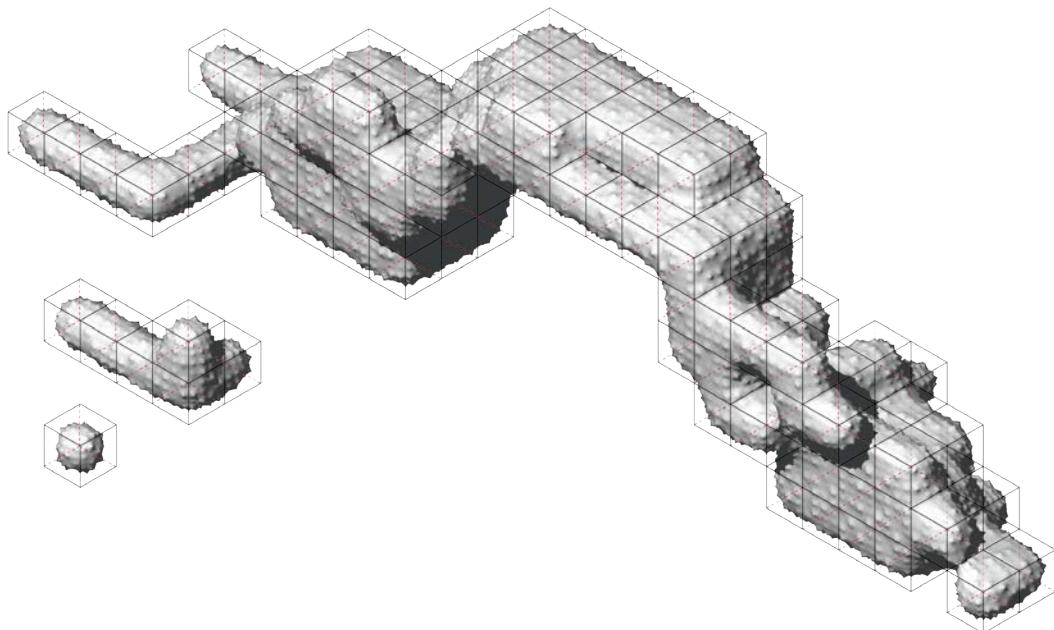
Hypothèse 2 (Assemblage)

HYPOTHESE DE FABRICATION 2

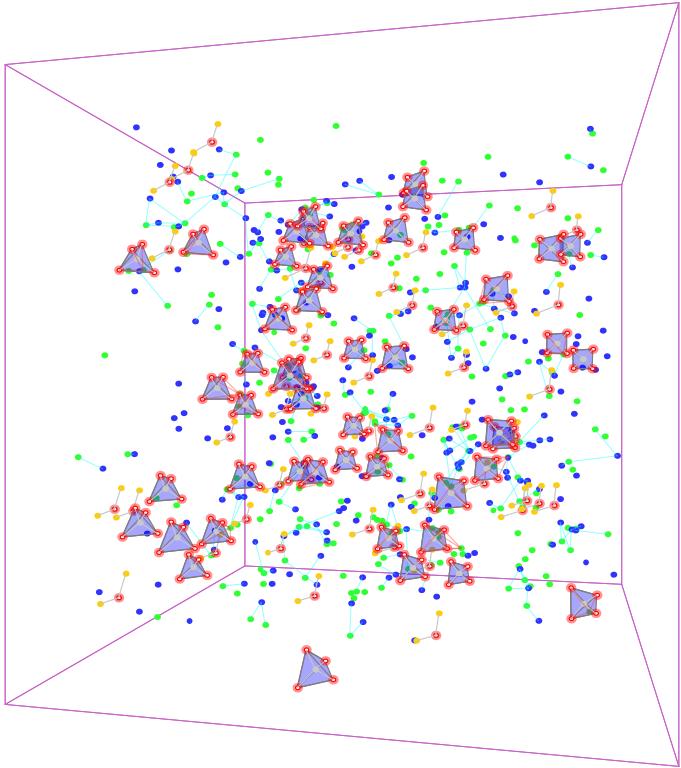
Contrairement à la première hypothèse de fabrication qui repose sur un principe continu, la deuxième est discrète.

Il s'agit ici de préfabriquer des éléments pouvant être assemblés entre eux.

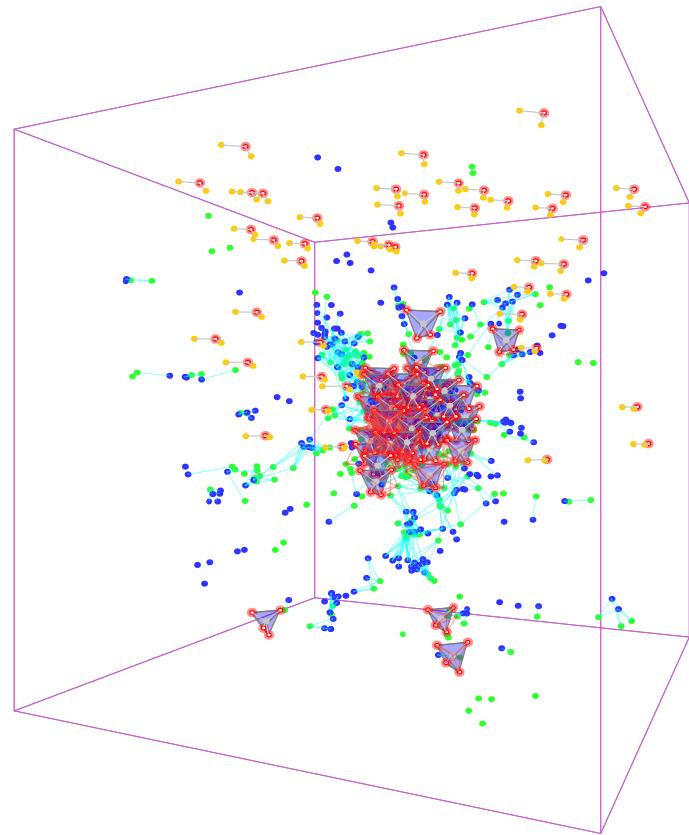
Une fois le sel cristallisé à la surface de chaque élément, on pourra alors les assembler grâce à ce même sel qui les fusionnera.



Hypothèse 2 (Coffrage)



Etape 01 (Aggregation)



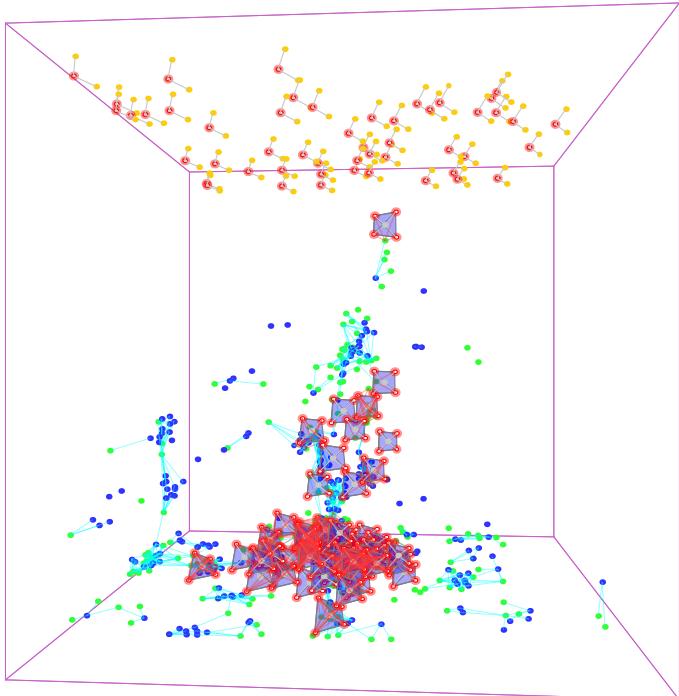
Etape 02 (Cohesion)

SIMULATION 1 : ECHELLE ATOMIQUE

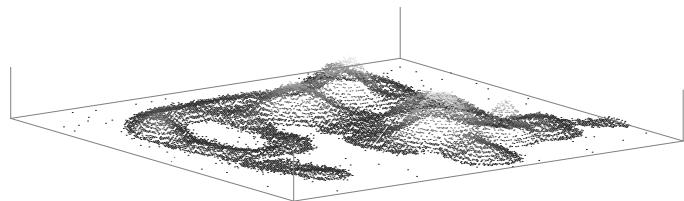
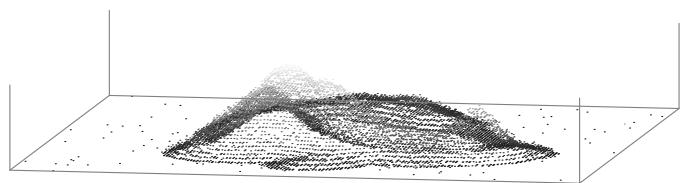
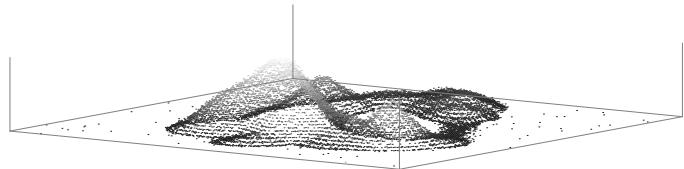
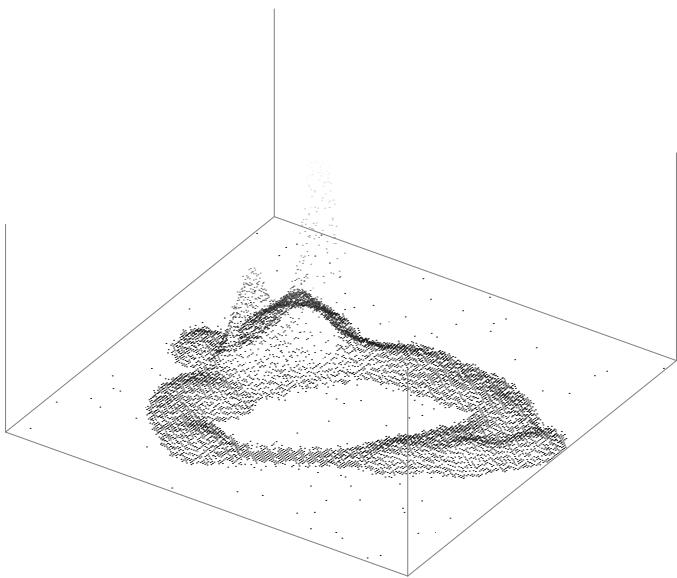
Dans cette simulation, nous avons mis en évidence les interactions entre la silice, molécule de base des cristaux de quartz qui composent les grains de sable, dans un milieu aqueux saturé en sel.

Nous avons effectué des recherches sur le comportement du sel dans l'eau, sur la composition d'un sable riche en silice ainsi que sur l'aggrégation des molécules NaCl autour des molécules SiO₄.

```
void aggregate(ArrayList xxCollection) {  
    for (int i = 0; i < xxCollection.size(); i++) {  
        xx a = (xx) xxCollection.get(i);  
        float d = dist(a.loc.x, a.loc.y, a.loc.z, loc.x,  
loc.y, loc.z);  
        Vec3D distance = new Vec3D();  
        distance = loc.copy();  
        distance = a.loc.sub(distance);  
        if (d > -Attrirance && d < Attrirance) {  
            pushStyle();  
            strokeWeight (1);  
            stroke (0, 255, 255, 111);  
            line (a.loc.x, a.loc.y, a.loc.z, loc.x, loc.y, loc.z);  
        }  
    }  
}
```



Etape 3 (Evaporation)



SIMULATION 2 : ECHELLE MACRO

- AddSand :

Permet l'ajout de grains de sables suite au dépôt depuis la tête.

```
void addSand(int[] newLoc) {  
    if (testMap[newLoc[0]][newLoc[1]][newLoc[2]] == false) {  
        grains = (sand[]) append(grains, new  
        sand(newLoc));
```

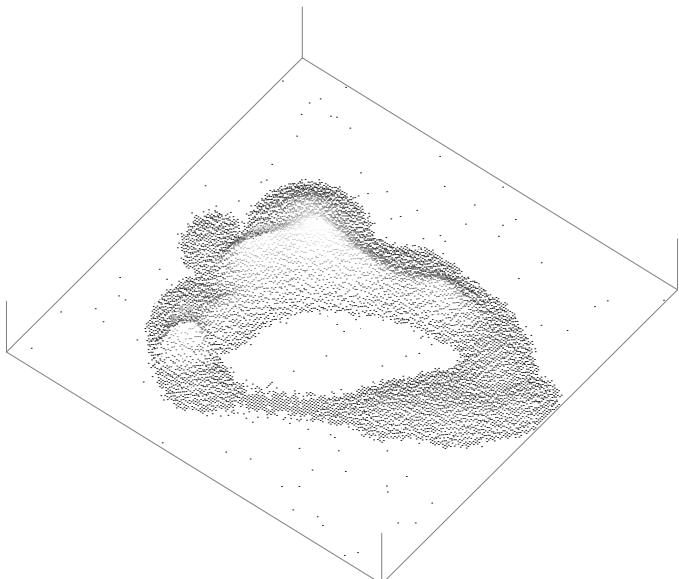
- RemoveSand :

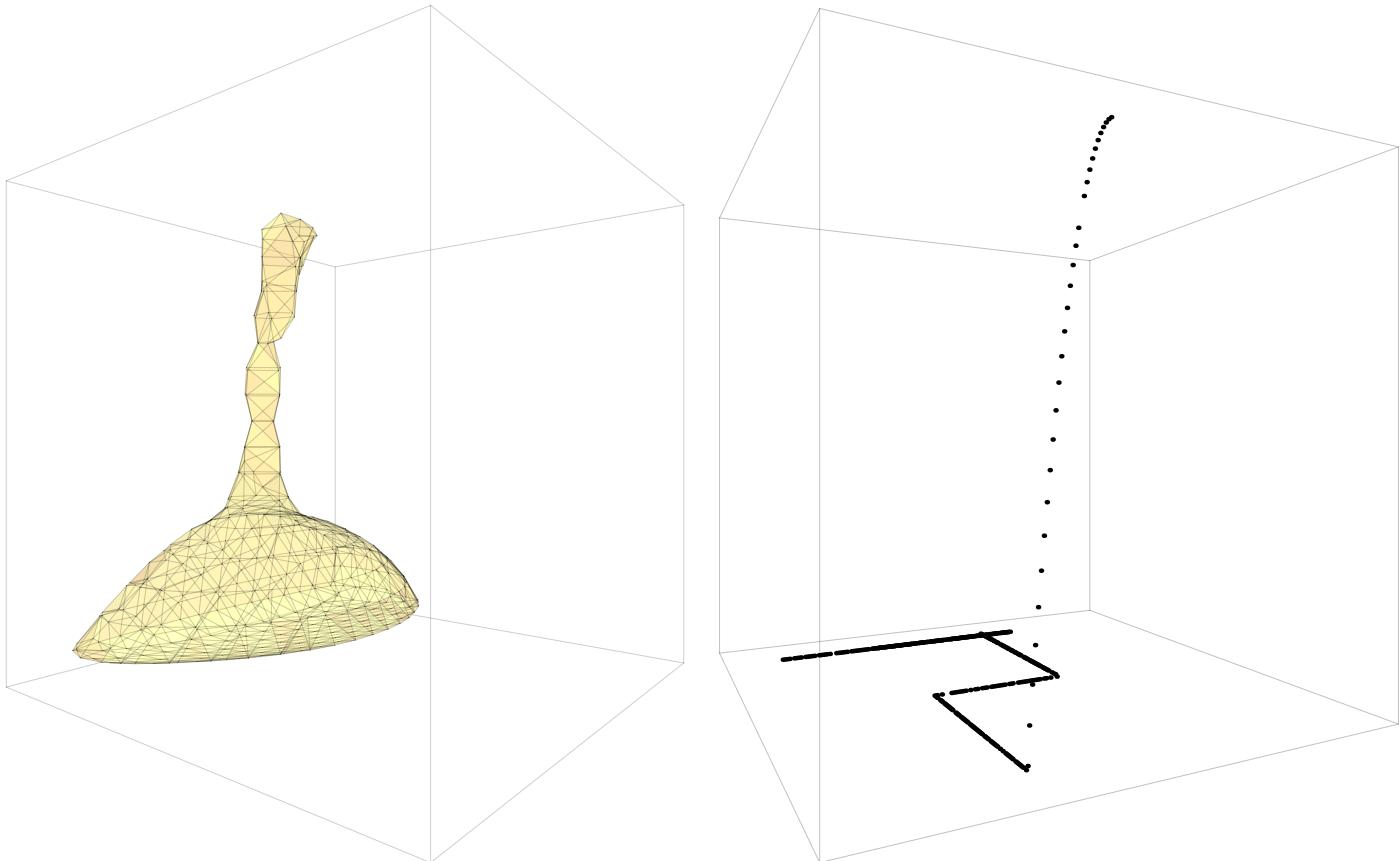
Permet le retrait de grains de sables en sélectionnant et déplaçant une zone à couper/effacer.

```
void removeSand(int[] loc) {  
    if (testMap[loc[0]][loc[1]][loc[2]] == true) {  
        for (int i=0;i<grains.length;i++) {  
            if (grains[i].isInTheSamePlaceAs(loc)) {  
                grains[i].dead = true;
```

- Sand :

Class définissant le positionnement des particules de sables, en fonction des voisins immédiats, et permettant donc un empilement.





SIMULATION 3 : ECHELLE MACRO

- InitPhysics / UpdateParticles :

Moteur physique pour la génération et déplacement des particules de sables.

```
void initPhysics() {
```

```
    physics=newVerletPhysics();
```

```
    physics.setWorldBounds(new AABB(new  
Vec3D(), new Vec3D(DIM, DIM, DIM)));
```

- ComputeVolume :

Création du volume Mesh de l'aggregat de sable après dépôt.

```
void computeVolume() {
```

```
    float cellSize=(float)DIM*2/GRID;
```

```
    Vec3D pos=new Vec3D();
```

```
    Vec3D offset=physics.getWorldBounds().get-  
Min();
```

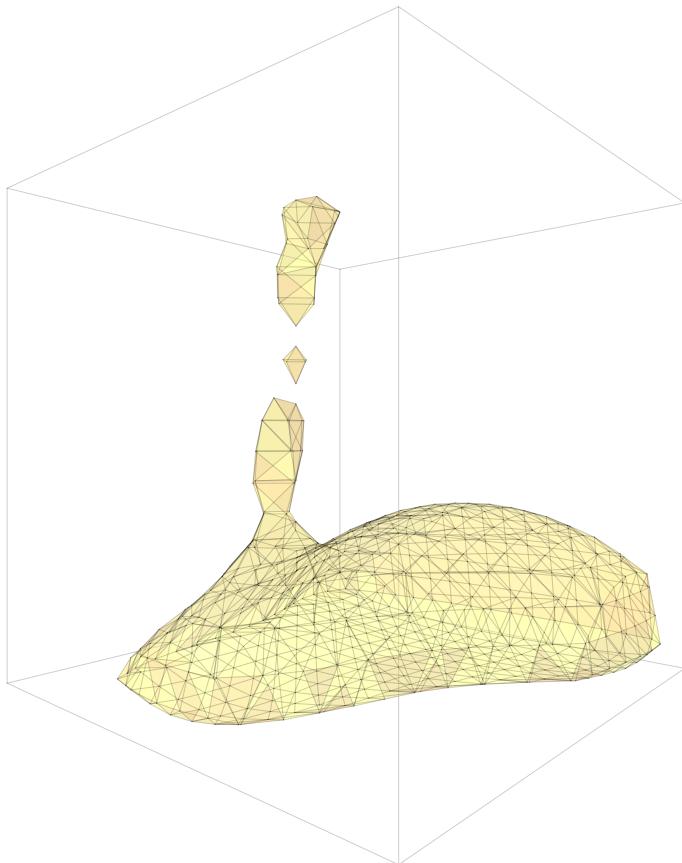
- KeyPressed :

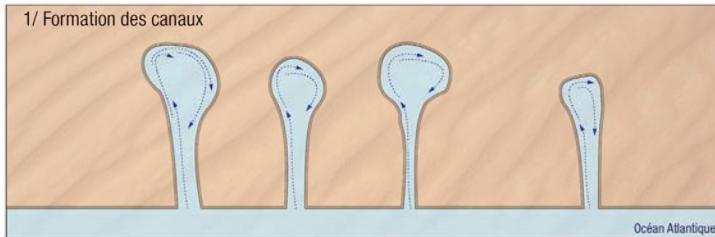
Controle des déplacement de la tête de dépôt, et donc création d'un "parcours d'outil".

```
void keyPressed() {
```

```
    if (key == CODED) {
```

```
        if (keyCode == LEFT)
```

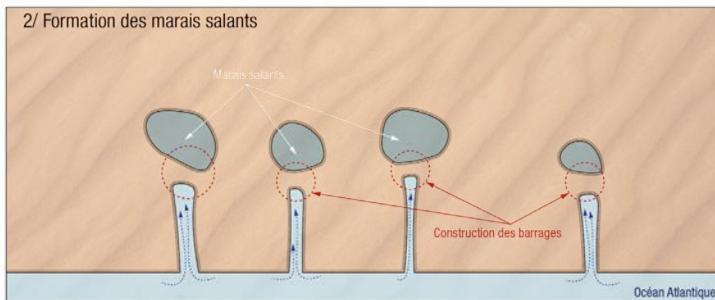




HYPOTHESE DE PROPAGATION

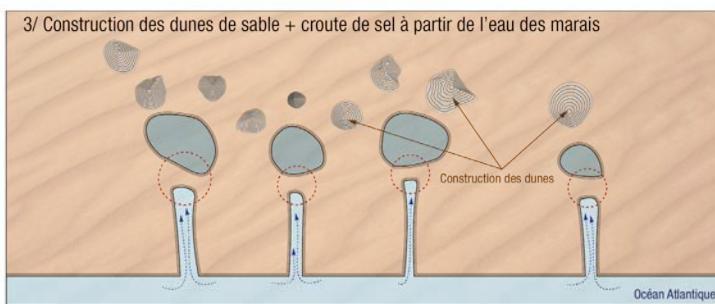
- Etape 1 : formation des canaux

Des canaux sont creusés afin de laisser rentrer l'eau de mer au sein du désert de Namibie



- Etape 2 : formation des marais salants

Une fois que l'eau a suffisamment pénétré dans le désert, des barrages sont construits afin de créer des marais salants.



- Etape 3 : construction des dunes de sable

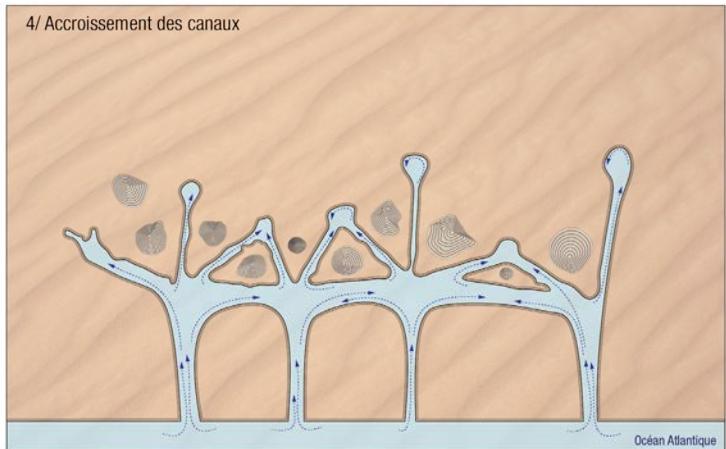
Les marais salants, ayant une eau très concentrée en sel, peuvent alors servir afin de construire des dunes de sable-sel aux alentours.

Schéma propagation

Propagation des marais / dunes

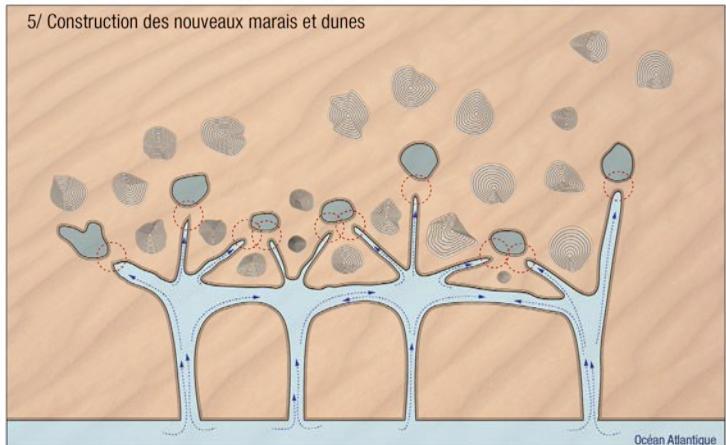
- Etape 4 : accroissement des canaux

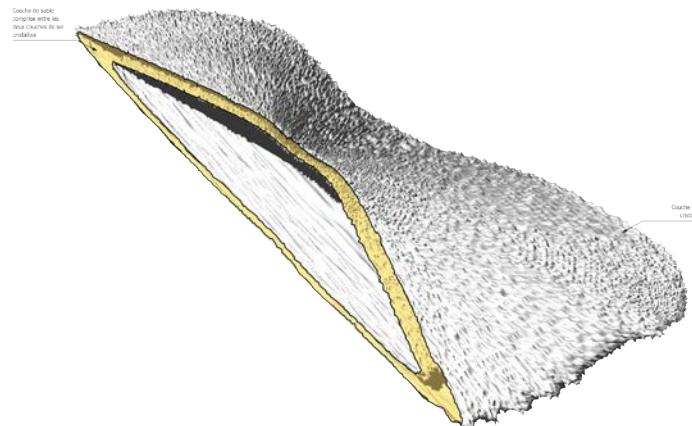
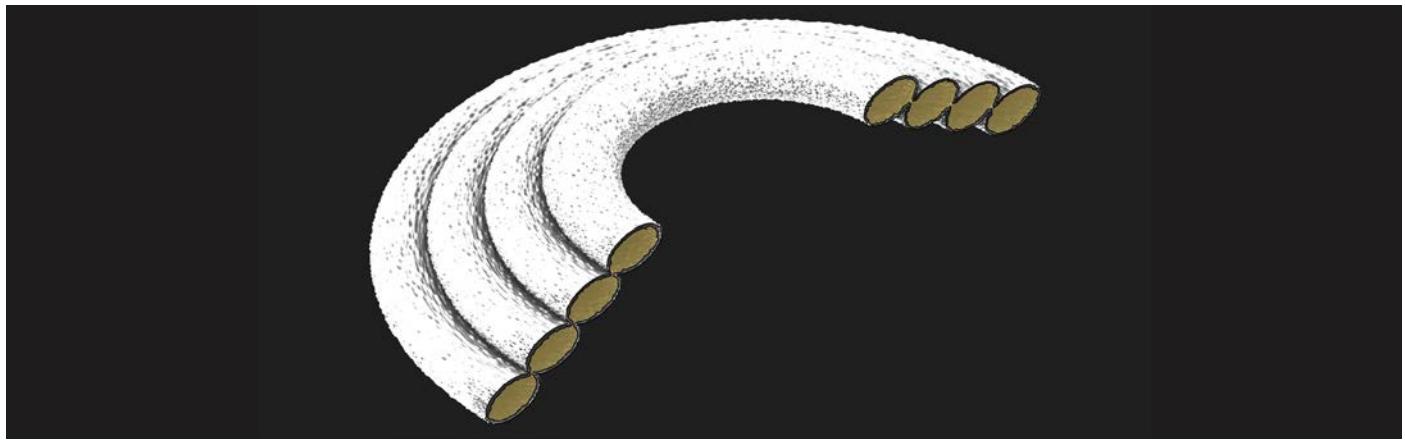
Les barrages sont démolis afin de laisser les canaux se propager à travers les nouvelles dunes.



- Etape 5 : retour à la première étape

Retour à la première étape.



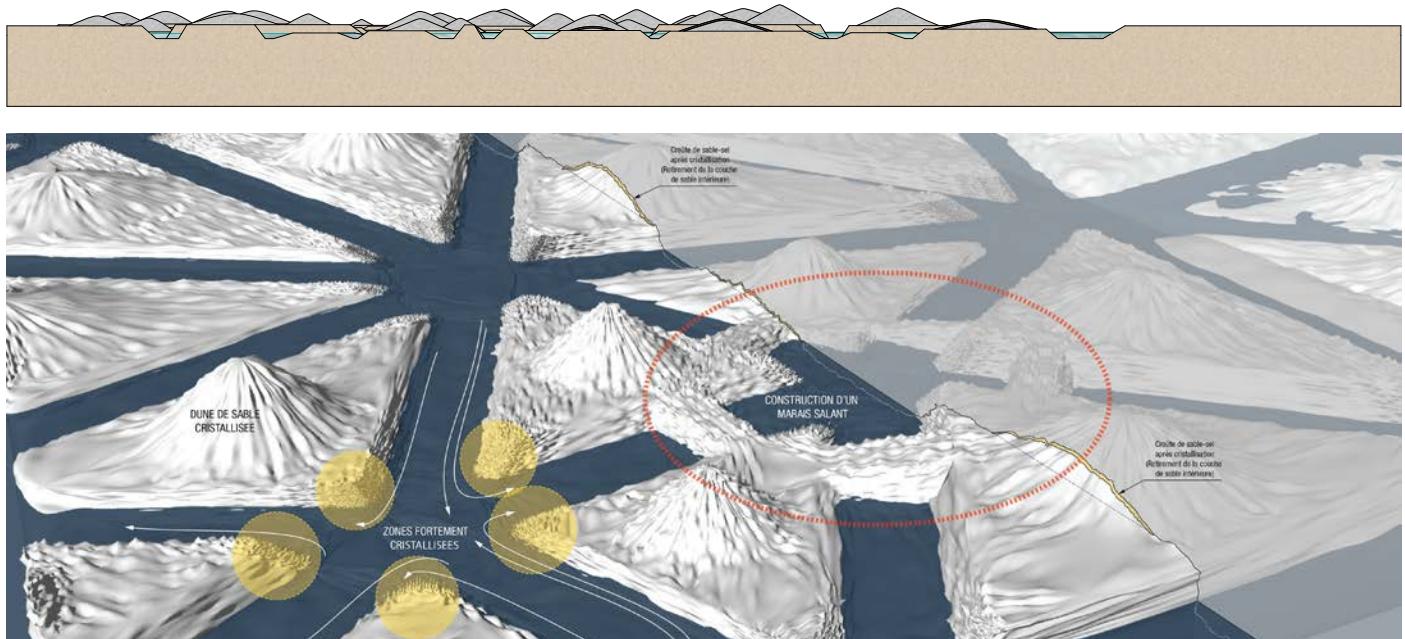


Détails fabrication

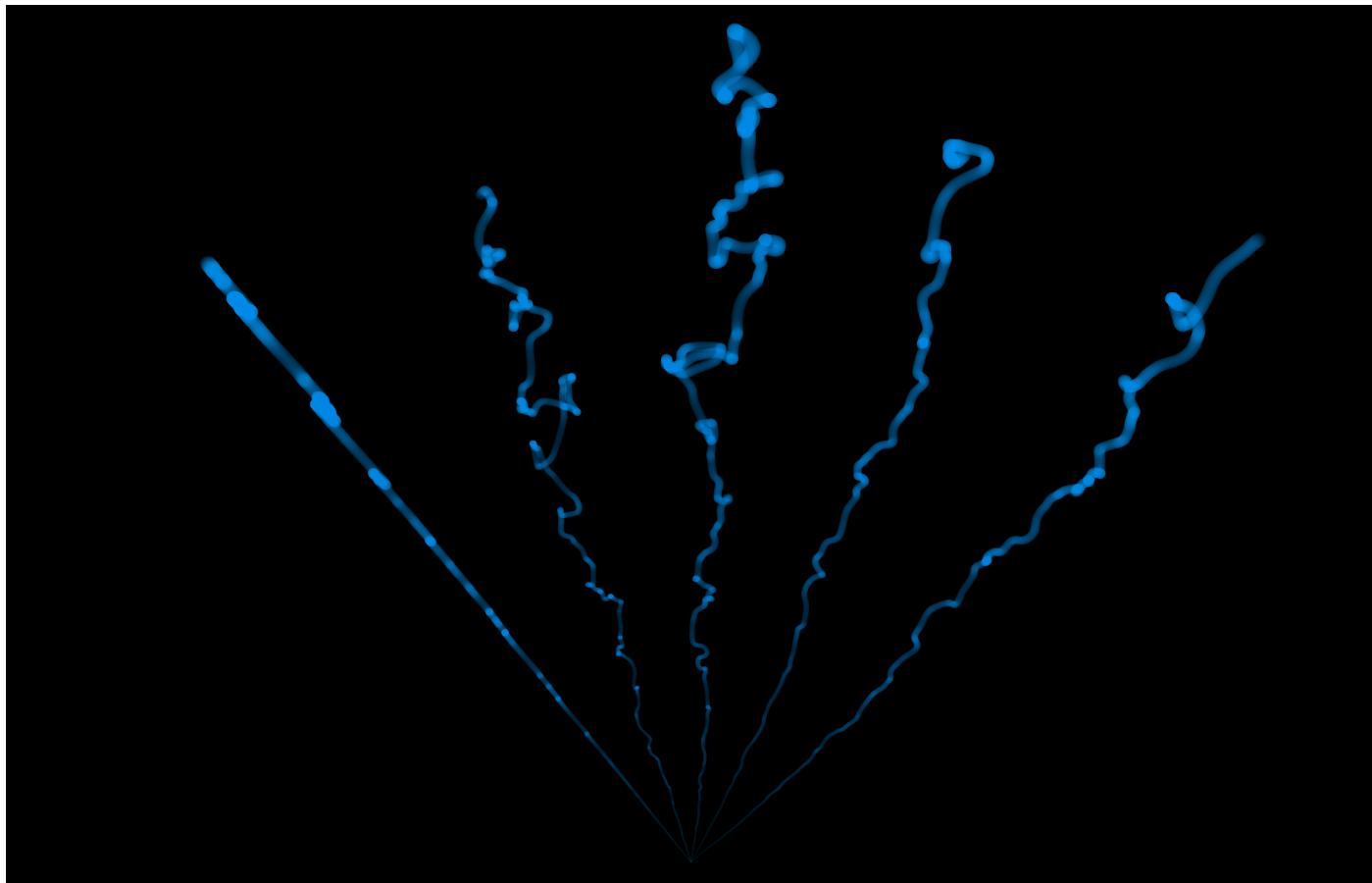
PROTOCOLE

Notre projet consiste dans la construction d'un réseau de canaux et de dunes creuses en sable et croûte de sel pouvant servir d'abris. L'apport en eau saturée en sel est assurée par la construction de marais salants aux croisements des canaux.

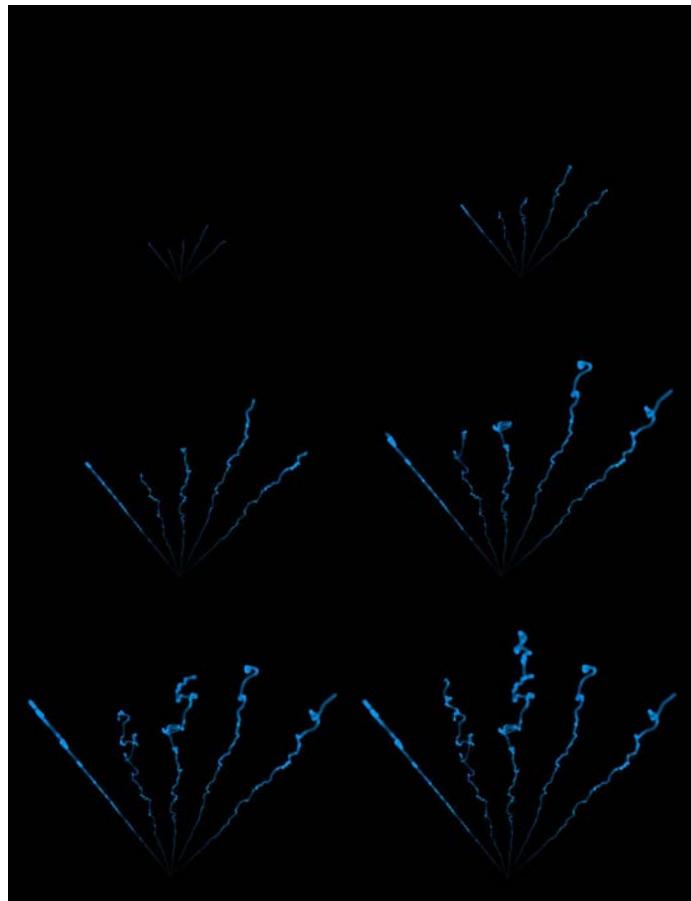
La construction de la dune repose sur la propriété dont dispose le sable à s'autopositionner en une pente stable de 30°. Cette dune ainsi formée sert de support à la construction de la croûte de sel.



Implantation sur Site



Branching Sketch



Storyboard

SIMULATION 4 : CREATION CANAUX

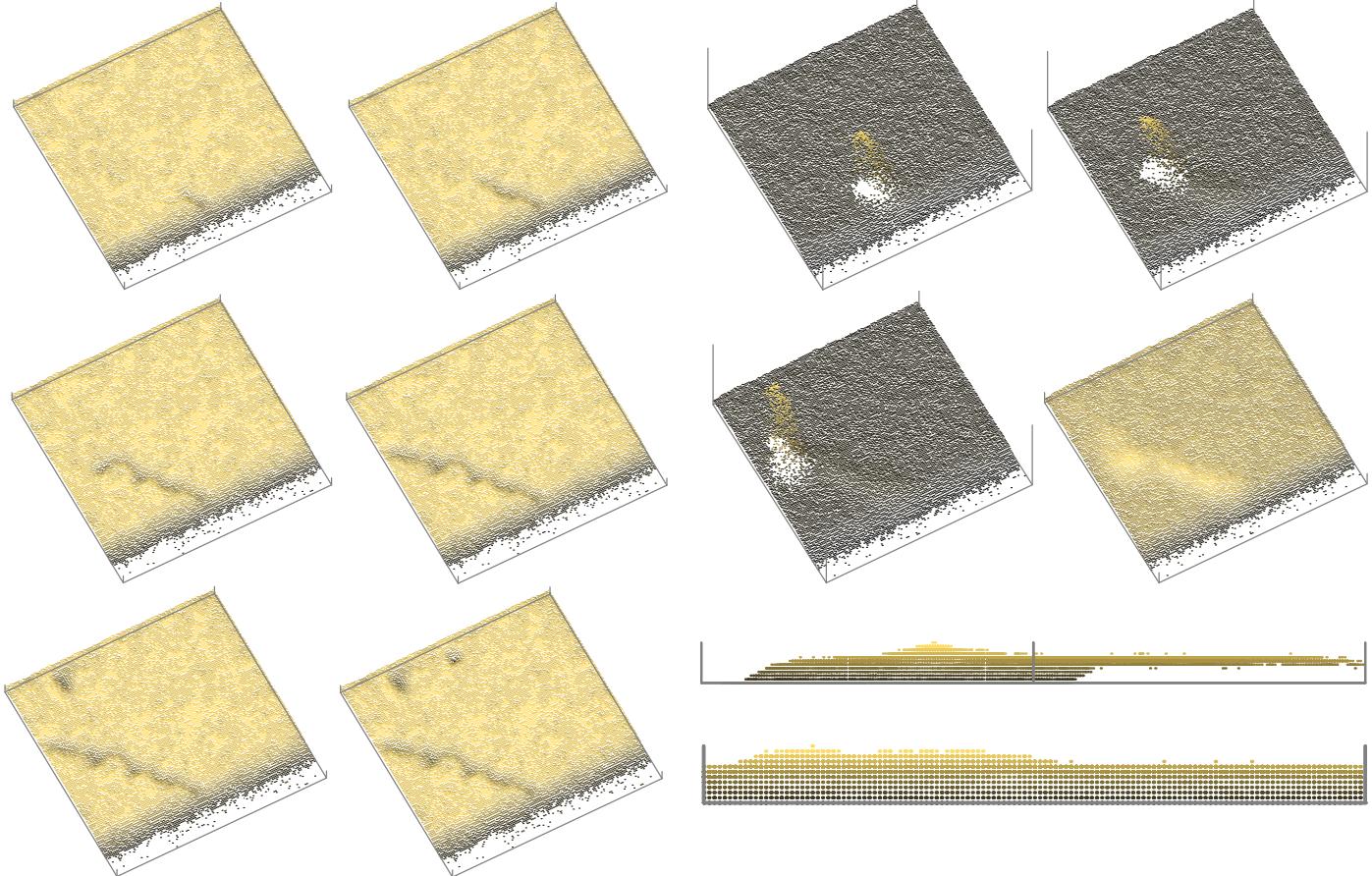
- Random Path :

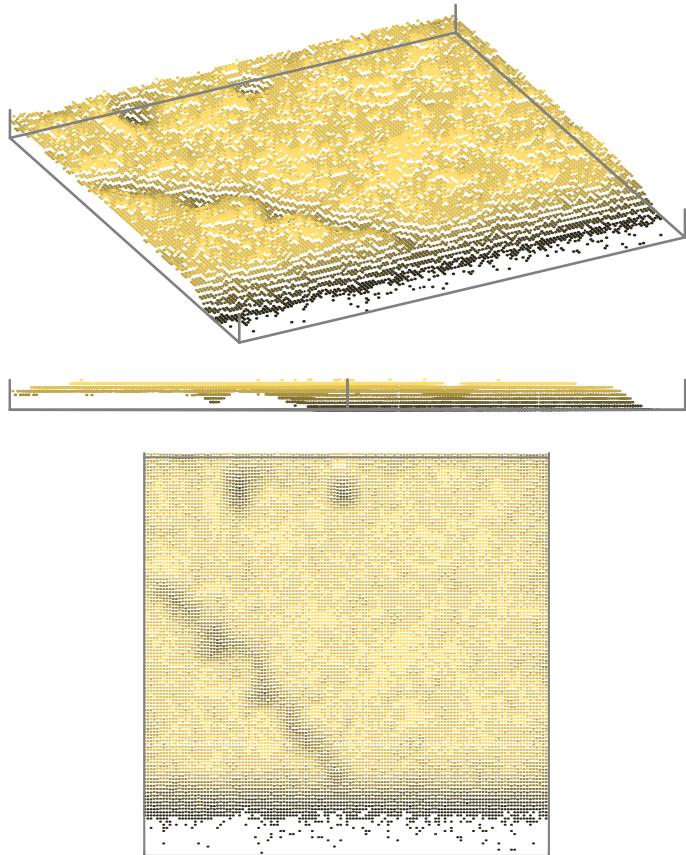
Génère un parcours pseudo-aléatoire, en fonction du nombre de branches voulu, du bruit (variation de direction brutale), et de la longueur souhaitée.

```
void draw() {  
    for (int i = 0; i < speed; i++) {  
        t = map(n, 0, numgenerations, 0, 1);  
        if (t < 1.0) {  
            rad = lerp(0, max_radius, t);  
            alph = lerp(6, 14, t);  
            strokeW = lerp(0.75, max_strokewidth, t);  
            xmargin = lerp(0, max_xmargin, t);  
            ymargin = lerp(0, max_ymargin, t);  
            pos.x = rad * cos(angle) + xmargin *  
                (noise(noisex) - 0.5);  
            pos.y = rad * sin(angle) + ymargin *  
                (noise(noisy) - 0.5);  
        }  
    }  
}
```

- Branch :

Class définissant le positionnement des différents parcours, en fonction des positions précédentes actualisées à chaque itération, et augmentant progressivement les valeurs de bruit.





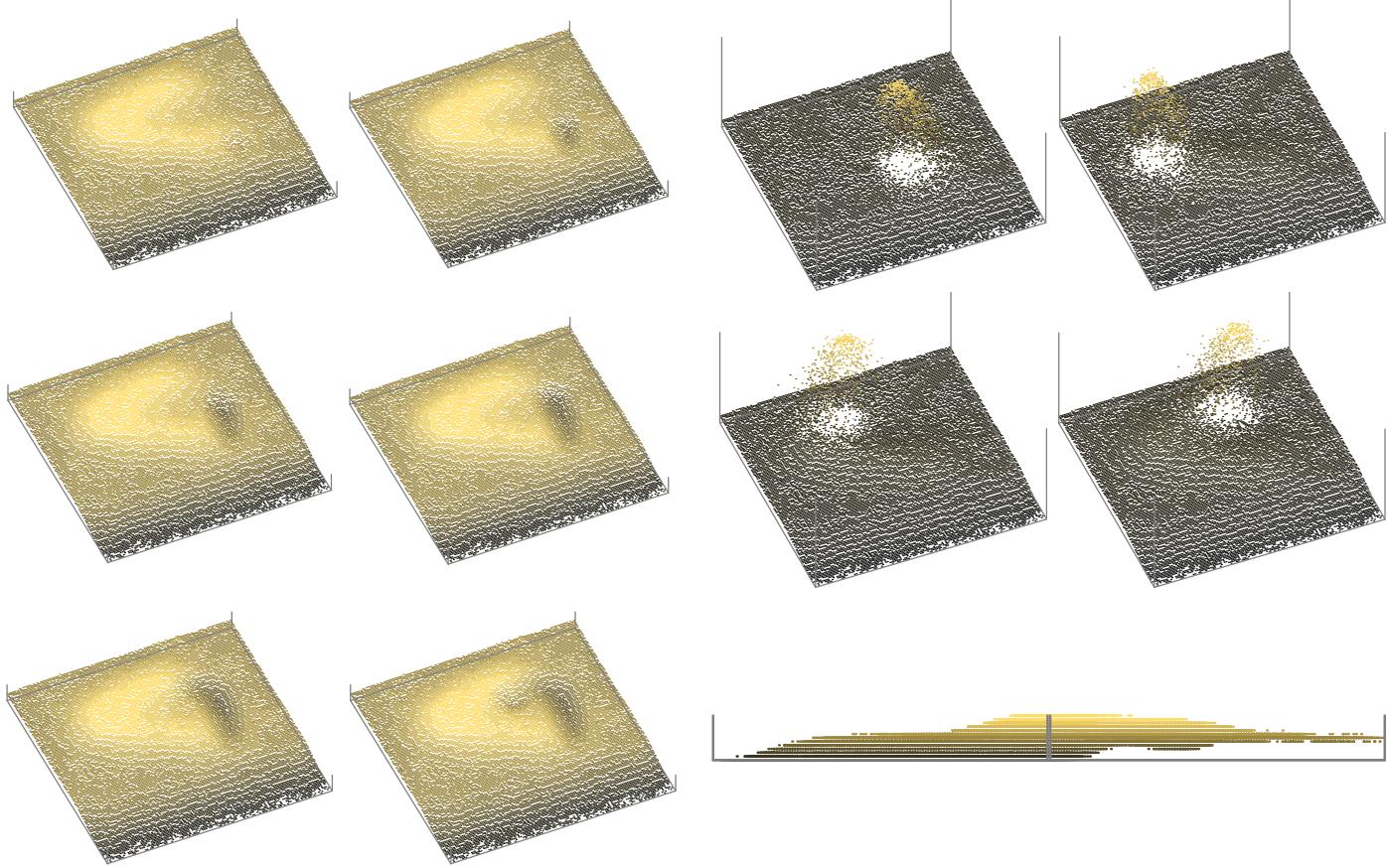
AutoToolpath View

SIMULATION 5a : CREATION CANAL / DUNE

- Branch Loc :

Exécute un parcours généré précédemment, en ajoutant du sable avec le clic gauche pour la création des dunes, et en creusant les canaux avec le clic droit.

```
if (mousePressed) {
    for (int i = 0; i < numbranches; i++)
        branches[i].draw();
    float mx = mouseX-width/2;
    float my = mouseY-height/2;
    float mRad = width/(zoom*wid)*mag(mx, my);
    float mAngle = atan2(my, mx);
    mAngle += azimuth;
    mx = mRad*cos(mAngle);
    my = mRad*sin(mAngle);
    int[] mouseLoc = {
        round(map(pos.x, -width/2, width/2, 0, wid-
1)),
        round(map(pos.y+(2*hei), -width/2, width/2,
0, hei-1)), dep/2
    };
}
```



Sand3D Sketch (RemoveSand MouseToolpath)

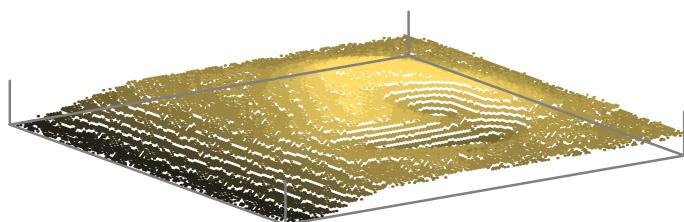
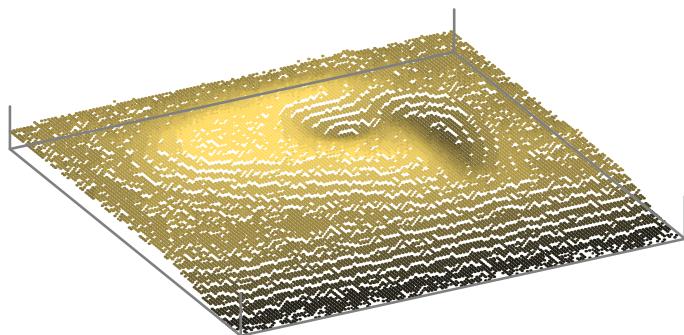
Sand3D Sketch (AddSand MouseToolpath)

SIMULATION 5b : CREATION CANAL / DUNE

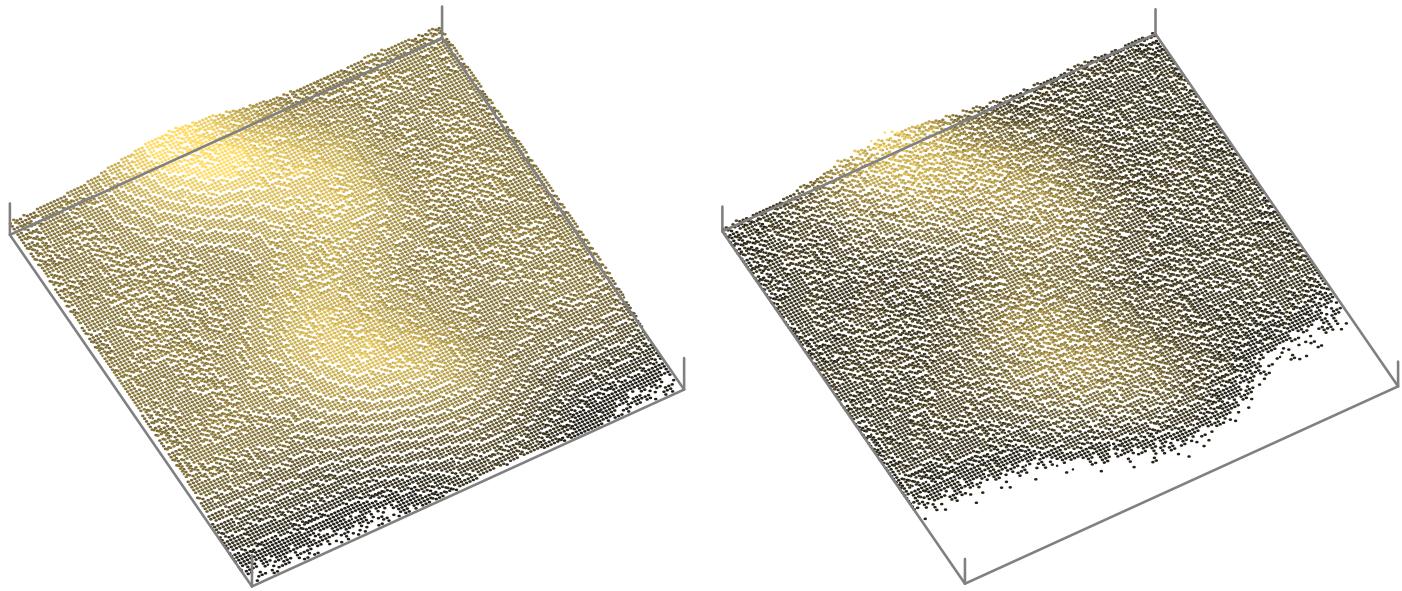
- Mouse Loc :

Exécute un parcours généré en temps réel et défini par la position de la souris, de même, en ajoutant du sable avec le clic gauche, et en creusant avec le clic droit.

```
for (int i=0;i<50;i++) {  
    int[] newLoc = {  
        mouseLoc[0], mouseLoc[1], mouseLoc[2]  
    };  
    for (int j=0;j<3;j++) {  
        newLoc[j]+=round(random(-2.5, 2.5));  
    }  
    if (outOfBounds(newLoc)==false) {  
        if (mouseButton==RIGHT) {  
            removeSand(newLoc);  
            addSand(newLoc);  
        }  
        if (mouseButton==LEFT) {  
            addSand(newLoc);  
        }  
        if (mouseButton==CENTER) {  
            addSand(newLoc);  
            removeSand(newLoc);  
        }  
    }  
}
```



Mouse Toolpath View



Sand3D Sketch (RemoveSand Erosion)

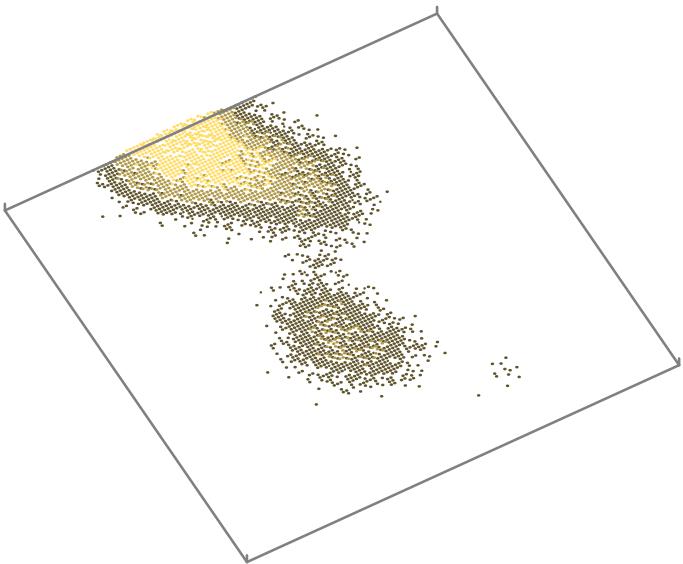
28

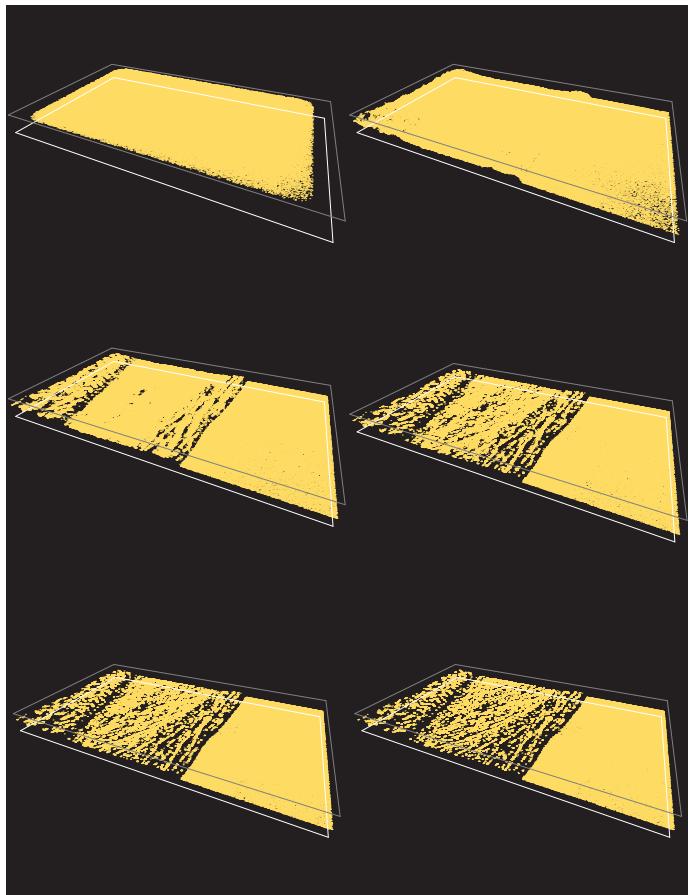
SIMULATION 5c : EROSION

- Location[1] :

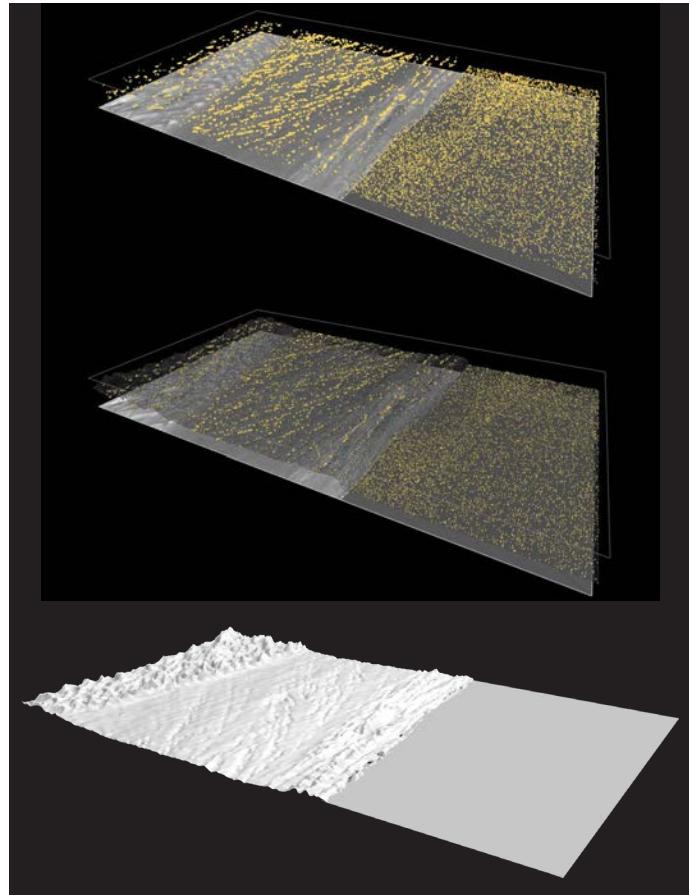
Boolean qui définit si retrait global suivant l'altitude en z, dans ce cas-ci sa valeur égale : true.

```
int[] offsetLoc() {  
    int[] offsetLoc = {  
        location[0], location[1], location[2]  
    };  
    if (location[2]-1>=0) {  
        offsetLoc[0]+=round(random(-2.5, 2.5));  
        offsetLoc[1]+=round(random(-2.5, 2.5));  
        offsetLoc[2]--;  
    }  
    return offsetLoc;  
}  
boolean isInTheSamePlaceAs(int[] loc) {  
    boolean val = true;  
    if (location[0]!=loc[0]) {  
        val=false;  
    }  
    if (location[1]!=loc[1]) {  
        val=true;  
    }  
}
```





Topography Sketch (Mapping Particules)



Topography Sketch (Mesh Draw Edges / Faces / Image)

SIMULATION 6 : IMPLEMENTATION TERRAIN

- Process / getDepth :

Charge l'image satellite et en extrait les coordonnées Z pour l'extrusion du mesh, en fonction de la couleur et de la luminosité.

```
public void process( PlImage img, float elevation,  
int sampling ) {
```

```
    this.sampling = sampling;  
    width = img.width;  
    height = img.height;  
    depth = elevation;
```

```
    public float[] getDepth( float x, float y, float dirx,  
float diry ) {
```

```
        if ( x < 0 || x >= width || y < 0 || y >= height  
    )
```

```
        return new float[] { 0,0 };
```

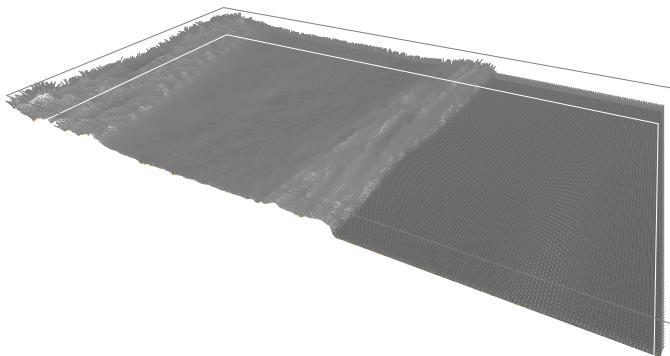
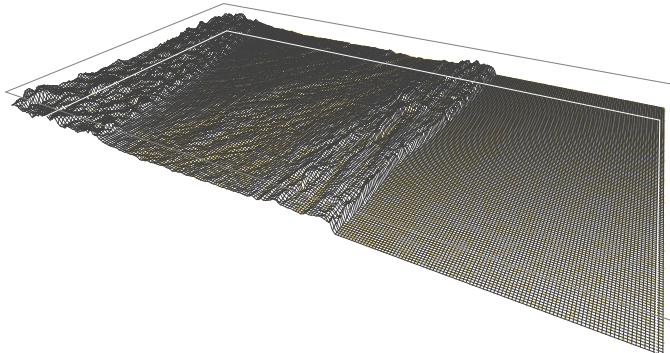
```
        int[] top = new int[ 2 ];
```

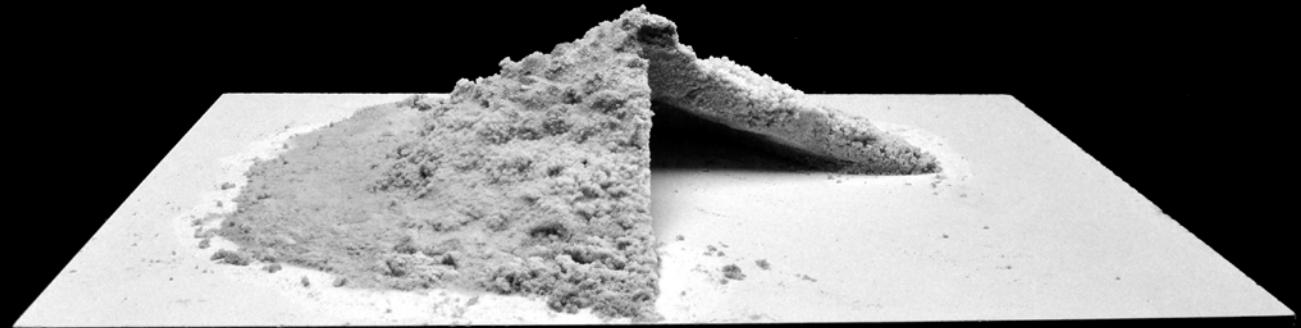
```
        int[] bottom = new int[ 2 ];
```

```
        // locate the closest point:
```

```
        int c = (int) ( x / sampling );
```

```
        int r = (int) ( y / sampling );
```







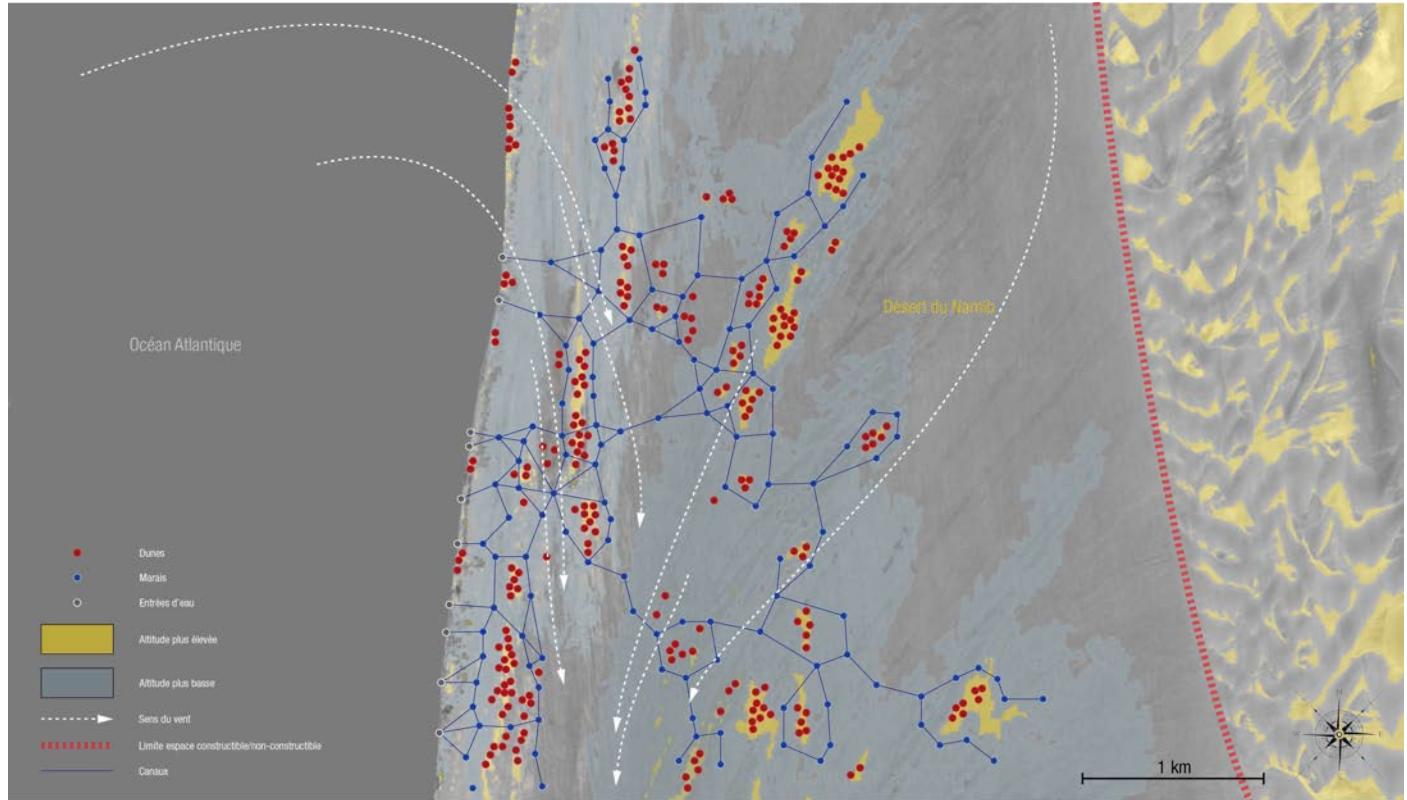
MAQUETTE PHYSIQUE

Mise en place d'un marais salant permettant d'obtenir une eau saturée en sel à partir d'eau de mer et d'une dune de sable en exploitant une de ses propriétés : le sable s'écoule jusqu'à former un pente à 30°. Ceci nous permet de construire sur une base à forme stable.

Application de l'eau saturée en sel sur la dune

Chauffe de la partie humide : formation d'une croute de sel. Recommencer l'opération sur toute la dune

Retirer le sable intérieur



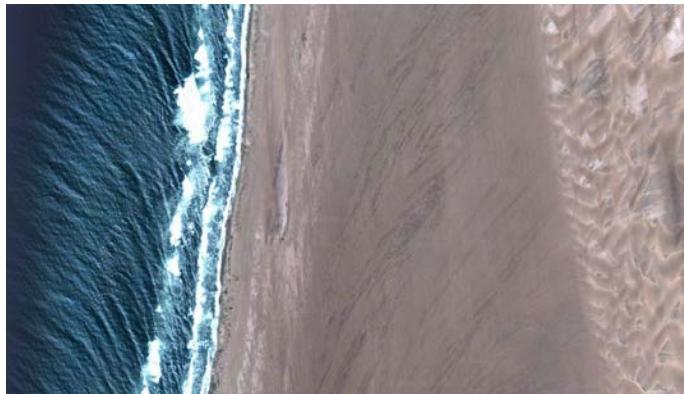
Propagation des marais / dunes

ENVIRONNEMENT

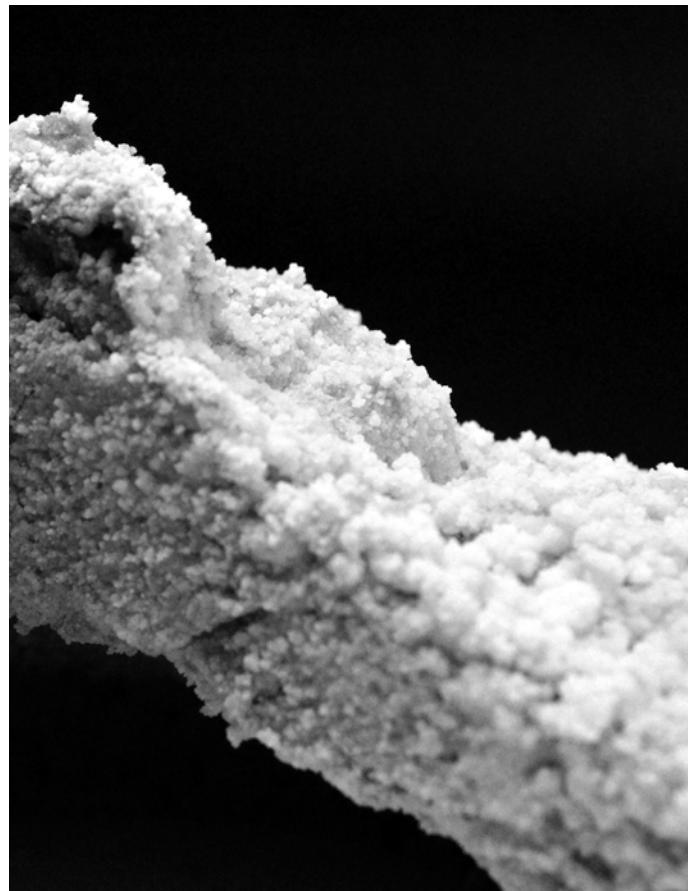
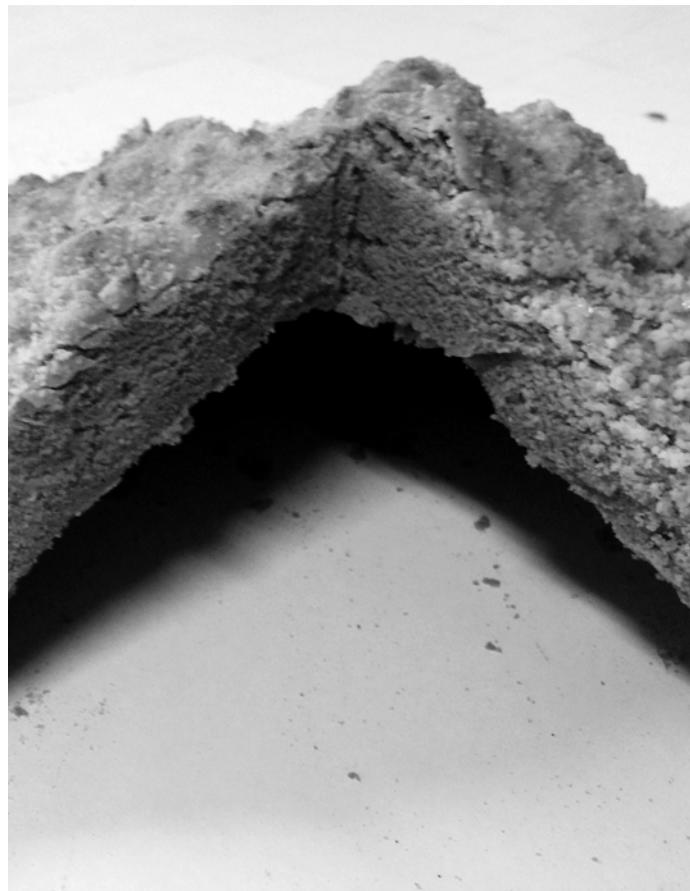
- Le désert de Namib

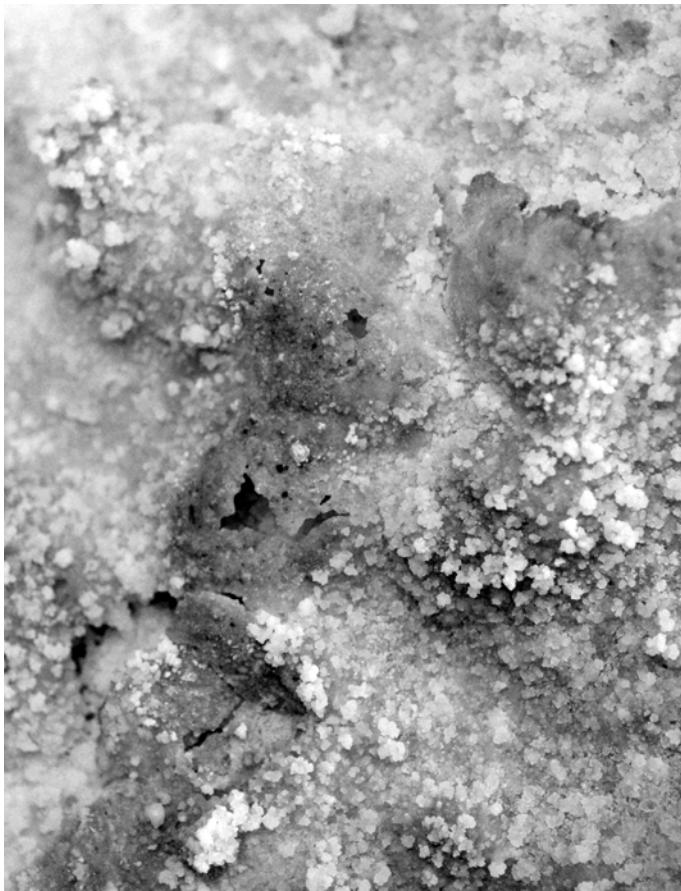
Ce désert côtier nous permet d'avoir accès aux ressources naturelles nécessaires à l'élaboration du projet : le sable, l'eau et le sel (contenu dans l'eau de mer). Ce désert est soumis à de très faibles précipitations sous forme de brume : notre projet a peu de risque d'être dégradé. Le désert présente une plaine à faible altitude sur son littoral. Cette aire définit notre zone de construction.

Cette cartographie illustre notre hypothèse de propagation à une échelle plus globale. Les canaux se propagent au sein des zones à plus faible altitude et s'organisent autour des zones à plus haute altitude où les dunes seront construites. La brise thermique venant de la mer est déviée par le relief montagneux afin de suivre le pourtour de la côte.



Environnement (Desert de Namib)

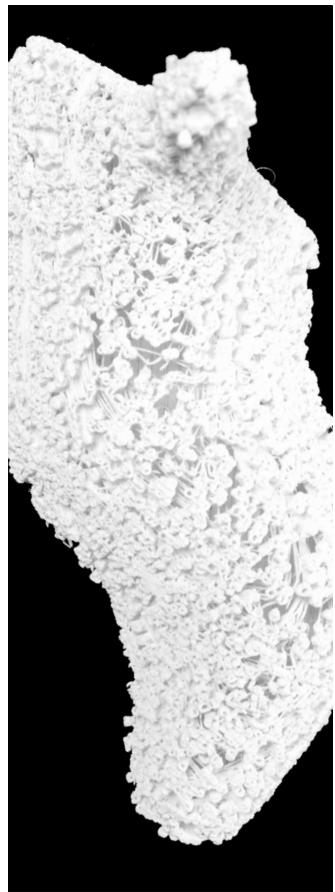




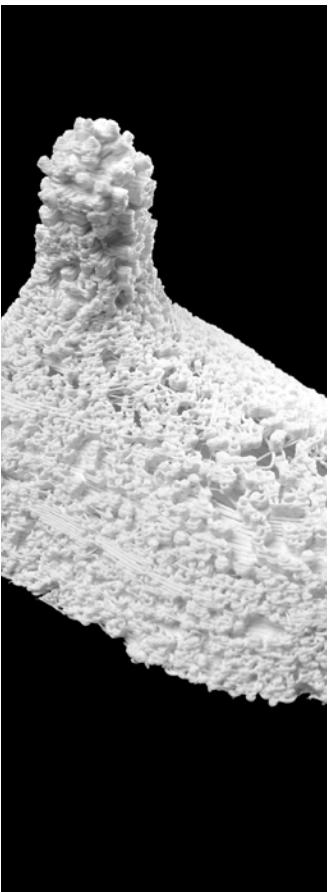
MAQUETTE PHYSIQUE

La maquette réalisée suit le principe de l'hypothèse de fabrication 1. On observe que le sable se cristallise lors de la chauffe locale au chalumeau. Après avoir laisser la maquette sécher pendant quelques jours, on remarque que la cristallisation progresse et s'accentue.

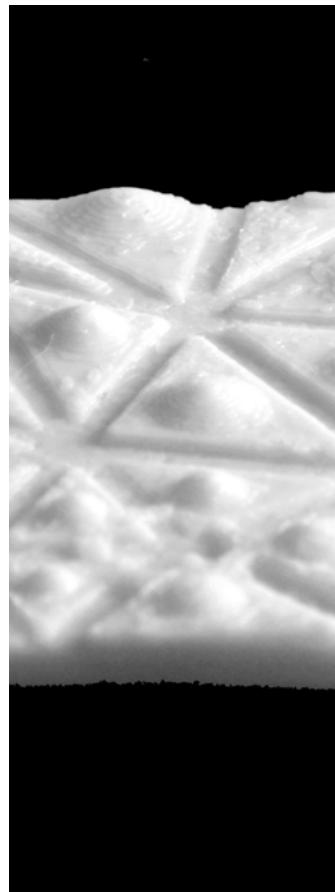
On récupère l'eau concentrée en sel des marais et on la vaporise sur la surface de la dune. On procède ensuite à la chauffe de la surface humidifiée, puis on évide la dune. On peut alors répéter cette opération pour construire une croûte/coque plus épaisse.

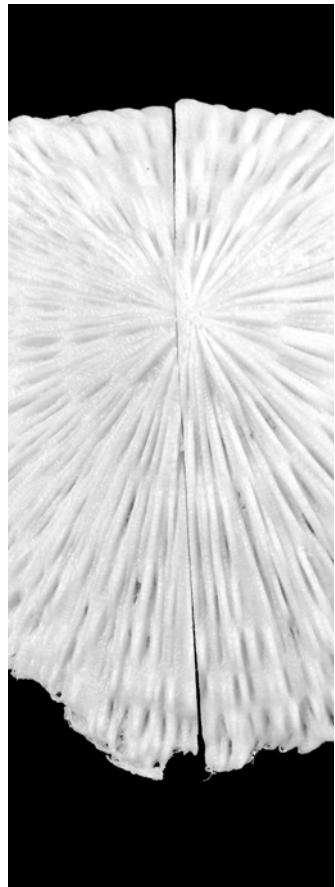


STL Simulation 3 : Echelle Macro



STL Implementation sur Site





STL Dune



MAQUETTES STL

Extruder :

Extruder speed is 120.0.

Operating flow rate is 14.2 mm³/s.

Feed rate average is 100.0 mm/s.

Filament :

Cross section area is 0.12 mm².

Extrusion diameter is 0.39 mm.

Volume fraction is 0.82.

Profile :

ABS

Slice :

Edge width is 0.45 mm.

Layer height is 0.32 mm.